

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO – FEEC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA - DEB

Ernesto Fernando Ferreyra Ramírez

MODELO CONEXIONISTA PARA AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS
PARA AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTOS
MÉDICO-HOSPITALARES

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Saide Jorge Calil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lincoln de Assis Moura Jr. (VIDATIS)
Prof. Dr. Giovani Baratto (DELC/UFSM)
Prof. Dr. Eduardo Tavares Costa (FEEC/UNICAMP)
Prof. Dr. Sérgio Santos Mühlen (FEEC/UNICAMP)
Prof^a. Dr^a. Vera Lúcia da Silveira Nantes Button (FEEC/UNICAMP)

Campinas-SP
Agosto de 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

F415m	<p>Ferreira Ramírez, Ernesto Fernando.</p> <p>Modelo conexionista para avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médico-hospitalares/ Ernesto Fernando Ferreira Ramírez--Campinas, SP: [s.n.], 2005.</p> <p>Orientador: Saide Jorge Calil.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.</p> <p>1. Engenharia biomédica. 2. Bioengenharia. 3. Inteligência artificial. 4. Redes Neurais. I. Calil, Saide Jorge. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.</p>
-------	--

Título em Inglês: Connectionist Model to Evaluate Medical Equipment Purchasing Proposals

Palavras-chave em Inglês: Clinical Engineering; Artificial Intelligence; Artificial Neural Networks

Área de concentração: Engenharia Biomédica

Titulação: Doutor em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Lincoln de Assis Moura Junior, Giovani Baratto, Eduardo Tavares Costa, Sérgio Santos Mühlén e Vera Lúcia da Silveira Nantes Button

Data da defesa: 04/08/2005

RESUMO

FERREYRA RAMÍREZ, E.F. (2005), Modelo Conexionista para Avaliação de Propostas para Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares.

No Brasil, existe uma parcela significativa de equipamentos médico-hospitalares inoperantes devido à condução inadequada, feita por pessoas despreparadas, do processo de aquisição desses equipamentos. Visando uma futura solução para esse problema, nesta tese foi desenvolvido um estudo para mostrar a possibilidade de representar (através da utilização de redes neurais artificiais) o processo cognitivo utilizado por engenheiros clínicos experientes durante a fase de ponderação dos critérios para julgamento de propostas de fornecimento de equipamentos médicos. Para isso, as respostas fornecidas, a uma pesquisa com engenheiros clínicos de várias regiões do país, foram usadas para construir exemplos para treinamento de diversas arquiteturas de redes neurais. Os melhores resultados (maior correlação com as respostas originais e menor erro quadrático de teste) foram obtidos para a composição (*ensemble*) de 100 redes neurais de duas camadas escondidas treinadas com o algoritmo *back-propagation*. Isso mostrou a viabilidade de representar o conhecimento dos especialistas na forma de um modelo conexionista não-linear, cujas saídas fornecem a importância de diversos fatores (clínico, financeiro, qualidade, segurança e técnico) envolvidos no processo de julgamento de propostas para aquisição de um equipamento médico.

Palavras-chave: Engenharia Clínica; Inteligência Artificial; Redes Neurais Artificiais.

ABSTRACT

FERREYRA RAMÍREZ, E.F. (2005), Connectionist Model to Evaluate Medical Equipment Purchasing Proposals.

Most recently, in Brazil, there are evidences of a great number of useless medical equipment, due to the absence of experienced professionals to conduct an effective purchasing plan by the healthcare institutions. In order to search a future solution to this problem it was developed a study to verify the liability of representing (through artificial neural networks) the cognitive process used by clinical engineering experts, during the evaluation phase of purchasing proposals for medical equipment. An inquiry (using electronic mail) to clinical engineers from several brazilian regions was conducted, using an electronic chart that contained a list of parameters commonly used for this evaluation phase. Data from the filled charts were used to train, and to test, diverse types of artificial neural networks. The best results (major correlation and minor quadratic errors with respect to the original entries) were encountered for an ensemble of 100 two-hidden-layers perceptrons trained with the back-propagation algorithm. It was then showed that the knowledge of clinical engineers (for the evaluation process of purchasing proposals) can be represented by a non-linear connectionist model, whose entries would be the physical risk, cost and strategic importance of the medical equipment. The model's outputs are the importance given by clinical engineers for five factors (clinical, financial, quality, safety and technical) for the evaluation of a medical equipment.

Keywords: Clinical Engineering; Artificial Intelligence; Artificial Neural Networks.

*À
minha amada
esposa e companheira Sidnéia
e ao nosso querido
filhinho Luiz Fernando.*

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus e aos meus pais Ema (*In memoriam*) e Fernando por minha existência e por poder escrever este trabalho.

Agradeço à minha esposa Sidnéia pelos estímulos incessantes e pela compreensão em relevar minha ausência a seu lado em muitos momentos. Nesta oportunidade envio um abraço aos meus familiares e amigos de Fortaleza, Santa Cruz do Rio Pardo, Campinas e Londrina.

Também aproveito para agradecer ao meu sábio orientador Prof. Saide Jorge Calil e aos demais professores do DEB/FEEC/UNICAMP pelos inúmeros conselhos e oportunidades que me proporcionaram crescimento acadêmico e pessoal. Também sou grato aos Profs. Giovani Baratto (DELC/UFSM) e Fernando José Von Zuben (DCA/FEEC/UNICAMP) pelas orientações sobre redes neurais artificiais.

É claro que não poderia esquecer os colegas e amigos do DEB/FEEC/UNICAMP e do CEB/UNICAMP, especialmente o Sandro, as bibliotecárias Val e Mirian, e os engenheiros Aldo Mangili e Érica Wall. Além disso, agradeço o apoio dos colegas do DEEL/CTU/UEL, em especial dos Profs. Maria Bernadete Moraes França, Luis Carlos Kakimoto, Lourenço Matias, Walter Germanovix e Taufik Abrão.

Agradeço ainda aos meus colegas da área acadêmica, que me disponibilizaram gentilmente alguns de seus trabalhos, os quais foram fontes de consulta muito importantes para a realização desta tese.

Sou extremamente grato aos profissionais das áreas de engenharia clínica e administração hospitalar que responderam aos questionários que facilitaram, assim, a realização desta tese.

E a todas as outras pessoas que passaram por minha vida e que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e pelos bons momentos vividos nesse período.

Este trabalho contou com o suporte financeiro inicial da CAPES e do apoio institucional da PROPPG/UEL.

A paciência é amarga, mas seus frutos são doces.

Rousseau

O especialista sabe cada vez mais sobre menos, até saber tudo sobre nada. O generalista sabe cada vez menos sobre mais, até saber nada sobre tudo.

George Bernard Shaw

Só há uma parte do universo que você pode ter certeza de melhorar, e é você mesmo.

Aldous Huxley

SUMÁRIO

Pág.

Resumo	iii
Abstract	iii
Lista de publicações durante o Doutorado	xiii
Lista de figuras	xv
Lista de tabelas	xix
Lista de abreviaturas e siglas	xxi
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Organização da tese	4
2. Aquisição de Equipamentos Médicos	5
2.1. Panorama geral da aquisição de equipamentos médicos	8
2.2. Importância das metodologias para aquisição de equipamentos médicos	15
2.3. Metodologias para aquisição de equipamentos médicos	18
2.3.1. Processo genérico de aquisição de equipamentos médicos	18
2.3.2. Planejamento estratégico e especificações mínimas	32
2.3.3. Avaliação das propostas de aquisição	46
2.3.4. Recebimento e controle de qualidade	57
2.4. Comentários sobre a literatura de aquisição de equipamentos médicos	67
3. Inteligência Artificial	71
3.1. Inteligência artificial (IA)	72
3.1.1. Origens e definições de IA	72
3.1.2. Aplicações de IA	79
3.1.3. Abordagens em IA	81
3.2. Redes neurais artificiais (RNA)	83
3.2.1. Neurônio biológico	83
3.2.2. Modelo de neurônio artificial	86
3.2.3. Topologias de RNA	89
3.2.4. Aprendizagem de RNA	91
3.2.5. Técnicas para melhorar o desempenho de uma RNA	98
3.3. Redes neurais artificiais e a aquisição de equipamentos médicos	104

4. Metodologia	109
4.1. Considerações iniciais	112
4.2. Definição dos critérios envolvidos na avaliação de propostas	115
4.3. Aquisição do conhecimento dos especialistas	118
4.3.1. Elaboração do questionário	120
4.3.2. Escolha dos equipamentos médicos	126
4.3.3. Geração dos conjuntos de equipamentos	129
4.4. Análise das respostas recebidas	131
4.4.1. Classificação de risco dos equipamentos escolhidos	133
4.4.2. Classificação de custo dos equipamentos escolhidos	135
4.4.3. Classificação de importância estratégica dos equipamentos escolhidos	137
4.4.4. Normalização das entradas das redes neurais artificiais	139
4.4.5. Normalização das saídas das redes neurais artificiais	143
4.4.6. Exemplo de normalização de entradas e saídas das RNA	143
4.5. Treinamento e teste das RNA	145
4.5.1. Perceptron LMS / Adaline	150
4.5.2. Perceptron com uma camada escondida	152
4.5.3. Perceptron com duas camadas escondidas	154
4.5.4. Seleção dos melhores modelos de RNA	155
4.5.5. Resposta do melhor modelo encontrado	156
5. Resultados e Discussão	157
5.1. Análise das respostas dos especialistas	158
5.1.1. Análise das respostas à parte 1 do questionário	159
5.1.2. Análise das respostas à parte 2 do questionário	162
5.2. Resultados do treinamento das RNA	172
5.2.1. Escolha do melhor modelo de RNA	174
5.2.2. Viabilidade de utilizar <i>ensembles</i>	177
5.2.3. Aplicação de técnicas para melhoria do desempenho das RNA	178
5.3. Análise do modelo de RNA escolhido	182
6. Conclusões	191
6.1. Conclusões do trabalho	192
6.2. Sugestões de trabalhos futuros	194
Referências	195
Apêndices	
A - Texto completo de Ramírez et al. (2003)	211
B - Texto completo de Ramírez et al. (2004)	217
C - Texto completo de Ramírez; Calil (2004)	223
D - Planilha utilizada para os trabalhos mostrados nos apêndices A, B e C e versões iniciais do questionário para consulta aos especialistas	231
E - Regras de classificação de risco de equipamentos médicos	237
F - Programa "listeq2.m" desenvolvido para esta tese	243
G - Conjunto de dados utilizados para treinamento e teste das RNA	247
H - Principais programas desenvolvidos para treinar as RNA	249
I - Resultados do treinamento das RNA para todos os modelos	261

LISTA DE PUBLICAÇÕES DURANTE O DOUTORADO

- RAMÍREZ, E.F.F.**; CALIL, S. J. (1997), "Proposal of a Medical Equipment Prioritizing Method Within a Hospital's Preventive Maintenance Program". *Proceedings of World Congress on Medical Physics And Biomedical Engineering*. Nice, France.
- FRANÇA, M.B.M.; **RAMÍREZ, E.F.F.**; GOMI, J. (1999), "Bug 2000 nos Equipamentos Médicos do HURNP". / *Encontro Regional de Iniciação Científica da Unopar*, Londrina, Brasil.
- RAMÍREZ, E.F.F.**; CALIL, S.J. (2000), "Engenharia Clínica: Parte I – Origens (1942-1996)", *Semina: Ci. Exatas Technol.* v.21, n.4, p. 27-34.
- RAMÍREZ, E.F.F.**; JERONYMO NETO, O.; JANNANI, J. (2001), "Método para Avaliação de Propostas de Compra de Equipamentos Médicos", *Semina: Ci. Exatas Technol.* v.22, n.1, p. 3-11.
- RAMÍREZ, E.F.F.** (2002), "Implantação de Serviços de Engenharia Clínica no HURNP/UUEL", *Semina: Ci. Exatas Technol.* v.23, n.1, p. 67-76.
- FERREYRA RAMÍREZ, E.F.**; CALDAS, E.C.; SANTOS JR., P.R. (2002), *Manual Hospitalar de Manutenção Preventiva*. Londrina: EDUEL, 180p.
- FELIZARDO, K.R.; ITANO, M.E.; **RAMÍREZ, E.F.F.** (2002), "Controle de Qualidade de Oxímetros de Pulso em Hospitais", *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*. São José dos Campos, Brasil: v. 2/5, p. 41-45.
- HIRAMA, R.T.; NISHIKAWA, R.; PENCO, M.C.C.; YOKOO, R.; **RAMÍREZ, E.F.F.** (2002), "Método para Inspeção de Bombas Infusoras", *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*. São José dos Campos, Brasil: v. 2/5, p. 35-40.
- MAEOKA, G.K.; CALSAVARA, V.C.R.; KURAMOTO, A.S.R.; **RAMÍREZ, E.F.F.** (2002) "Metodologia para Avaliação de Desfibriladores e Cardioversores" *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*. São José dos Campos, Brasil: v. 2/5, p. 46-50.
- RAMÍREZ, E.F.F.**; BARATTO, G., CALIL, S.J. (2003), "Using Neural Networks to Select Medical Equipment Purchasing Proposals", *Proc. WC2003 - World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Sydney, Australia, 24-29 August.
- RAMÍREZ, E.F.F.**; BARATTO, G., CALIL, S.J. (2004), "Auxílio na Decisão para Aquisição de Equipamentos Médicos Utilizando Redes Neurais Artificiais", *Anais do III Congresso Latino Americano de Engenharia Biomédica / XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*. João Pessoa, Brasil, 22-25 Setembro.
- RAMÍREZ, E.F.F.**; CALIL, S.J. (2004), "Análise da Aquisição de Equipamentos Médicos Utilizando Redes Neurais Artificiais", *Anais do IX Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*. Ribeirão Preto, Brasil, 07-10 Novembro.
- PENCO, M.C.C.; **RAMÍREZ, E.F.F.** (2004), "Proposta para Avaliação Quantitativa para Aquisição de Equipamentos Médicos", *Semina: Ci. Exatas Technol.* v.25, n.1, p. 107-112.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Custo de aquisição de uma tecnologia	9
Figura 2.2: Fluxograma do processo de aquisição de equipamentos médicos	18
Figura 2.3: Ciclo de aquisição de tecnologia	19
Figura 2.4: Fluxograma do processo de aquisição de equipamentos médicos	20
Figura 2.5: Diagrama de etapas para a aquisição de equipamentos médico-hospitalares	21
Figura 2.6: Processo genérico de aquisição de equipamentos médicos	22
Figura 2.7: Fluxograma de compra de equipamentos biomédicos	22
Figura 2.8: Fluxograma de aquisição de equipamentos médico-hospitalares	23
Figura 2.9: Processo genérico de planejamento para aquisição de capital	32
Figura 2.10: Formulário para requisição e autorização de gastos	33
Figura 2.11: Formulário de requisição de equipamentos para ser utilizado junto com a equação 2.1	39
Figura 2.12: Parte clínica da avaliação tecnológica pré-aquisição feita por um departamento de engenharia clínica	41
Figura 2.13: Parte técnica da avaliação tecnológica pré-aquisição feita por um departamento de engenharia clínica	42
Figura 2.14: Análise das informações provenientes das avaliações clínica e técnica mostradas nas figuras 2.12 e 2.13	42
Figura 2.15: Passos gerenciais para fazer a avaliação clínica e tecnológica de equipamentos médicos	49
Figura 2.16: Matriz utilizada para avaliar opções de equipamentos e vendedores	50
Figura 2.17: Matriz comparativa da avaliação quantitativa dos atributos entre as empresas concorrentes	51
Figura 2.18: Exemplo de critérios de julgamento de uma proposta técnica para aquisição de equipamentos médicos	51
Figura 2.19: Formulário para avaliação técnica de equipamentos médico-hospitalares	52
Figura 2.20: Exemplo de planilha de comparação de produtos	54
Figura 2.21: Avaliação classificatória de bombas infusoras baseada na planilha mostrada na figura 2.20	55
Figura 2.22: Exemplo de formulário para inspeções de aceitação de equipamentos médicos	63
Figura 2.23: Exemplo de formulário para recebimento de equipamentos médicos	64
Figura 2.24: Exemplo de formulário de pré-instalação durante o recebimento de equipamentos médicos	65
Figura 2.25: Exemplo de termo de recebimento de equipamentos médicos	66
Figura 3.1: Neurônio biológico	84
Figura 3.2: Grafo arquitetural de um neurônio artificial	86
Figura 3.3: Funções de ativação não-lineares mais utilizadas em neurônios de uma RNA	88
Figura 3.4: RNA direta com 3 camadas	89
Figura 3.5: RNA direta com 4 camadas	90
Figura 3.6: RNA recorrente com neurônios ocultos	91
Figura 3.7: Comparação de desempenho para dados de treinamento e teste, de modo a medir a capacidade de generalização dos mapeamentos produzidos	98

Figura 3.8: Exemplo de curvas de treinamento e de teste de uma RNA em cujo treinamento foi utilizada validação cruzada	99
Figura 3.9: Três razões fundamentais para o emprego de um <i>ensemble</i>	102
Figura 4.1: Versão final da parte 1 do questionário para avaliação do perfil dos especialistas a serem, consultados	122
Figura 4.2: Versão final da parte 2 do questionário, para saber como os especialistas a serem consultados priorizariam os critérios sugeridos para avaliação de uma proposta de venda de um equipamentos médico-hospitalar	123
Figura 4.3: Versão final da parte 3 do questionário para verificar as notas que os especialistas atribuiriam para cada critério, de acordo com o equipamento avaliado.	124
Figura 4.4: Exemplo de resposta de um Engenheiro Clínico à parte 3 do questionário mostrado na figura 4.3	143
Figura 4.5: Modelo geral utilizado para o treinamento das redes neurais artificiais com as respostas dos engenheiros clínicos	145
Figura 4.6: Modelo LMS	150
Figura 4.7: Modelo RN1	152
Figura 4.8: Modelo RN2	154
Figura 5.1: Distribuição do tempo de experiência dos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4	159
Figura 5.2: Local de trabalho dos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4	160
Figura 5.3: Natureza da instituição de trabalho dos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4	160
Figura 5.4: Número de leitos hospitalares atendidos pelos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4	161
Figura 5.5: <i>Boxplot</i> mostrando a dispersão de todas as respostas fornecidas (32 engenheiros clínicos) à parte 2 do questionário	163
Figura 5.6: <i>Boxplot</i> mostrando a dispersão das respostas remanescentes (19 engenheiros clínicos) após análise de correlação aplicada à parte 2 do questionário	165
Figura 5.7: Comparação das médias das respostas dos engenheiros clínicos para os fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) com as saídas da média de <i>ensemble</i> das RNA do modelo #29	182
Figura 5.8: Vistas parciais dos hiperplanos de decisão resultantes do <i>ensemble</i> com RNA do modelo #29, mostrando as saídas referentes aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) para equipamentos de baixa importância estratégica	184

Figura 5.9: Nível de importância atribuída pelo modelo #29 aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) para equipamentos médicos de baixa importância estratégica (entrada IE fixa em +1) e com diversas classificações de risco e custo (+1 = baixo; +2 = médio; +3 = alto)	185
Figura 5.10: Nível de importância atribuída pelo modelo #29 aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) para equipamentos médicos de média importância estratégica (entrada IE fixa em +2) e com diversas classificações de risco e custo (+1 = baixo; +2 = médio; +3 = alto)	186
Figura 5.11: Nível de importância atribuída pelo modelo #29 aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) para equipamentos médicos de alta importância estratégica (entrada IE fixa em +3) e com diversas classificações de risco e custo (+1 = baixo; +2 = médio; +3 = alto)	187
Figura D.1: Planilha utilizada para os trabalhos mostrados nos apêndices A, B e C	232
Figura D.2: Versão inicial da parte 1 do questionário para consulta aos especialistas	233
Figura D.3: Versão inicial da parte 2 do questionário para consulta aos especialistas	234
Figura D.4: Segunda versão da parte 2 do questionário para consulta aos especialistas	234
Figura D.5: Versão inicial da parte 3 do questionário para consulta aos especialistas	235

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Sugestão de critérios e subcritérios para priorização de alternativas de investimentos em tecnologias de saúde	35
Tabela 2.2: Quantificação do coeficiente v da equação 2.1	38
Tabela 2.3: Quantificação do coeficiente g da equação 2.1	38
Tabela 2.4: Quantificação do coeficiente c_i da equação 2.1	38
Tabela 2.5: Documentos entregues em propostas de fornecimento de equipamentos médicos	46
Tabela 2.6: Alguns fatores e critérios para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos sugeridos na literatura de EC	56
Tabela 2.7: Problemas encontrados nos testes de aceitação de equipamentos de imagens médicas acompanhados por Nelson et al. (1992)	58
Tabela 3.1: Características da programação convencional e da programação em IA	79
Tabela 4.1: Principais técnicas de aquisição do conhecimento	118
Tabela 4.2: Lista de equipamentos comumente encontrados em hospitais	127
Tabela 4.3: Lista de equipamentos utilizados para incluir no questionário de consulta aos engenheiros clínicos	128
Tabela 4.4: Classificação de risco dos equipamentos médicos da Tabela 4.3 segundo as 25 regras de classificação mostradas no Apêndice E	134
Tabela 4.5: Estimativa de custo dos equipamentos médicos da Tabela 4.3	136
Tabela 4.6: Classificação dos equipamentos médicos da Tabela 4.3 segundo a sua importância estratégica	138
Tabela 4.7: Valores atribuídos aos níveis de classificação dos equipamentos médico-hospitalares utilizados nesta tese	140
Tabela 4.8: Valores finais das entradas de risco (R), custo (C) e importância estratégica (IE) relacionadas a cada um dos equipamentos médicos utilizados para o treinamento das redes neurais artificiais e listados na Tabela 4.3	141
Tabela 4.9: Distribuição dos equipamentos da Tabela 4.3 de acordo com a sua classificação de risco (R), custo (C) e importância estratégica(IE) mostrada na Tabela 4.8	142
Tabela 4.10: Exemplos para treinamento das RNA gerados a partir da resposta de um engenheiro clínico à parte 3 do questionário mostrado na Figura 4.3	144
Tabela 5.1: Verificação do perfil majoritário dos engenheiros clínicos, que responderam à pesquisa, antes e depois da análise de correlação das respostas fornecidas na parte 2 do questionário	166
Tabela 5.2: Agrupamento dos 20 critérios da parte 2 do questionário (vide Figura 4.2) de acordo com a ordem de importância atribuída pelos engenheiros clínicos (vide Figura 5.6)	167
Tabela 5.3: Categorias (vide Tabela 4.9) utilizadas para fazer o treinamento e teste das redes neurais artificiais	172
Tabela 5.4: Resumo dos melhores resultados entre todos os experimentos realizados com os diversos modelos de RNA descritos no capítulo 4	174

Tabela 5.5: Resumo dos testes de hipóteses e análise de variância monofatorial com os erros quadráticos de teste (EQMTe) dos diversos modelos de RNA mostrados na Tabela 5.4	175
Tabela 5.6: Dispersão das respostas fornecidas pelas 100 RNA que compõem o <i>ensemble</i> do modelo #29	177
Tabela 5.7: Comparação dos principais resultados do treinamento do modelo#29 original (treinamento seqüencial), com os resultados da aplicação do treinamento por lote e a da implementação da técnica <i>bagging</i> (<i>ensemble</i> de 100 RNA com 25 <i>bootstraps</i> cada)	180
Tabela F.1: 55 grupos sorteados pelo programa “listeq2.m”	245
Tabela G.1: Conjunto de exemplos utilizados para treinamento e teste das redes neurais artificiais	248
Tabela I.1: Significado das siglas que são utilizadas nas tabelas contidas neste apêndice	262
Tabela I.2: Resultados do treinamento de diversas RNA do tipo Adaline treinadas com o algoritmo LMS. Todos os resultados são a média de um <i>ensemble</i> de 100 redes neurais	263
Tabela I.3: Resultados do treinamento de diversas RNA do tipo Perceptron com uma camada escondida, treinadas com o algoritmo <i>Back-propagation</i> . Todos os resultados são a média de um <i>ensemble</i> de 100 redes neurais	264
Tabela I.4: Resultados do treinamento de diversas RNA do tipo Perceptron com duas camadas escondidas, treinadas com o algoritmo <i>Back-propagation</i> . Todos os resultados são a média de um <i>ensemble</i> de 100 redes neurais	265
Tabela I.5: Resultados do treinamento das RNA do modelo #29 (vide Tabela I.4) com a utilização da técnica <i>bagging</i> e do treinamento por Lote	267

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABC: Custeio baseado em atividades (*Activity Based Costing*);
- AT: Avaliação Tecnológica;
- BAM: Memórias Bidirecionais Associativas (*Bidirectional Associative Memories*);
- BP: Algoritmo de Retropropagação (*Back-Propagation*);
- C: Entrada da rede neural artificial referente ao custo do equipamento médico;
- CL: Saída da rede neural artificial referente à importância do fator clínico;
- EAS: Estabelecimento assistencial de saúde;
- EC: Engenharia clínica, ou engenheiro clínico;
- ET: Especificações técnicas;
- E: Saída da rede neural artificial referente à importância do fator financeiro;
- IA: Inteligência artificial;
- IAC: Inteligência artificial conexcionista;
- IAE: Inteligência artificial evolutiva;
- IAH: Inteligência artificial híbrida;
- IAS: Inteligência artificial simbólica;
- IE: Entrada da rede neural artificial referente à importância estratégica do equipamento médico;
- LMS: Algoritmo de mínimos quadrados médios (*Least Mean Squares*);
- Q: Saída da rede neural artificial referente à importância do fator qualidade;
- R: Entrada da rede neural artificial referente ao risco do equipamento médico;
- RN1: Rede neural artificial com uma camada escondida;
- RN2: Rede neural artificial com duas camadas escondidas;
- RNA: Rede(s) neural(is) artificial(is);
- RP: Algoritmo de Retropropagação;
- S: Saída da rede neural artificial referente à importância do fator segurança;
- T: Saída da rede neural artificial referente à importância do fator técnico.

1. Introdução

Nas últimas décadas, a inovação tecnológica na área médica progrediu de forma tão acelerada que esta evolução não foi acompanhada pelas respectivas metodologias de gerenciamento e controle durante o seu ciclo de vida (BRONZINO, 1992; HAWKINS, 1992). Isto levou ao surgimento da área de engenharia clínica, que é uma especialidade da engenharia biomédica que cuida dos aspectos técnicos e administrativos que envolvem a operação segura e eficiente dos equipamentos médico-hospitalares (PANOUSIS et al., 1997).

Um dos momentos mais importantes no ciclo de vida de um equipamento médico é o planejamento da sua incorporação ao parque tecnológico do hospital (Antunes et al. 2002). Por isso, é importante contar com a aplicação de uma metodologia para auxílio na aquisição de equipamentos. Isto se mostra mais importante em países em desenvolvimento, onde os recursos e a disseminação de informações são mais escassos (TAWFIK, 1994).

Muita coisa já foi escrita, e às vezes implementada com sucesso relativo. Mas como os trabalhos encontrados são relativamente novos, falta ainda incorporar esta base teórica aos procedimentos efetivamente realizados pelos engenheiros clínicos de campo (RAMÍREZ, 2002).

A tomada de decisões na área da saúde, especificamente durante a aquisição de equipamentos médicos, requer a atuação de uma equipe multidisciplinar formada por médicos, enfermeiros, administradores hospitalares e engenheiros clínicos (CALIL, 2000; AMORIM, 1997). Entretanto, nem todos os hospitais, principalmente os de pequeno e médio

porte, possuem recursos humanos e financeiros para manter uma estrutura deste tipo. É nesse contexto que a aplicação de inteligência artificial (IA) para auxiliar a resolver este problema aparece como uma alternativa promissora. A utilização de IA permitirá que essas instituições contem com o auxílio de ferramentas computacionais que possam simular o comportamento de um profissional gabaritado. Assim, poder-se-á aplicar a IA a processos de tomada de decisões, do mesmo modo como a avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos.

Na área de aquisição de equipamentos médicos foram desenvolvidos previamente alguns trabalhos (VERGARA, 1999; MÜLLER JR., 2000; SILVA JR. 2004) com a utilização de sistemas especialistas simbólicos (SES), provavelmente devido à fácil interação com o usuário, o qual deve especificar as características desejadas, ou escolhê-las através de menus com informações previamente incorporadas aos programas. Estes trabalhos são de extrema valia para usuários experientes, que conhecem bem a área de tecnologias médico-hospitalares. Entretanto, o mesmo não se aplicará a usuários leigos ou com pouca experiência, que necessitariam de informações mais trabalhadas (de preferência obtidas através de consultas a especialistas mais experientes na área de engenharia clínica).

Por isso, nesta tese, é feito um estudo para verificar a possibilidade de representação efetiva do conhecimento de especialistas em engenharia clínica no campo de “aquisição de equipamentos médicos”, através de redes neurais artificiais. Em trabalhos futuros, isso permitirá a elaboração de um sistema especialista híbrido, que possa auxiliar mais efetivamente os usuários de instituições de saúde de pequeno e médio porte.

1.1. Objetivos

Este trabalho de tese tem por **objetivo geral**:

“Estudar a possibilidade de utilização de um modelo conexionista, ou seja, que é baseado em redes neurais artificiais, para fazer a representação do conhecimento de profissionais envolvidos na análise de propostas para aquisição de equipamentos médicos”.

Para isso, foram necessários atingir os seguintes **objetivos específicos**:

- Propor um conjunto de fatores (grupos de critérios) para avaliação de propostas de venda durante um processo de aquisição de equipamentos médicos;
- Verificar a viabilidade de utilizar um modelo de avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos, que consista na determinação de uma média ponderada para os diversos fatores envolvidos na avaliação de uma proposta de aquisição;
- Verificar, através de uma consulta a especialistas no processo de aquisição, se os pesos dos fatores utilizados irão variar significativamente de acordo com o perfil do profissional consultado e de acordo com o tipo de equipamento que estará sendo avaliado.

1.2. Organização da tese

Além deste capítulo introdutório, esta tese é composta pelas seguintes partes:

- Capítulo 2, onde é mostrado o estado-da-arte na área de aquisição de equipamentos médicos, com alguns dados históricos e revisão crítica das principais metodologias gerencias relacionadas a esta área;
- Capítulo 3, em que é feita uma breve revisão sobre inteligência artificial, dando-se ênfase à abordagem conexionista (redes neurais artificiais) e mostrando-se alguma literatura sobre tomada de decisões envolvendo a aquisição de equipamentos médicos;
- Capítulo 4, onde é mostrada detalhadamente a metodologia utilizada para consultar os especialistas e a manipulação das respostas recebidas para fazer o treinamento e teste das redes neurais artificiais;
- Capítulo 5, que mostra os principais resultados encontrados ao implementar-se a metodologia descrita no capítulo 4, acompanhados de uma discussão dos mesmos;
- Capítulo 6, composto pelas conclusões do trabalho e sugestões de trabalhos futuros;
- Referências bibliográficas e apêndices com informações adicionais para auxiliar o leitor a entender melhor o trabalho feito nesta tese.

2. Aquisição de Equipamentos Médicos

Nas últimas décadas, a inovação tecnológica progrediu de forma tão acelerada que vem fazendo parte de quase todos os aspectos de nossas vidas. Isto é especialmente verdadeiro na área médica (BRONZINO, 1992). Apesar da medicina ter uma longa história, a evolução de um sistema de saúde baseado em tecnologias capazes de fornecer uma ampla gama de diagnósticos e tratamentos terapêuticos efetivos é um fenômeno relativamente novo. Dentro deste processo evolutivo, o hospital moderno vem-se estabelecendo como o centro de um sistema de saúde tecnologicamente sofisticado (BRONZINO, 2000a). Particularmente após a II Guerra Mundial, houve um grande desenvolvimento de novas tecnologias (por exemplo: tomografia computadorizada, ressonância magnética, sistemas de monitorização fisiológica e lasers cirúrgicos) para aplicação na área da saúde. Esta evolução, porém, não foi acompanhada pelas respectivas metodologias de gerenciamento e controle durante o seu ciclo de vida (HAWKINS, 1992). Isso estimulou o aparecimento de diversas subdivisões na área de engenharia, entre as quais – a engenharia clínica – uma especialidade da engenharia biomédica que cuida dos aspectos técnicos e administrativos que envolvem a operação segura e eficiente dos equipamentos médicos dentro do ambiente hospitalar (PANOUSIS *et al.*, 1997; BRONZINO, 2000b; LAUFMAN, 2002). Assim, desde a década de 70, as atividades desenvolvidas pela Engenharia Clínica vêm sendo cada vez mais solicitadas pelos hospitais do Brasil e do mundo (RAMÍREZ; CALIL, 2000). Uma das

principais atividades da engenharia clínica é o gerenciamento do ciclo de vida de todas as tecnologias¹ que envolvem equipamentos médico-hospitalares. Esse gerenciamento envolve não apenas a manutenção como também a participação no processo de aquisição, recebimento, testes de aceitação, avaliação, treinamento, manutenção, alienação e demais assuntos referentes aos equipamentos médicos (ANTUNES *et al.*, 2002).

Este capítulo abordará o tema “Aquisição de Equipamentos Médicos” e será composto por 4 seções:

- Panorama geral da aquisição de equipamentos médicos, onde serão mostrados alguns dados envolvendo a aquisição de equipamentos médicos no Brasil e nos Estados Unidos;
- Importância das metodologias de aquisição de equipamentos médicos, onde serão citadas diversas referências na literatura que justificam a importância das metodologias de aquisição de equipamentos médicos;
- Metodologias de aquisição de equipamentos médicos, onde serão mostradas as diferentes metodologias de aquisição de equipamentos médicos encontradas na literatura, segundo os tópicos:
 - Processo genérico de aquisição de equipamentos médicos: fases envolvidas no processo de aquisição de equipamentos médicos;
 - Planejamento estratégico e geração das especificações mínimas: métodos utilizados pelo grupo gestor do hospital para descobrir as necessidades clínicas dos operadores e definir os tipos, as quantidades e as características dos equipamentos médicos a serem adquiridos;

¹ Segundo Antunes *et al.* (2002), dentro do ambiente hospitalar, pode-se dividir o ciclo de vida de uma tecnologia em 03 fases: incorporação (especificação, aquisição, instalação e treinamento); utilização (treinamentos, calibração, manutenção e contratos) e renovação/alienação (substituição ou preparação para uma nova aquisição).

- Avaliação das propostas: fase correspondente à escolha do fornecedor final do equipamento médico desejado;
- Recebimento e controle de qualidade: serão mostrados métodos para incorporação ao sistema patrimonial e entrada em funcionamento do equipamento médico no hospital.
- Comentários sobre a literatura de aquisição de equipamentos médicos, onde serão feitas algumas considerações sobre as omissões ou excessos da literatura encontrada.

Estas seções visam dar subsídios para justificar as decisões tomadas para a elaboração e implementação da metodologia proposta no capítulo 4 deste trabalho.

2.1. Panorama geral da aquisição de equipamentos médicos

A aquisição de equipamentos médico-hospitalares é o processo pelo qual o hospital introduz, ou atualiza, tecnologias nos seus procedimentos (STIEFEL, 1988). As razões para a escolha de uma nova tecnologia podem ser agrupadas em 03 categorias (CRAM *et al.*, 1997):

- necessidades clínicas dos pacientes e do corpo médico;
- apoio técnico-administrativo para melhoria da eficiência, ergonomia e atendimento às normas pertinentes;
- preferência do mercado que inclui o custo do equipamento e a conveniência da sua utilização para o cliente.

Sem dúvida, o momento mais importante para o gerenciamento do ciclo de vida de uma tecnologia é o processo de aquisição, pois o preço de compra não constitui o critério mais importante na sua escolha (ANTUNES *et al.*, 2002). Por isso, neste processo devem ser considerados todos os custos de operação e a qualidade do serviço pós-venda; nem sempre a opção mais cara irá aumentar a confiabilidade e durabilidade do equipamento adquirido (GRAY; MORIN, 1989).

Diversos autores (DYRO, 1998; LUCATELLI, 1998; VERGARA, 1999; ANTUNES *et al.*, 2002) costumam comparar os custos de ciclo de vida de uma tecnologia a um iceberg (vide Figura 2.1), cujo preço de compra é representado pela parte visível, que segundo Stiefel e Riskalla (1995) geralmente corresponde a apenas 20% do custo total. Esta constatação é reforçada por Blumberg (1998) que, após uma pesquisa em mais de 500 hospitais nos EUA, verificou que o segundo maior componente de gastos dos hospitais metropolitanos de 300 a 400 leitos, ocorria durante o processo de compra de materiais,

componentes e equipamentos adicionado ao custo total com manutenção (mão-de-obra, peças e instalações) interna e externa de equipamentos de alta tecnologia. Ele também observou que houve um aumento na lucratividade quando foram feitos esforços para diminuir as despesas neste processo, através da melhoria da eficiência² e custo-efetividade³.



Figura 2.1 – Custo de aquisição de uma tecnologia (modificado de DYRO 1998).

No início da década de 90, em alguns países em desenvolvimento, especificamente no Brasil, uma proporção significativa dos equipamentos médicos estava fora de operação devido a problemas gerenciais e técnicos tais como a inadequação ao seu uso ou ausência de manutenção básica (WANG; CALIL, 1991). Isso indicava evidências de transferência inadequada de tecnologia. Desde então tem sido importante entender os critérios envolvidos na licitação e doação de equipamentos (LEE, 1995). Naquela época, Calil (1994) já afirmava que a compra de equipamentos médicos era uma arte sofisticada, pois

² Quando o resultado perceptível de qualquer ação é obtido a um custo relativamente baixo (PANERAI; MOHR, 1990 apud BRITO, L.F.M. Comunicação Pessoal, 2002).

³ Relação entre os resultados reais de uma ação e os custos monetários dessa ação (TRINDADE, E.; MUHLEN, S.S.; BRITO, L.F.M.; BRITO, L.C.; RAMÍREZ, E.F.F. Comunicação Pessoal, 2002, Grupo de Discussão de Engenharia Clínica. <http://www.engeclinbr.yahoogrupos.com.br>).

existiam poucas leis de proteção ao consumidor e uma grande recessão mundial e conseqüente briga por mercados.

Essa situação estimulou as empresas multinacionais fornecedoras a monopolizar os serviços de manutenção dos equipamentos médicos. Como resultado disso, nestes países estavam sendo cobrados preços exorbitantes por esses serviços (CALIL, 1994), e os hospitais brasileiros tiveram que deixar muitos equipamentos parados aguardando manutenção (20% a 40% segundo WANG; CALIL, 1991).

Atualmente, no Brasil, apesar dos avanços conquistados, a questão da tecnologia em saúde reveste-se de complexidade, visto que as leis para proteger o consumidor, apesar de abrangentes, não são totalmente aplicadas e fiscalizadas pelas agências regulatórias do governo, gerando com isso grande insatisfação dos consumidores⁴ (IDEC, 2003). Em pesquisa recente, elaborada pelo Conselho Regional de Medicina do Estado de São Paulo junto a 1.011 hospitais, pronto-socorros e prontos-atendimentos do estado, 56,5% das UTIs (Unidades de Terapia Intensiva) não tinham os equipamentos mínimos, como monitores cardíacos, oxímetros e aspiradores de secreções (LEITE, 2003). Na mesma pesquisa, ao avaliar salas de cirurgia, verificou-se que apenas 34,9% tinham mais de 91% dos equipamentos imprescindíveis nesses locais, tais como foco de luz, rede de gases medicinais e aspiradores de secreções.

Esses dados mostram que há poucos recursos financeiros para aumentar a disponibilidade de equipamentos médicos, que muitas vezes podem estar parados esperando por conserto. Além disso, a absorção de novas tecnologias ainda depende, basicamente, da importação de equipamentos (GOMES; GOMES, 1998; FURTADO, 2001; CORNIALI; LEITE, 2002). Somente no Brasil, os gastos com peças e a importação de

equipamentos de imagens médicas (da ordem de US\$ 1,19 bilhão entre 1994 e 1998) representaram importantes fontes de evasão de divisas em um mercado nacional estimado em US\$ 1,3 bilhão/ano (CALIL, 2001). Adicionalmente, pode-se estimar gastos na ordem de US\$ 71 milhões anuais com mão-de-obra de manutenção de equipamentos (CALIL, 2000). Também pode-se afirmar que na década de 90 houve uma explosão das importações que desequilibraram os fluxos existentes nesse setor, pois as importações saltaram de US\$ 272 milhões em 1989 para US\$ 1,2 bilhão em 1998, representando um crescimento de 339% no período⁵. Esses números, quando relacionados aos da produção interna, revelam que as importações representaram aproximadamente entre 40 e 50%⁶ da demanda interna de equipamentos médicos, enquanto no início da década de 80, essa proporção era de 25% (FURTADO; SOUZA, 2001). Todo este processo foi em parte originado pela abertura de mercado às importações por alguns países e pela falta de qualidade de algumas indústrias nacionais (CALIL, 1994).

A reserva de mercado no Brasil, na década de 80, durou quase 10 anos, e, ao invés de reinvestir em novas tecnologias, as indústrias nacionais preocuparam-se em aumentar os seus lucros (CALIL, 1994). Com isso, países como o Brasil, que se haviam industrializado sob a proteção de barreiras tarifárias e comerciais, tiveram grandes dificuldades para acompanhar o ritmo dos avanços tecnológicos internacionais e, ao mesmo tempo, serem capazes de competir em preços (FURTADO; SOUZA, 2001).

⁴ Segundo IDEC (2003), após uma pesquisa com consumidores do Brasil inteiro, das 08 agências reguladoras do governo brasileiro: 03 (37,5%) receberam conceito “regular” (inclusive a Anvisa – Agência Nacional de Vigilância Sanitária); 03 (37,5%) receberam conceito “ruim” e 02 (25%) receberam conceito “muito ruim”.

⁵ Também nesse período, as importações de 1998 foram 7,25 vezes maiores do que as exportações de 1995, quando houve o melhor desempenho das exportações (FURTADO; SOUZA, 2001).

⁶ 39,4% pelos dados da ABIMO – Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios e 54,7% pelos dados da PAEP – Pesquisa da Atividade Econômica Paulista (FURTADO; SOUZA, 2001).

Em vista de tudo isso, atualmente é cada vez mais importante a avaliação criteriosa no momento da aquisição para não encarecer desnecessariamente os serviços de saúde. Itens como compra racional, protocolos de recebimento e aceite, programas de manutenção preventiva e treinamento adequado para os usuários elevariam a vida útil dos equipamentos, resultando em gastos otimizados para a administração da unidade hospitalar (COELLI, 2002). Entretanto, observa-se que as etapas básicas num processo de desenvolvimento e gerência nem sempre estão sendo articuladas entre o planejamento, o projeto, a execução, a manutenção e a operação do equipamento médico (CORNIALI; LEITE, 2002).

No Brasil, geralmente a maior preocupação está concentrada na execução de obras e na compra de equipamentos médicos. Por uma questão cultural, a manutenção e operação são negligenciadas, ocorrendo descontinuidades e baixa qualidade na prestação de serviços (CORNIALI; LEITE, 2002) devido a atrasos na instalação e interrupções no funcionamento dos equipamentos. Assim, o Brasil é obrigado a pagar juros sobre dívidas internacionais para aquisição de equipamentos, sem que a população consiga usufruir os benefícios decorrentes destas aquisições (SOUZA *et al.*, 2000).

Atualmente, a aquisição de um produto ótimo, ou seja, que satisfaça os requisitos de qualidade e segurança ao menor preço possível, continua sendo um processo difícil e extenuante (STIEFEL; RISKALLA, 1995). Isso se deve, em parte, ao crescente aparecimento de inovações tecnológicas (70% dos produtos médicos existentes hoje, não existiam há 10 anos atrás), que tornam os equipamentos obsoletos em pouco tempo (STIEFEL; RISKALLA, 1995), e, em parte, à diversidade de opções encontradas no mercado, combinado com as políticas internas dos hospitais e com fornecedores ambiciosos, que impõem aos adquirentes

dificuldades para obtenção de treinamentos técnicos e manuais de manutenção (GRAY; MORIN, 1989; LOPES, 1993; CALIL, 1994; ESPERANÇA *et al.*, 1998; CALIL, 2000).

Em uma instituição pública de saúde, além dos problemas citados anteriormente, ocorrem mais algumas dificuldades relacionadas com a pouca flexibilidade da lei de licitações. Apesar desta lei prever as modalidades técnica e preço, geralmente por comodidade ou falta de orientação, utiliza-se apenas esta última para licitar o bem a ser adquirido (AMORIM, 1997). Isso aumenta a necessidade de uma boa elaboração das especificações técnicas dos equipamentos, cuja qualidade dependerá da quantidade de informações disponíveis no mercado e na literatura. Por isso, desde o final da década de 90, para diminuir este problema, o governo brasileiro e a sociedade civil vêm promovendo iniciativas válidas tais como:

- edição, divulgação e/ou patrocínio de obras e projetos de auxílio para aquisição e gerência do ciclo de vida de equipamentos médicos e suas instalações (CALIL; TEIXEIRA, 1998; BRASIL, 2002a; BRASIL, 2002b; FERREYRA *et al.*, 2002; ANTUNES *et al.*, 2002; CORNIALI; LEITE, 2002; CALIL; GOMIDE, 2002);
- patrocínio a projetos para a implantação de um sistema de padronização de nomes de equipamentos médicos, de maneira similar à *UMDNS - Universal Medical Device Nomenclature System* do *ECRI – Emergency Care Research Institute* (SOUZA, 2001);
- estabelecimento de rede de 100 hospitais sentinelas para angariar informações sobre a qualidade dos equipamentos médicos em uso no país, via setor de Tecnovigilância da ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001a; BRASIL, 2001b);

- financiamento de cursos de treinamento para pessoal técnico e administrativo visando melhorias nos processos de administração hospitalar e de manutenção de equipamentos médicos (BRASIL, 2002b; CALIL; GOMIDE, 2002);
- emissão de portarias que obrigam a certificação e registro de equipamentos médicos comercializados no Brasil (BRASIL, 1994b; BRASIL, 1999);
- emissão de portarias e normas que dimensionam e definem os tipos de equipamentos médicos que devem existir em determinados serviços hospitalares e a qualidade dos insumos por eles utilizados (BRASIL, 2002c).

Apesar disso, um grande problema ainda enfrentado nesta área é a pulverização e disponibilidade restrita de informações (MÜLLER JR., 2000), principalmente em língua portuguesa, sobre tecnologias que ainda não estão devidamente validadas e sistematizadas. Então, a crescente inserção da tecnologia em procedimentos de atendimento à saúde, embora os qualifique e agilize, tem originado um conjunto de situações normalmente difíceis de resolver, tais como (BESKOW, 2001):

- especificação, compra, recebimento e instalação de equipamentos;
- treinamento dos operadores;
- manutenções preventivas e corretivas;
- substituição de equipamentos médico-hospitalares ao final de sua vida útil.

Em vista de tudo isso, questões como relação entre custo e benefício – efetividade, qualidade e resultados clínicos – continuam desafiando os administradores hospitalares durante o processo de aquisição de tecnologias (MOULAVI *et al.*, 1999).

2.2. Importância das metodologias para aquisição de equipamentos médicos

Um dos maiores problemas defrontados pela área da saúde é o que diz respeito à escassez histórica de recursos financeiros disponíveis para o setor, a qual tem ficado mais acentuada nos dias atuais. Isso vem tornando urgente a necessidade de uma alocação mais racional desses recursos (TROTТА, 1998). Por isso, há alguns anos já vêm sendo valorizados o estudo e o desenvolvimento de metodologias e ferramentas computacionais para o custeio de ciclo de vida e aquisição de novas tecnologias (HAWKINS, 1992; FUGLESTAD, 1997). Estes trabalhos visam a redução das subjetividades inerentes ao processo de tomada de decisões, que geralmente é baseado somente em julgamento humano (STIEFEL; RISKALLA, 1995).

Usualmente a decisão é tomada na base do "bom senso", da experiência prática ou de critérios subjetivos; sistemáticas que não são metodológicas e podem resultar em profundos danos tanto para a segurança dos pacientes quanto para a administração e economia hospitalar (KATZ, 1998).

As decisões para aquisição de equipamentos médicos por instituições de saúde são, freqüentemente, tomadas com respeito a um setor/departamento ou evento isolado, sem se lhes dar uma ênfase multidepartamental (AMORIM, 1997). Por isso, para maximizar a quantidade de informações disponíveis durante um processo de aquisição de tecnologias, é consenso entre diversos autores pesquisados (GRAY; MORIN, 1989; LOPES; VIEIRA, 1992; LOPES, 1993; CALIL, 1994; STIEFEL; RISKALLA, 1995; DOMINGOS; GARCIA, 1998; VERGARA, 1999; CALIL, 2000; KOLZER *et al.*, 2002), que a decisão final sobre a compra seja feita pelos usuários em conjunto com uma equipe interna do hospital formada por representantes (médicos, enfermeiros, engenheiros, advogados, administradores

hospitalares, etc.) dos diversos setores envolvidos, uma vez que o processo de aquisição de tecnologias envolve, direta ou indiretamente, todos os setores do hospital.

Em 1994, nos EUA, 85% dos hospitais já possuíam grupos internos de avaliação (*Product Evaluation Committes*) para: analisar os pedidos de compra de novos equipamentos; padronizar produtos e procedimentos; estabelecer prioridades de compra e critérios para tomada de decisões; realizar avaliação de produtos e promover medidas para contenção de custos, abrindo campo para a participação de engenheiros clínicos (STIEFEL; RISKALLA, 1995).

Em suma, é importante que exista uma política (método) para aquisição de novos equipamentos, pois isso (STIEFEL, 1988):

- define quais os custos envolvidos e considerados;
- reflete os objetivos do hospital;
- indica claramente como seriam preparadas as justificativas de compras;
- explica, pelo menos em termos gerais, como é tomada uma decisão sobre a aplicação de recursos.

A sistematização de uma metodologia de aquisição de equipamentos otimiza o processo de tomada de decisões na área tecnológica além de contribuir para a melhoria da qualidade, redução de custos nas instituições de saúde e adaptação às necessidades particulares de cada instituição. Esta sistematização possibilita, à direção do hospital e aos chefes de setores, a definição de uma base comum e objetiva para negociar as necessidades de cada um. Quando não existem técnicas objetivas e quantitativas, é provável que a negociação de novas aquisições seja meramente política (TAWFIK, 1994). Também se percebe que sem procedimentos administrativos estruturados das fases de aquisição até o

pagamento, o relacionamento entre cliente e vendedor tende a se degradar (BRONZINO, 1992).

A necessidade de uma metodologia para aquisição de equipamentos médico-hospitalares mostra-se ainda maior em países em desenvolvimento, onde o desafio é mudar a ênfase reativa do mero controle de equipamentos⁷ para a área mais ampla do gerenciamento tecnológico⁸ (LOPES; VIEIRA, 1992; TAWFIK, 1994). Isto assegura uma melhor aplicação dos recursos financeiros, tecnológicos e humanos na área da saúde (LOPES, 1993).

A utilização de uma metodologia de aquisição de equipamentos médicos deve estar inserida no planejamento estratégico de uma instituição de saúde (CAPUANO, 1997). Isso poderá reduzir a influência de empresas norte-americanas, européias e japonesas, as quais oferecem soluções globais⁹ (FUGLESTAD, 1997; MUSCHLITZ, 1997; FORREST, 1997; KALES, 1998) que tornam a aquisição de equipamentos dispendiosos muito mais atrativa (FURTADO, 2001) e ao mesmo tempo mais complexa e instigante.

⁷ Ênfase meramente reativa que busca resolver apenas os problemas do dia-a-dia à medida que eles forem aparecendo. Popularmente é conhecida como “apagar incêndios” (Nota do Autor).

⁸ Inclui o planejamento de tecnologia, através da previsão dos efeitos esperados no sistema de saúde, fazendo da tecnologia uma ferramenta que permita alcançar os objetivos esperados pelo estabelecimento assistencial de saúde (ANTÚNEZ, 2000).

⁹ Conjunto de elementos materiais (equipamentos e seus insumos) e imateriais (dos programas aos procedimentos) aos quais se adicionam os serviços financeiros (FURTADO, 2001).

2.3. Metodologias para aquisição de equipamentos médicos

Para uma melhor organização da leitura, na primeira subseção (2.3.1) será dada uma visão geral do processo de aquisição, e nas subseções seguintes (2.3.2 a 2.3.4) serão mostradas com mais profundidade algumas das fases mais importantes deste processo.

2.3.1. Processo genérico de aquisição de equipamentos médicos

Uma das metodologias mais utilizadas é a sugerida por Bronzino (1992), que é mostrada na Figura 2.2.

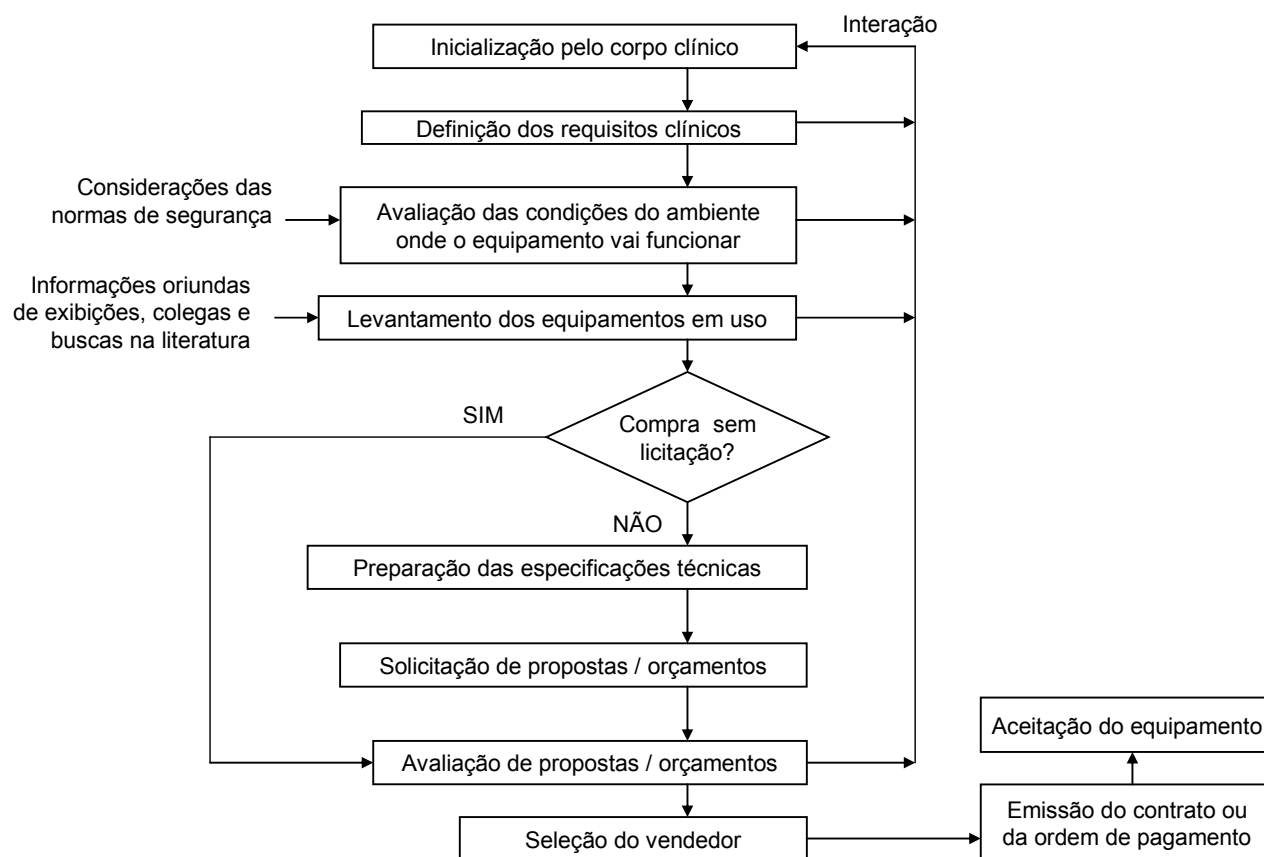


Figura 2.2 – Fluxograma do processo de aquisição de equipamentos médicos (traduzido de BRONZINO, 1992).

No Brasil, Lopes e Vieira (1992) também sugeriram um modelo de ciclo de aquisição de tecnologia, que é mostrado na Figura 2.3.

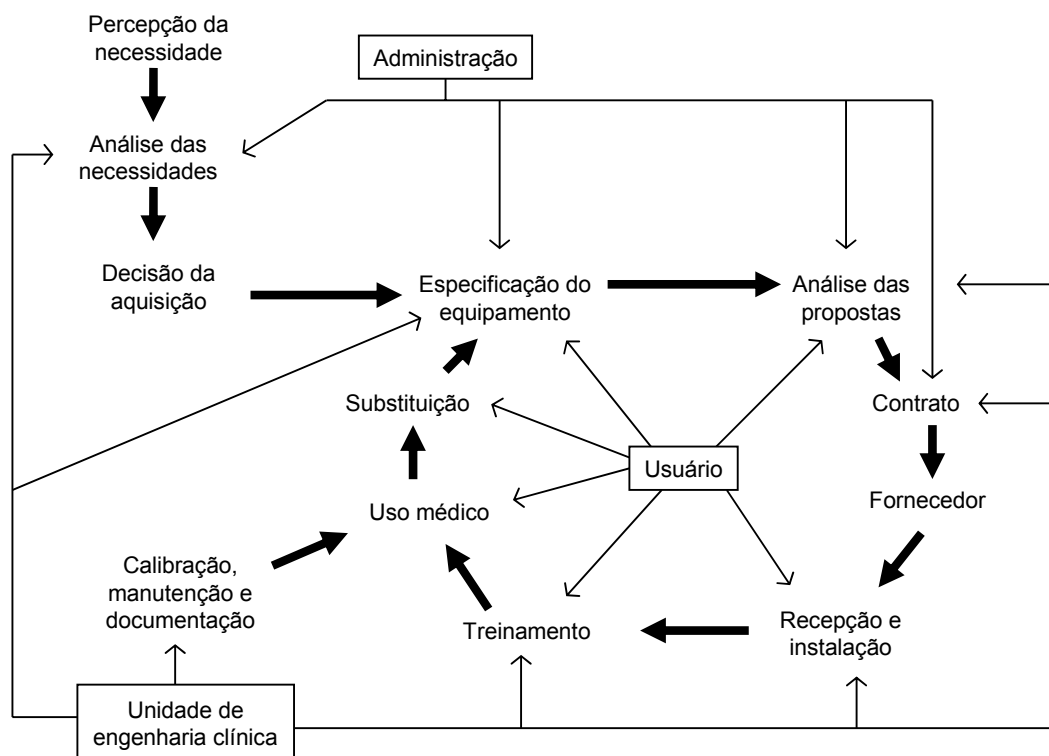


Figura 2.3 – Ciclo de aquisição de tecnologia (reproduzido de LOPES; VIEIRA, 1992).

A proposta de Bronzino (1992) foi modificada por Vergara (1999), que elaborou um sistema computadorizado para auxílio na aquisição de equipamentos, cujo fluxograma de etapas é mostrado na Figura 2.4.

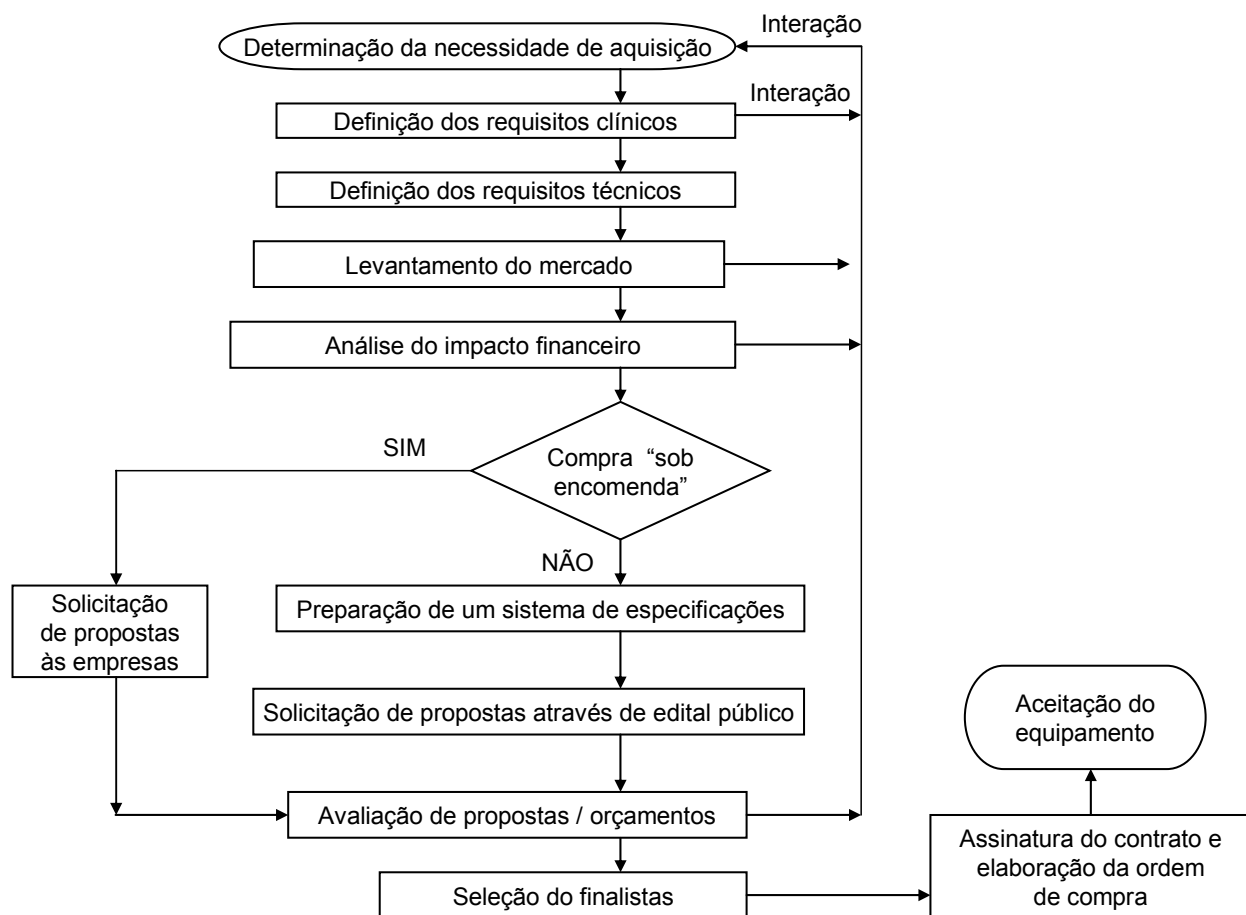


Figura 2.4 – Fluxograma do processo de aquisição de equipamentos médicos (reproduzido e modificado de VERGARA, 1999).

Müller Jr e Pedroso (2002) também propuseram um fluxograma de etapas para a aquisição de equipamentos médicos (vide Figura 2.5) baseado em Bronzino (1992).

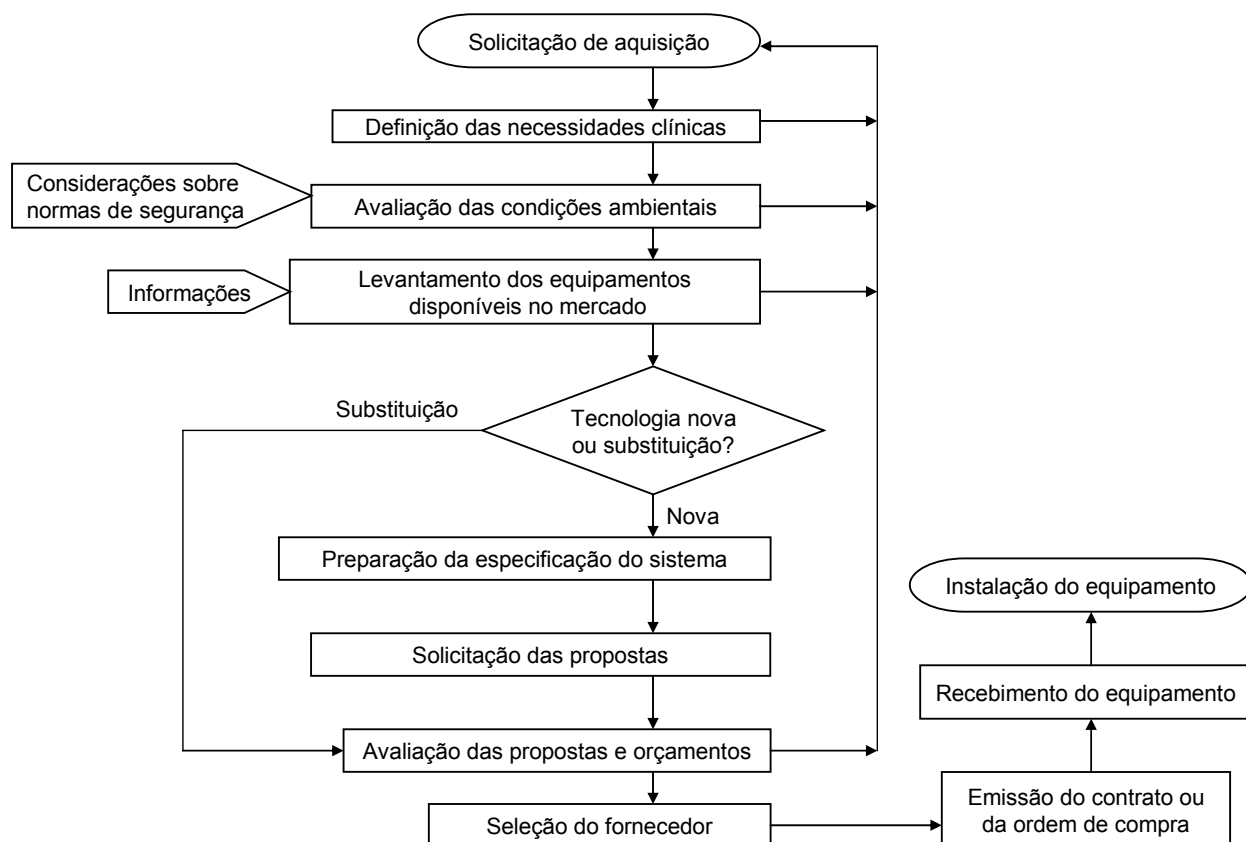


Figura 2.5 – Diagrama de etapas para a aquisição de equipamentos médicos (reproduzido e modificado de MÜLLER Jr.; PEDROSO, 2002).

Em Ramírez et al. (2001), também é mostrada outra sugestão de fluxograma para um processo genérico de aquisição de equipamentos médicos (vide Figura 2.6).

Antunes et al. (2002) sugerem um outro fluxograma de compra de equipamentos (vide Figura 2.7).

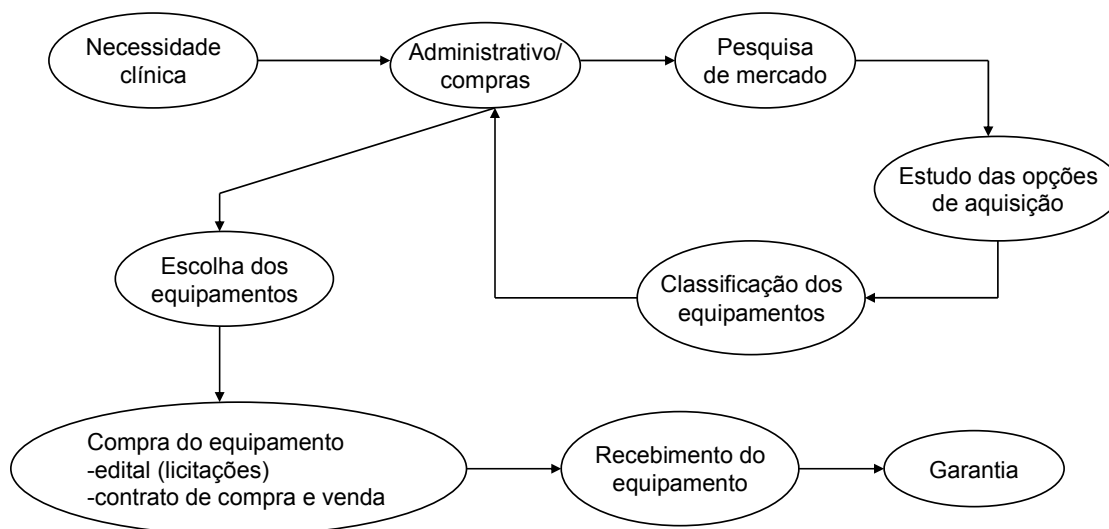


Figura 2.6 – Processo genérico de aquisição de equipamentos médicos (reproduzido de RAMÍREZ et al. 2001).

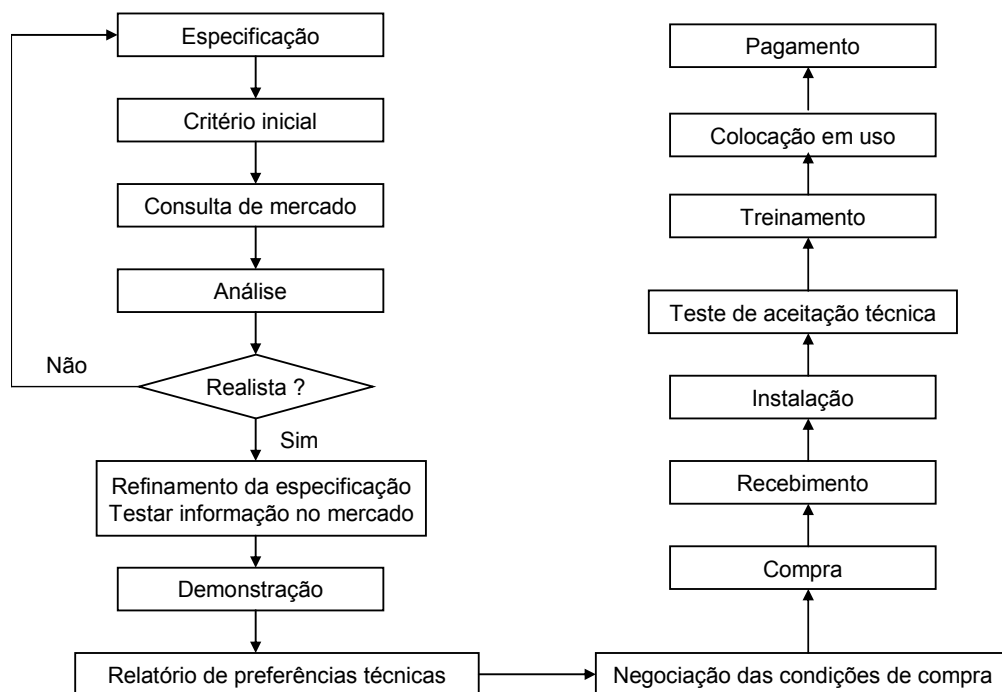


Figura 2.7 – Fluxograma de compra de equipamentos biomédicos (reproduzido e modificado de ANTUNES et al. 2002).

Amorim (1997) sugere um processo adequado de aquisição de equipamentos médicos que siga as etapas:

1. formar uma equipe responsável pela aquisição;
2. especificar detalhadamente o equipamento a ser adquirido;
3. avaliar a necessidade física, estrutural e elétrica para a instalação do equipamento;
4. selecionar a melhor proposta, entre as enviadas pelos fornecedores e/ou fabricantes;
5. acompanhar o andamento do pedido junto ao fornecedor;
6. elaborar uma programação para o recebimento do equipamento;
7. providenciar a instalação do equipamento.

Altieri (2000) propôs uma metodologia para aquisição de equipamentos médico-hospitalares que segue o fluxograma mostrado na Figura 2.8.

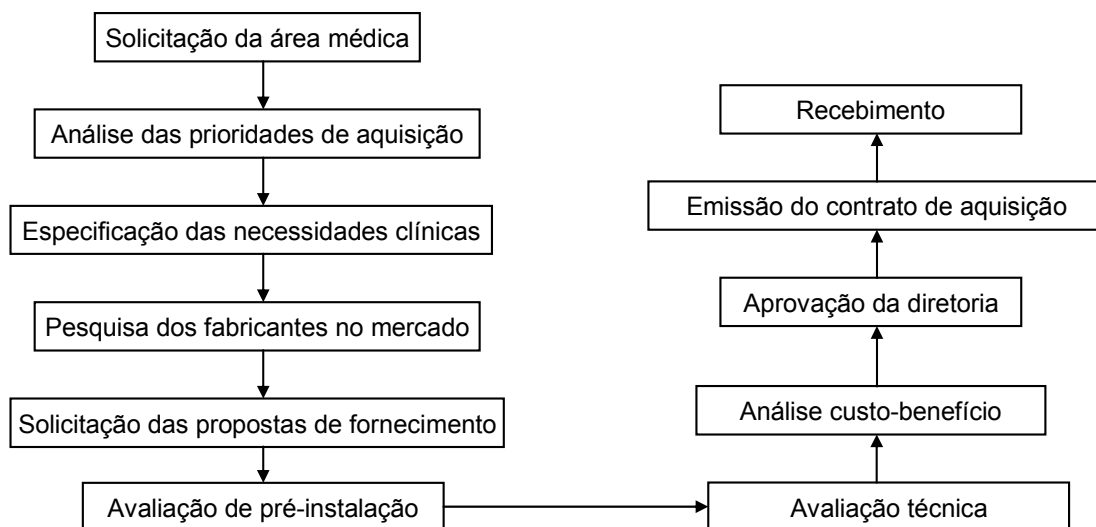


Figura 2.8 – Fluxograma de aquisição de equipamentos médico-hospitalares (reproduzido e modificado de ALTIERI, 2000).

Em Calil (2000), são citadas algumas atividades dentro de um processo de aquisição de equipamentos médicos – após a fase de definição e quantificação dos equipamentos pela administração do hospital – a saber:

- a) definição da equipe de implementação do processo de aquisição;
- b) coleta de dados;
- c) especificação das características técnicas dos equipamentos médico-hospitalares;
- d) determinação das cláusulas gerenciais para aquisições nacionais e internacionais;
- e) determinação das cláusulas para aquisições internacionais;
- f) recebimento do equipamento, incluindo a aplicação de uma metodologia de avaliação das propostas de fornecimento de equipamentos;
- g) instalação do equipamento.

Segundo Stiefel (1988), pode-se resumir a aquisição de equipamentos em 04 etapas:

- **Justificativa:**

- Avaliação das necessidades do hospital, apoiada em fatos concretos (idade, custos de manutenção e de substituição, segurança, adequação do pessoal disponível para manutenção e operação, adequação das instalações, aprovação legal);
- Elaboração de propostas clínicas, financeiras e de infra-estrutura por um grupo representativo de pessoas (médicos, enfermeiros e engenheiros clínicos) para satisfazer as necessidades encontradas anteriormente;

- Disponibilização de recursos financeiros, através de análise e aprovação das propostas elaboradas anteriormente por uma comissão financeira/administrativa do hospital.

- **Seleção:**

- Formação de uma comissão com médicos, enfermeiros, engenheiros e administradores para cada aquisição;
- Revisão da literatura: bibliotecas, subscrições ("recalls"), normas e informações dos fabricantes;
- Obtenção da lista de vendedores, elaboração de requisição-padrão de propostas (deve conter: necessidades, especificações mínimas necessárias, testes de aceitação a serem realizados, documentação técnica e clínica necessária, tipos, materiais e conteúdo dos treinamentos, garantias, opções de manutenção, e atestados de capacidade técnica de pelo menos 03 clientes com equipamentos similares);
- Requisição de equipamentos para realizar testes de engenharia (avaliar segurança, desempenho, construção física, ergonomia, restrições na instalação, qualidade e confiabilidade de hardware e componentes) e testes clínicos (avaliar adequação para a aplicação desejada, verificar a necessidade de padronização, e avaliar a satisfação através de questionários internos e contatos com usuários de outras instituições);
- Avaliação (Este processo em empresas públicas corresponderia à licitação): classificação das propostas através da ordenação de importância dos critérios obrigatórios e desejáveis, e pedidos de orçamentos aos vendedores classificados para comparar os custos envolvidos;

- Escolha final, negociação das condições de entrega do equipamento (acessórios, manuais, esquemáticos, equipamentos de teste, peças de reposição) e das cláusulas do contrato de compra e venda.
- **Implementação:**
 - Emissão da ordem de compra ou empenho (este é um documento legal. Por isso, deve constar tudo o que foi acertado previamente com o vendedor);
 - Instalação do equipamento e realização dos testes de aceitação;
 - Treinamentos de operação e manutenção dos usuários / técnicos envolvidos.
- **Conclusão:**
 - Elaboração de relatório descrevendo e documentando todo o processo de aquisição;
 - Acompanhamento da aceitação do equipamento ("*follow-up*") junto aos usuários.

Em Gray e Morin (1989) é sugerida uma metodologia de aquisição de equipamentos de imagens médicas com apenas seis passos:

- **Análise das necessidades:** avaliar as necessidades reais (porte, desempenho esperado, etc.) e pesá-las junto com os custos envolvidos. Podem-se fazer pesquisas junto com os vendedores e com outras instituições que já tenham equipamentos similares (confiabilidade, assistência técnica, compatibilidade, etc.).
- **Especificação dos equipamentos:** (a) fornecidas pelo vendedor (rapidez vs. omissão de informações importantes e dificuldade de comparação de propostas); (b) fornecidas pelo vendedor a partir de questionários elaborados pelo comprador (elimina as desvantagens

de (a) e não cria um ambiente de hostilidade); (c)fornecidas pelo comprador (requer pesquisa e cuidados para não restringir as propostas); (d)direcionadas/exclusionárias (podem dar munição para uma impugnação da licitação). Sugere-se condicionar uma parcela do pagamento a um nível mínimo de desempenho desejado. Também deverão ser fornecidos separadamente os preços dos opcionais do equipamento. O vendedor deverá estar ciente de todos estes itens antes de fornecer a cotação.

- **Análise das cotações dos vendedores**: devem levar em conta preço e qualidade (difícil de medir). Infelizmente, estes fatores mudam com o tempo e de acordo com o local. É importante saber na cotação quais os custos anuais dos contratos de manutenção (vida útil que varia de 05 a 10 anos). Por isso, a negociação das propostas finais deverá ser feita entre o comprador, o vendedor e sua assistência técnica. Deve-se levar em conta também a longevidade e a estabilidade fiscal do vendedor.
- **Elaboração do contrato**: (a)especificações; (b)preços; (c)termos – pagamento (p.ex. 50% na instalação, 30% no primeiro uso e 20% quando o desempenho for satisfatório, visto que geralmente, a margem de lucro dos vendedores é de 20%). Cuidado com a redação das multas por atrasos; isto pode virar uma arma contra o comprador. O contrato deverá sempre ter precedência sobre qualquer estipulação feita na cotação inicial do vendedor.
- **Testes de aceitação**: Engenharia – testes invasivos de componentes; imagens – testes não-invasivos que simulam o uso do equipamento com “*phantoms*” e favorecem o controle de qualidade das imagens. Testes iniciais: verificam as especificações do equipamento; outros testes, ver próximo item.
- **Controle de qualidade**: Deve começar durante o período de garantia logo depois dos testes iniciais de aceitação. Junto com um programa de manutenção preventiva, garante

um bom nível de funcionamento por 05-10 anos. Um controle de qualidade bem documentado fornece dados para justificar novas compras ou para determinar custos e qualidade da assistência técnica no período de garantia. Isso servirá de base para negociar os futuros contratos de manutenção, ou para justificar a criação de uma equipe de manutenção interna.

Como se pode perceber, as metodologias citadas anteriormente sugerem seqüências lógicas similares de atividades, mudando apenas alguns termos e definições utilizados. Segundo Esperança et al. (1998), o Grupo de Pesquisas em Engenharia Biomédica (GPEB, que atualmente mudou o nome para Instituto de Engenharia Biomédica – IEB) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) obteve bom desempenho estruturando uma assessoria na aquisição de equipamentos médico-hospitalares (EMH) em 03 etapas:

- elaboração de especificações técnicas;
- análise técnica das propostas apresentadas;
- aceitação do equipamento recebido.

Por isso, como a ênfase desta tese é na área de engenharia biomédica / clínica, as subseções seguintes serão organizadas de acordo com estas atividades:

- planejamento estratégico e elaboração das especificações técnicas do equipamento (subseção 2.3.2), que consistirá em todas as ações necessárias para definir, caracterizar e quantificar os equipamentos médicos a serem adquiridos pelo hospital, que equivaleria às fases de:

- definição dos requisitos clínicos, avaliação das condições do ambiente, levantamento dos equipamentos em uso e preparação das especificações técnicas de Bronzino (1992);
- percepção da necessidade, análise das necessidades, decisão da aquisição e especificação do equipamento de Lopes e Vieira (1992);
- determinação da necessidade de aquisição, definição dos requisitos clínicos e técnicos, levantamento do mercado, análise do impacto financeiro e preparação de um sistema de especificações de Vergara (1999);
- formação da equipe de aquisição, especificação detalhada do equipamento a ser adquirido e avaliação da necessidade física, estrutural e elétrica para a instalação do equipamento de Amorim (1997);
- solicitação de aquisição, definição das necessidades clínicas, avaliação das condições ambientais, levantamento dos equipamentos disponíveis no mercado e preparação da especificação do sistema de Müller Jr. e Pedroso (2002);
- necessidades clínicas, pesquisa de mercado e estudo das opções de aquisição de Ramírez et al. (2001);
- especificação, critério inicial, consulta de mercado, análise e refinamento da especificação de Antunes et al. (2002);
- solicitação da área médica, análise das prioridades de aquisição, especificação das necessidades clínicas e pesquisa dos fabricantes no mercado de Altieri (2000);
- definição da equipe de implementação do processo de aquisição, coleta de dados e especificação das características técnicas dos equipamentos médico-hospitalares de Calil (2000);

- justificativa e parte da etapa de seleção (até antes da atividade de avaliação) de Stiefel (1988);
- análise das necessidades e especificação dos equipamentos de Gray e Morin (1989).
- Análise técnica das propostas apresentadas, ou avaliação das propostas de aquisição de equipamentos médicos (subseção 2.3.3), que equivaleria às fases de:
 - solicitação e avaliação de propostas/orçamentos, e seleção do vendedor de Bronzino (1992);
 - análise das propostas, contrato e fornecedor de Lopes e Vieira (1992);
 - solicitação e avaliação de propostas, e seleção de finalistas de Vergara (1999);
 - seleção da melhor proposta de Amorim (1997);
 - solicitação e avaliação de propostas e orçamentos, e seleção do fornecedor de Müller Jr. e Pedroso (2002);
 - classificação e escolha dos equipamentos de Ramírez et al. (2001);
 - demonstração do equipamento, relatório de preferências técnicas e negociações das condições de compra de Antunes et al. (2002);
 - solicitação das propostas de fornecimento, avaliação de pré-instalação, avaliação técnica, análise custo-benefício e aprovação da diretoria de Altieri (2000);
 - julgamento das propostas de fornecimento (dentro das atividades de recebimento) de Calil (2000);
 - seleção (atividades de avaliação e escolha final) dos equipamentos de Stiefel (1988);
 - análise das cotações dos vendedores e elaboração do contrato de Gray e Morin (1989).

- Aceitação (recebimento e controle de qualidade) dos equipamentos médicos (subseção 2.3.4), que equivaleria às fases de:

- emissão do(a) contrato/ordem de pagamento e aceitação do equipamento de Bronzino (1992);
- recepção e instalação, treinamento e uso médico de Lopes e Vieira (1992);
- assinatura do contrato, elaboração da ordem de compra e aceitação do equipamento de Vergara (1999);
- acompanhamento do pedido, elaboração da programação para o recebimento e instalação do equipamento de Amorim (1997);
- emissão do contrato ou ordem de compra, recebimento e instalação do equipamento de Müller Jr. e Pedroso (2002);
- compra, recebimento e garantia do equipamento de Ramírez et al. (2001);
- compra, recebimento, instalação, teste de aceitação técnica, treinamento, colocação em uso e pagamento de Antunes et al. (2002);
- emissão do contrato de aquisição e recebimento de Altieri (2000);
- recebimento e instalação do equipamento de Calil (2000);
- implementação e conclusão de Stiefel (1988);
- testes de aceitação e controle de qualidade de Gray e Morin (1989).

Eventualmente, serão citadas algumas referências adicionais que abordaram isoladamente algumas das atividades relacionadas nas subseções.

2.3.2. Planejamento estratégico e geração das especificações mínimas

Segundo Capuano (1997), o processo genérico mais básico para planejamento de aquisição de capital consiste em quatro atividades, que são mostradas na Figura 2.9.

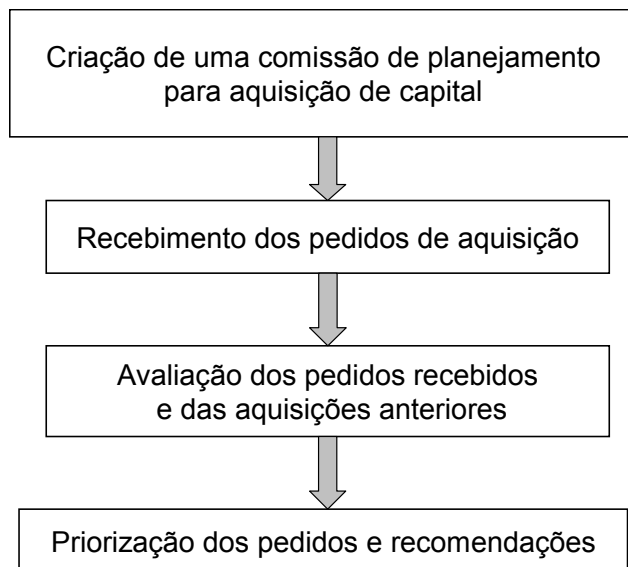


Figura 2.9 – Processo genérico de planejamento para aquisição de capital (traduzido e modificado de CAPUANO, 1997).

Ainda segundo Capuano (1997), as **comissões de planejamento para aquisição de capital** devem possuir de seis a oito membros, que tenham proficiência na área da aquisição, sejam confiáveis e representativos dos setores onde o equipamento irá funcionar. Isso vai ao encontro do afirmado por Calil (2000), que sugere que, durante um processo de aquisição, é necessária uma equipe composta por no mínimo os seguintes profissionais: um advogado, um médico (normalmente o solicitante) e um enfermeiro (importante que ambos façam parte do serviço de saúde que esteja solicitando o equipamento), e uma pessoa com conhecimento na parte técnica dos equipamentos e fornecedores. Já Amorim (1997) sugere que a equipe responsável pela aquisição seja formada por: um médico do setor requisitante; um engenheiro biomédico ou clínico; uma

Hospital XXXX Solicitação para Aquisição e Autorização de Gastos Nº:				
A ser preenchido pelo Departamento Solicitante				
Justificativa: <input type="checkbox"/>)essencial <input type="checkbox"/>)melhoria <input type="checkbox"/>)substituição <input type="checkbox"/>)aumento da capacidade/lucro				
Resumo da descrição do bem desejado				
Centro de custos	Nome do Departamento	Hospital	Andar	Sala
Descrição completa do bem desejado (se necessário utilizar anexos)				
Nome e telefone do vendedor indicado			Justificativa para escolha do vendedor	
Necessidade (incluir também informações financeiras e se necessário utilizar anexos)				
A ser preenchido pelo Setor de Compras <input type="checkbox"/>)Orçamento <input type="checkbox"/>)Documentação de serviço do tipo _____ Cotação				
Vendedor Sugerido para Contratação: _____				
A ser preenchido pelo Setor de Contabilidade				
Custo estimado	Custo total	Capital	Despesa	
Orçamento				
Mão-de-obra interna				
material				
Total				
Origem dos Recursos Financeiros: _____				
<u>Bem a ser substituído</u>				
Descrição: _____				
Modelo / Número de série: _____ Ano de aquisição: _____				
<input type="checkbox"/>)Trocado por um bem novo <input type="checkbox"/>)Vendido por _____ <input type="checkbox"/>)Inutilizado				
<input type="checkbox"/>)Transferido para outra área: _____ <input type="checkbox"/>)Armazenado no almoxarifado/depósito				
Valor atual: _____				
Revisão e Aprovação				
Solicitante(nome/cargo): _____		Assinatura: _____	Data: __/__/__	
Chefe do Departamento do solicitante: _____		Assinatura: _____	Data: __/__/__	
Engenheiro Civil: _____		Assinatura: _____	Data: __/__/__	
Engenheiro Clínico: _____		Assinatura: _____	Data: __/__/__	
Responsável pelo Setor de Compras: _____		Assinatura: _____	Data: __/__/__	
Responsável pela Contabilidade: _____		Assinatura: _____	Data: __/__/__	
Diretor Financeiro: _____		Assinatura: _____	Data: __/__/__	

Figura 2.10 – Formulário para requisição e autorização de gastos (traduzido e modificado de DAVIS, 1992).

pessoa do setor de compras; outra pessoa que possa contribuir com seus conhecimentos no processo de aquisição. Segundo Capuano (1997), administradores e médicos são membros típicos dessas comissões, pois infelizmente as decisões geralmente são apenas políticas. Por isso, para garantir uma decisão mais apropriada, representantes da enfermagem e da área técnica deveriam ser mais requisitados.

Após o estabelecimento formal de uma comissão de planejamento para aquisição de equipamentos, deve-se fazer periodicamente o **recebimento dos pedidos de aquisição**. Para isso, deve-se ter um local, ou setor do hospital, que receba os formulários dos pedidos de aquisição de equipamentos médicos, que foram emitidos pelos diversos setores do hospital. Um exemplo deste tipo de formulário é mostrado na Figura 2.10. Segundo Davis (1992), o maior desafio, ao preencher uma requisição de equipamentos, é ser claro e conciso nas decisões e justificativas. Historicamente, o médico e o engenheiro clínico descrevem as justificativas clínicas e técnicas separadamente, mas este procedimento pode sair desarticulado e incompleto.

Domingos e Garcia (1998) apresentaram a experiência de utilização de um formulário para especificação técnica de eletrocardiógrafos utilizado no Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina. O uso do formulário reduziu o tempo gasto e diminuiu o nível de abstração na elaboração das especificações técnicas. Além disso, melhorou a interação do setor de engenharia clínica com os setores médicos.

Após o recebimento dos pedidos de aquisição de equipamentos, vem as fases de **avaliação dos pedidos recebidos e análise das aquisições anteriores**. Nesta fase geralmente são, ou pelo menos deveriam ser, utilizados conceitos de avaliação tecnológica (AT) – uma subárea da engenharia clínica que verifica o custo e a efetividade de tecnologias médicas – os quais devem ser bem utilizados, caso contrário pode acontecer algo similar ao

insucesso ocorrido no estado do Oregon (EUA) relatado por Eddy (1991). Esse trabalho mostrou não só a dificuldade de calcular a efetividade na área da saúde, como também o grande potencial da análise de custo-efetividade desde que seja bem utilizada.

Tabela 2.1 – Sugestão de critérios e subcritérios para priorização de alternativas de investimentos em tecnologias de saúde (reproduzido e modificado de TROTTA, 1998).

Crítérios	Sub-critérios	Sub-sub-critérios
Impacto da alternativa em saúde	Freqüência do problema de saúde	
	Efeito esperado	-diminuir mortalidade e/ou morbidade -aumentar a qualidade de vida
Importância econômica da alternativa	Custos gerados pela alternativa	
	Custo por não ter a alternativa	
	Custo da doença	
Controvérsias em relação à alternativa		
Existência de alternativa semelhante na área		
Nível de demanda		
Qualidade da atenção		
Valores públicos a respeito do problema de saúde		
Evidência quanto à efetividade		
Importância do problema de saúde para o paciente		
Critério político		
Dependência de recursos	Recursos materiais	-dependência de instalações físicas -dependência de manutenção
	Recursos humanos	-recursos humanos necessários para lidar com a alternativa -capacidade administrativa dos recursos humanos
Risco na utilização		

Uma outra opção à análise de custo-efetividade é a família de metodologias de apoio à decisão multicritério que foi utilizada em Trotta et al. (1996) e Trotta (1998) para definição de prioridades de investimentos na área da saúde. Os métodos abordados em Trotta (1998) basicamente consistem de manipulação de matrizes, cujos elementos foram

preenchidos após comparação entre as diversas alternativas e as notas que estas alternativas tiveram em alguns critérios sugeridos no trabalho (vide Tabela 2.1).

Em Hawkins (1992) também foram sugeridos alguns aspectos a serem levados em conta durante um planejamento para aquisição de tecnologias:

- aspectos clínicos: deve ser avaliada a efetividade da nova tecnologia (o equipamento funciona? Existe melhoria em relação às tecnologias já existentes?);
- aspectos médicos: deve-se levar em conta a opinião dos médicos que irão utilizar a nova tecnologia (devem-se retirar os interesses pessoais), para avaliar a capacidade de assimilação da nova tecnologia pelo corpo clínico;
- aspectos monetários: envolve custos, financiamentos e reembolsos, devendo ser feita uma análise do retorno de investimento para cada possibilidade de aquisição;
- aspectos legais: gerenciamento de riscos e prevenção contra processos judiciais;
- idoneidade e competência do fornecedor de equipamentos: garantia de fornecimento dos manuais de serviço completos (com lista de peças de reposição, vistas explodidas e árvores de diagnósticos de falhas), cursos de manutenção a um custo razoável, disponibilidade de peças de reposição, assistência técnica com disponibilidade total, pessoal de vendas que trabalhe em conjunto com o pessoal da assistência técnica.

Antúnez e Garcia (2000) também sugerem alguns critérios que deveriam ser estabelecidos nas metodologias de AT:

- impacto social (repercussão na opinião pública pelo uso da tecnologia);
- eficácia (probabilidade de benefício da população pelo uso da tecnologia);
- segurança (possibilidade de diminuição do risco ao utilizar a tecnologia);

- utilização (estimativa de utilização da tecnologia);
- dependência de recursos (determinação do custo e da efetividade em relação a outras tecnologias que atendam os mesmos objetivos);
- custos diretos, indiretos e induzidos durante a utilização da tecnologia.

Entretanto, ao fazerem uma pesquisa com 25 profissionais de 4 estabelecimentos assistenciais de saúde de Florianópolis, Antúnez e Garcia (2000) perceberam que apenas alguns desses critérios, e outros adicionais, eram utilizados durante o planejamento para incorporação ou substituição de tecnologias na área da saúde: custos diretos (aquisição, insumos e mão-de-obra); eficácia (principalmente técnica); segurança (simplesmente obediência às normas); experiência na utilização de uma tecnologia (critério muito subjetivo); e necessidades clínicas (melhoria na atenção médica). Em outro trabalho, ao realizarem a caracterização do uso de tomografia computadorizada no Estado do Rio de Janeiro, Santos e Almeida (1996) identificaram deficiências na alocação de tecnologia, relativamente à situação tanto geográfica quanto dos hospitais que a oferecem. Isso indicou uma dificuldade para estabelecer critérios claros e coerentes que guiem as tomadas de decisão nos EAS brasileiros.

Em Tawfik (1994), é mostrado um modelo para **priorização dos pedidos de compra**, que se baseia no uso de uma fórmula (vide Equação 2.1) para estimar o número ideal de equipamentos médicos a ser adquirido por uma instituição de saúde.

$$n = n_{total} - n_{atual} = \text{int}(n_b \cdot rr \cdot v \cdot g) - \text{int}\left(\sum_{i=1}^m c_i\right) \quad (2.1)$$

Onde:

- *int* = operador inteiro (arredonda um número para baixo até o número inteiro mais próximo);
- *n* = número de equipamentos a serem adquiridos;
- *n_{total}* = número de equipamentos necessários para suprir a demanda do setor;
- *n_{atual}* = número de equipamentos similares disponíveis em bom estado no setor;
- *n_b* = número de leitos ou pacientes atendidos;
- *rr* = Número ideal de equipamentos/paciente (obtido de normas ou padrões do hospital);
- *v* = Impacto do equipamento no tratamento dos pacientes (definido pelos usuários);
- *g* = Capacidade do equipamento para gerar receitas (medição do custo x benefício);
- *m* = Número de equipamentos já existentes que desempenham a mesma função (obtido do patrimônio);
- *c_i* = Condição do “i-ésimo” equipamento dos “m” já existentes que desempenham a mesma função (obtido do patrimônio).

A quantificação dos coeficientes da Equação 2.1 é mostrada nas Tabelas 2.2, 2.3 e 2.4. Na Figura 2.11 é mostrado um formulário para aquisição de equipamentos médicos sugerido por Tawfik (1994), que servirá para a obtenção de alguns dados destinados a alimentar a Equação 2.1.

Tabela 2.2 – Quantificação do coeficiente v da Equação 2.1.

Situação do Equipamento	Valor do coeficiente v
Suporte à vida	1,00
Melhora a qualidade do tratamento	0,75
É aconselhável ter	0,50

Tabela 2.3 – Quantificação do coeficiente g da Equação 2.1.

Situação do Equipamento	Valor do coeficiente g
Gera receita	1,1
Não gera receita	1,0

Tabela 2.4 – Quantificação do coeficiente c_i da Equação 2.1.

Condição do Equipamento	Valor do coeficiente C _i
Ok!	1,00
Manutenção frequente	0,75
Manutenção regular	0,50
Manutenção deficiente	0,25
Desativado ou obsoleto	0

Formulário de Requisição de Equipamentos Médicos						
Item	Equipamento	Qte	Justificativa Principal para a Aquisição			
			Suporte à vida	Melhoria no tratamento	Nova Tecnologia	Geração de receitas
1						
2						
3						
Setor: _____ Responsável: _____ Visto: _____ Data: ____/____/____						

Figura 2.11 – Formulário de requisição de equipamentos para ser utilizado junto com a Equação 2.1 (adaptado de TAWFIK, 1994).

Ao confrontarem-se as recomendações de Antúnez e Garcia (2000) com o trabalho de Tawfik (1994), pode-se perceber pela Equação 2.1, que este último utiliza, na sua metodologia, critérios de impacto social (n_b), eficácia (v), segurança (rr , c_i), utilização (n_b , rr , m , c_i), dependência de recursos (m , c_i , g , v) e custos (g). Isso mostra que o método proposto por Tawfik (1994) é simples de entender e abrange os critérios recomendados por Antúnez e Garcia (2000) para uma boa análise de AT. Entretanto, Penco e Ramírez (2004) tiveram algumas dificuldades ao tentar a implementação prática desse método no Brasil:

- dificuldade de ponderação do coeficiente v , pois era bastante subjetivo;
- dificuldade de ponderação do coeficiente g , pois não foi possível encontrar informações confiáveis sobre os custos de operação e de manutenção dos equipamentos estudados;
- dificuldade de ponderação do coeficiente c_i , pois Tawfik (1994) não quantificou, em termos práticos, o que significava deficiente, regular ou freqüente manutenção;
- ausência de um método de priorização entre setores do hospital, que permitisse fazer o desempate entre setores que desejassem o mesmo tipo de equipamento;

- não-previsão de redundâncias no coeficiente rr, pois em conversas com o corpo clínico, viu-se que em alguns casos era desejável haver alguns equipamentos diferentes, mas que tivessem funções em comum (por exemplo um monitor multiparamétrico com oximetria habilitada e um oxímetro de pulso).

Uma observação interessante é que, para o cálculo do coeficiente g, deveria ser estimado o resultado financeiro (= receitas – despesas) da utilização do equipamento; não adianta gerar receitas se as despesas forem muito maiores. Além disso, o cálculo do resultado financeiro não é simples, por consistir de uma metodologia à parte. Para isso, foram consultados alguns trabalhos de custeio baseado em atividades (ABC) que mostram a complexidade envolvida nos cálculos dos custos associados ao ciclo de vida dos equipamentos médicos. Por exemplo, o ABC foi utilizado por Cohen et al. (2000) para descobrir como eram distribuídos os custos nas atividades de ensino, pesquisa e atendimento de profissionais de radiologia de um hospital-escola dos EUA. Em Ferreira Filho et al. (1996), foi mostrado o potencial de utilização do ABC em um departamento de engenharia clínica. Mais tarde, em Rocha e Bassani (2002) foi descrita uma metodologia de implantação do ABC para determinar o custo das diversas atividades associadas a um setor de engenharia clínica de um hospital-escola brasileiro. Já Sanches (2003) e Cicarelli Neto (2003) mostraram como utilizar o ABC para calcular os custos associados à operação e à manutenção de bombas infusoras. Em Groeneveld et al. (2001), foi mostrada uma análise de custo-efetividade da utilização de desfibriladores automáticos externos em vôos comerciais nos Estados Unidos. Todos esses trabalhos demandaram meses, às vezes anos, para serem concluídos, o que mostra a dificuldade de calcular o valor real do coeficiente g da metodologia de Tawfik (1994).

Como visto nas Figuras 2.2 a 2.7, as várias atividades do planejamento estratégico da aquisição dos equipamentos médicos a serem adquiridos são interativas, porquanto elas podem ocorrer tanto simultaneamente como sequencialmente. Assim, paralelamente às atividades de avaliação e priorização dos pedidos de aquisição dos equipamentos, ocorrem outras atividades, tais como pesquisa de mercado, pedido de orçamentos, estudo das opções de aquisição (à vista, a prazo, leasing, comodato, com ou sem licitação) e reavaliação das necessidades clínicas para que estas se ajustem ao que é oferecido no mercado. Para estas atividades, Cram (1999) sugere o método de “matriz ponderada” (*weighted matrix*) que consiste na ponderação de diversos critérios utilizados na avaliação técnica e clínica das opções de aquisição, que resultarão posteriormente em uma nota final para cada proposta de aquisição (vide Figuras 2.12 a 2.14).

Avaliação Clínica						
Item avaliado: Sistema de Telemetria						
VENDEDOR		Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Nota mais alta / baixa
CRITÉRIOS*	Resistência à água	4,1	3,5	3,6	4,0	4,1 / 3,5
	Treinamento	4,3	3,3	4,2	3,9	4,3 / 3,3
	Facilidade de uso	4,2	3,5	4,4	4,5	4,5 / 3,5
	Visibilidade do monitor	4,2	3,2	4,0	4,6	4,6 / 3,2
	Faixa e clareza do sinal	4,2	3,7	4,0	4,4	4,4 / 3,7
	Atualização	4,0	3,4	4,5	3,0	4,5 / 3,0
	Capacidade de mostrar o segmento ST	4,1	3,6	4,1	0,0	4,1 / 0,0
	Memória	4,0	3,6	4,0	4,0	4,0 / 3,6
TOTAL DE PONTOS		33,1 / 40	27,8 / 40	32,8 / 40	28,4 / 40	34,5 / 23,8

(*)Valores dos critérios: 0 a 5 pontos, sendo 5 o melhor resultado.

Figura 2.12 – Parte clínica da avaliação tecnológica pré-aquisição feita por um departamento de engenharia clínica (traduzido e modificado de CRAM, 1999).

Avaliação Técnica						
Item avaliado: Sistema de Telemetria						
VENDEDOR		Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Nota mais alta / baixa
CRITÉRIOS*	Resistência à água	5,0	3,5	3,6	4,0	5,0 / 3,5
	Treinamento	5,0	5,0	3,0	3,5	5,0 / 3,0
	Exclusividade de cabos e eletrodos	5,0	1,5	3,0	3,0	5,0 / 1,5
	Exclusividade de peças e placas	5,0	1,0	3,0	4,0	5,0 / 1,0
	Funcionamento baseado em PC	5,0	1,0	5,0	4,0	5,0 / 1,0
	Atualização	5,0	3,0	5,0	0,0	5,0 / 0,0
	Reputação do fornecedor	3,0	9,0	3,0	7,0	9,0 / 3,0
	Custos de instalação	5,0	2,0	2,0	4,0	5,0 / 2,0
TOTAL DE PONTOS		38 / 45	26 / 45	27,6 / 45	29,5 / 45	44 / 15

(*)Valores dos critérios: 0 a 5 pontos, sendo 5 o melhor resultado (exceto o critério reputação do vendedor, que varia de 0 a 10, sendo 10 o melhor resultado).

Figura 2.13 – Parte técnica da avaliação tecnológica pré-aquisição feita por um departamento de engenharia clínica (traduzido e modificado de CRAM, 1999).

<p>EMPRESA 1: (\$ 198.000,00)</p> <p><u>Vantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Preço 2) Melhor pontuação na avaliação técnica e clínica 3) Envolvida com pesquisa e desenvolvimento 4) Oferece treinamentos técnicos e clínicos 5) sistema aberto <p><u>Desvantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Empresa desconhecida, sem referências 2) Não é fabricante, apenas revende equipamentos 	<p>EMPRESA 2: (\$ 217.000,00)</p> <p><u>Vantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Preço inclui 2 monitores portáteis para transporte 2) Sistema é amigável <p><u>Desvantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Não oferece a análise do segmento ST 2) atualizações dependem de acordos com outra empresa 3) Não oferece treinamento 4) Não é fabricante, apenas revende equipamentos
<p>EMPRESA 3: (\$ 225.000,00)</p> <p><u>Vantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Excelente reputação do fornecedor 2) Sistema opera na faixa UHF para melhorar a qualidade do sinal <p><u>Desvantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sistema não é amigável 2) Sistema não é baseado em PC 3) Pior pontuação na avaliação clínica 	<p>EMPRESA 4: (\$ 349.000,00)</p> <p><u>Vantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Melhor pontuação na avaliação clínica 2) Sistema é amigável <p><u>Desvantagens:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Preço 2) Não oferece treinamento 3) reputação do fornecedor é desconhecida

Figura 2.14 – Análise das informações provenientes das avaliações clínica e técnica mostradas nas Figuras 2.12 e 2.13 (traduzido de CRAM, 1999).

Durante o processo de planejamento estratégico começam a ser definidas as **especificações técnicas e clínicas** do equipamento, assim como as **cláusulas gerenciais** para aquisições nacionais e/ou internacionais. Segundo Amorim (1997), *“o principal objetivo da especificação é dizer, em termos claros, qual o tipo de equipamento que se deseja comprar. Com isso, evita-se uma série de mal-entendidos, comuns quando não se esclarece exatamente o que se deseja comprar ou adquirir”*.

Em documento do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2002a) são fornecidas algumas instruções sobre boas práticas de aquisição de equipamentos médico-hospitalares, que incluem procedimentos administrativos e cláusulas gerenciais destinadas a orientar atividades que vão desde a elaboração do edital, até a instalação e operação adequada do equipamento.

Em Calil (2000) são listados os itens que devem ser lembrados na confecção das especificações técnicas para cada equipamento médico-hospitalar a ser adquirido:

- I. Nome do Material
- II. Características de utilização
- III. Tipo de montagem
- IV. Configuração física
- V. Princípio de funcionamento
- VI. Capacidade nominal
- VII. Dimensões físicas
- VIII. Faixa de funcionamento
- IX. Controles
- X. Alarmes
- XI. Modo de indicação e registro dos parâmetros

- XII. Exatidão
- XIII. Precisão
- XIV. Sensibilidade
- XV. Resolução
- XVI. Saídas e entradas
- XVII. Acessórios
- XVIII. Características de construção
- XIX. Segurança
- XX. Alimentação
- XXI. Exigências técnicas ou normativas

As especificações técnicas (ET) devem ser detalhadas o suficiente, para permitir a eliminação dos equipamentos de qualidade duvidosa, sem entretanto ser minuciosas demais a ponto de eliminar equipamentos de boa qualidade. Em Kolzer et al. (2002) foi realizada uma revisão dos principais fatores que deveriam ser considerados na aquisição de Ultra-Sonografia Diagnóstica (USD). Nesse trabalho destacou-se a importância do conhecimento das necessidades clínicas para a elaboração de uma especificação técnica (ET) adequada, pois ET muito detalhadas podem levar à desclassificação desnecessária de algumas empresas concorrentes durante uma licitação. Esse conhecimento requerido somente será alcançado através da interação eficiente do engenheiro clínico com o corpo clínico e administrativo do hospital.

Em Calil (2000) também são sugeridas e justificadas algumas exigências que devem ser selecionadas pela equipe de elaboração do edital, de acordo com o tipo do equipamento e dos recursos humanos e financeiros dos quais a unidade de saúde possa dispor no momento da aquisição:

- listagem e garantia de peças de reposição;
- garantia de fornecimento de manuais técnicos;
- definição do prazo de garantia;
- atestados de competência técnica do licitante;
- definição de responsabilidades por falhas técnicas do equipamento;
- definição dos treinamentos técnicos/clínicos (custos, conteúdo, local);
- definição dos testes técnicos e clínicos a que o equipamento será submetido;
- fornecimento de informações referentes ao funcionamento do equipamento (tempo médio entre falhas, tempo médio de conserto, periodicidade de troca de peças, hora técnica do conserto, proximidade do local de assistência técnica) para estimar os gastos com futuros contratos de manutenção corretiva / preventiva.

Apesar de algumas exigências técnicas parecerem óbvias e redundantes, não se deve esquecer de fazê-las, pois o que não estiver escrito claramente não será ofertado, muito menos entregue pelos fornecedores. Em Atalaya et al. (2002) foi mostrado um estudo (vide Tabela 2.5) sobre a entrega de documentos para propostas de fornecimento de equipamentos médicos para hospitais do Peru. Os resultados mostraram que apenas 24% dos fornecedores (representando 25% das propostas) entregaram mais de 50% dos documentos considerados relevantes (garantia e respectiva cobertura; catálogos e características técnicas; lista de acessórios e insumos) e mais de 50% dos documentos complementares (manual de serviço com esquemáticos; cronograma de manutenção preventiva; cronograma de treinamento; data de fabricação; custos envolvidos em caso de paralisação do equipamento).

Tabela 2.5 – Documentos entregues em propostas de fornecimento de equipamentos médicos (reproduzido e traduzido de ATALAYA et al., 2002).

Documento	Número de cotações	Porcentagem
Garantia e cobertura	128	77 %
Catálogos	92	55 %
Acessórios e insumos	53	32 %
Manual de serviço	53	32 %
Lucro cessante	48	29 %
Treinamento	43	26 %
Data de fabricação	39	23 %
Manutenção preventiva	37	22 %

2.3.3. Avaliação das propostas de aquisição

Após a comissão de aquisição do hospital ter definido exatamente as características (tipo, configuração e quantidade) do equipamento a ser adquirido, vêm as fases de **solicitação formal de propostas** aos fornecedores interessados, e **avaliação e classificação das propostas** recebidas, culminando com a **escolha do fornecedor**. Isto normalmente é feito via licitação (hospitais públicos) ou concorrência / solicitação de orçamentos (hospitais privados).

A licitação é regida pela Lei Federal Nº 8.666/93 e suas modificações introduzidas pelas leis Nºs 8.883/94, 9.648/98 e 9.854/99 (TOLOSA FILHO, 2003). A licitação para comprar equipamentos ou bens materiais consiste em uma série de atividades, que vão desde a elaboração e divulgação do edital de licitação, até a publicação do contrato de aquisição com a empresa vencedora. A atividade de avaliação das propostas recebidas é composta por 2 fases (BRASIL, 1993):

- habilitação das licitantes, ocasião em que se faz a conferência de uma série de documentos (certidões negativas de débitos, registro, etc.) para verificar a legalidade das empresas participantes da licitação (licitantes);

- abertura e julgamento das propostas, quando é feita a abertura das propostas das licitantes, aprovadas na fase anterior, e onde é declarada vencedora a licitante que ofereceu a proposta de menor valor e que atendeu às especificações técnicas do edital de licitação.

Existem diversas modalidades de licitação (ex: concorrência, tomada de preços, convite, concurso e leilão), que variam de acordo com o valor e a natureza do bem ou serviço a ser contratado ou adquirido.

Recentemente, surgiu uma nova modalidade licitatória, chamada de **pregão**. Esta modalidade reduz os prazos de publicidade do edital, os prazos recursais, bem como inverte as fases da licitação, ao prever que preliminarmente serão examinadas as propostas comerciais, postergando a fase de habilitação para a segunda etapa do procedimento e isso somente com relação ao primeiro classificado na fase comercial (TOLOSA FILHO, 2003).

No caso de hospitais privados, que não necessitam submeter-se à lei de licitações, o procedimento é mais simples consistindo basicamente nas atividades sugeridas por Antunes et al. (2002):

- enviar aos fornecedores uma carta solicitando o orçamento dos equipamentos e o preenchimento de um formulário com pelos menos os seguintes itens:
 - nome do equipamento;
 - parâmetros necessários/características necessárias;
 - identificação da empresa;
 - valor do equipamento FOB e CIF;
 - forma de pagamento;
 - tempo de garantia;
 - acessórios necessários com preços;

- vida média de cada acessório;
- manuais operacionais e técnicos que acompanham o equipamento;
- descrição das condições de instalação do equipamento.
- analisar o material fornecido e compará-lo com o critério inicial, selecionando as empresas que ficaram mais próximas dos critérios estabelecidos;
- verificar se os preços dos equipamentos escolhidos estão dentro da realidade de compra do hospital;
- proceder ao refinamento das especificações com as empresas pré-selecionadas, introduzindo o termo de compromisso;
- realizar o teste de campo com os equipamentos pré-selecionados;
- apresentar um relatório com as características de cada equipamento testado;
- proceder à negociação comercial das condições de compra (acerto da garantia, prazo de entrega, forma de pagamento, etc.);
- assinar o compromisso de compra do equipamento (contrato de aquisição).

Em Hansen e Hansen (2003) é sugerida uma metodologia, que foi utilizada no estado de Utah (EUA), na qual são mostrados alguns passos para fazer a avaliação técnica e clínica de tecnologias, incluindo a pesquisa de mercado (vide Figura 2.15).

Segundo Calil (2000), o método de colocação das exigências técnicas e administrativas é uma forma bastante clássica de procedimento de aquisição, que é utilizado pela maioria dos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). Entretanto, se não existir equipe técnica ou a mesma não estiver familiarizada com a operação do equipamento, o material entregue pode não atender a todas as exigências feitas no contrato/edital, e mesmo assim ser recebido e pago. Por exemplo, após avaliação das licitações de equipamentos

médicos adquiridos, mediante o projeto REFORSUS, para a Secretaria de Saúde do Estado da Bahia (SESAB), do total de 1.088 equipamentos, sugeriu-se a revogação de 511 por erro na especificação ou porque os equipamentos propostos não atenderam as especificações, ou ainda por não ter havido cotação (SOUZA et al., 2000).

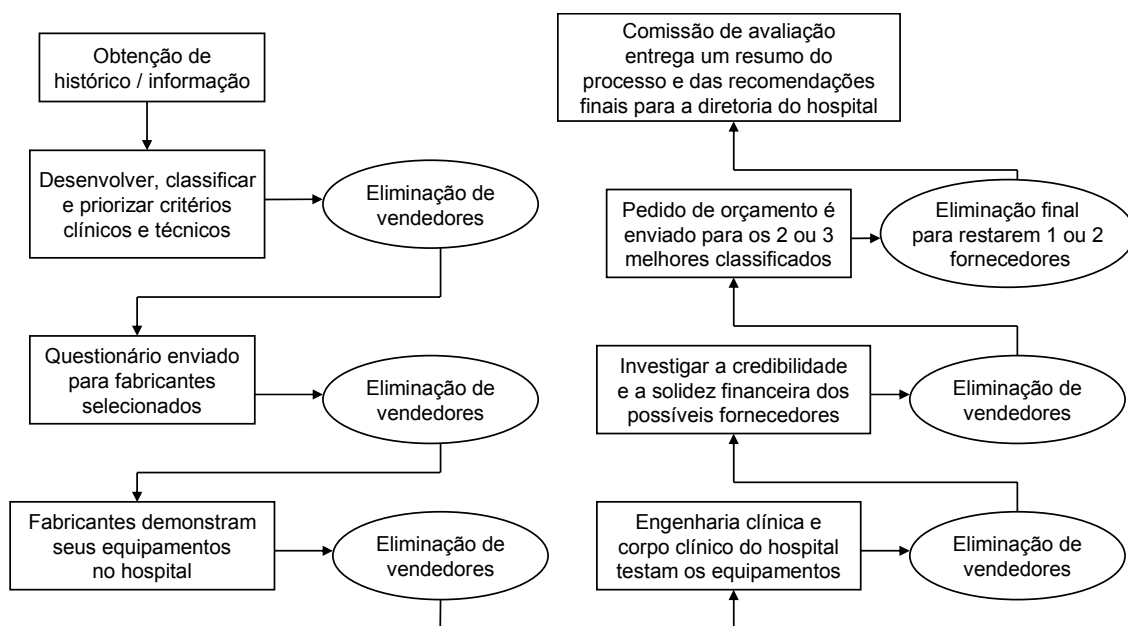


Figura 2.15 – Passos gerenciais para fazer a avaliação clínica e tecnológica de equipamentos médicos (traduzido e modificado de HANSEN; HANSEN, 2003).

Por isso, Calil (2000) menciona uma forma alternativa de aquisição que vem sendo desenvolvida por alguns hospitais. Ao invés de listar as características exigidas em um determinado equipamento, o comprador envia um questionário ao fornecedor, no qual é solicitada uma série de informações sobre as características do equipamento. As respostas obtidas deverão ser analisadas e utilizadas em um processo comparativo de avaliação, onde

serão atribuídas notas para cada uma das características técnicas e gerenciais do equipamento, que atenda às exigências do comprador.

O método de matrizes proposto por Cram (1999), e mostrado nas Figuras 2.12, 2.13 e 2.14, pode ser adaptado também para avaliar as propostas de fornecimento de equipamentos quando o processo de aquisição já tiver iniciado. Observou-se que este método já vinha sendo proposto e utilizado por diversos autores da área de Engenharia Clínica. Bronzino (1992) propôs uma matriz de comparação de propostas como a mostrada na Figura 2.16. Nessa mesma época, Yadin David já mencionava a utilização de fatores e critérios com pesos relativos para avaliação tecnológica de equipamentos (DAVID, 1993). Entre os autores brasileiros, Lopes e Vieira (1992) fizeram menção ao método de avaliação de propostas através do uso de critérios ponderados. Outros autores nacionais (vide Figuras 2.17 a 2.19) propuseram planilhas similares, indicando que este tipo de avaliação está bastante difundido na comunidade de engenharia clínica.

	Confiabilidade	Precisão	Repetibilidade	Segurança	Manutenibilidade	Intercambiabilidade	Desempenho	Custo	PONTUAÇÃO TOTAL
Pesos	9	9	8	10	9	5	9	7	
Vendedor # 1	2 18	5 45	4 32	8 80	7 63	8 40	3 27	8 56	361
Vendedor # 2	7 63	8 72	8 64	10 100	10 90	8 40	7 63	8 56	548
Vendedor # 3	9 81	9 81	9 72	10 100	10 90	8 40	9 81	5 35	580

Figura 2.16 – Matriz utilizada para avaliar opções de equipamentos e vendedores (traduzido de BRONZINO, 1992).

Categoria dos atributos		Peso	Empresa # 1	Empresa # 2	Empresa # 3
Avaliação técnica	Precisão	9	5 / 45	7 / 63	6 / 54
	Repetitividade	9	5 / 45	6 / 54	7 / 63
	Manutenabilidade	8	6 / 48	6 / 48	7 / 56
	Segurança	10	7 / 70	8 / 80	8 / 80
	Desempenho	9	5 / 45	6 / 54	7 / 63
	Confiabilidade	9	8 / 72	7 / 63	8 / 72
	Ergonomia	9	6 / 54	7 / 63	7 / 63
Avaliação clínica	Operacionalidade	10	7 / 70	7 / 70	8 / 80
	Alarmes presentes	10	5 / 50	6 / 60	7 / 70
	Apresentação do display	10	4 / 40	5 / 50	6 / 60
Avaliação financeira	Custo do equipamento	9	7 / 63	8 / 72	8 / 72
	Custo dos acessórios	10	8 / 80	6 / 60	7 / 70
	Custo do contrato	9	7 / 63	5 / 45	8 / 72
	Custo dos equipamentos de teste	9	8 / 72	5 / 45	7 / 63
TOTAL ACUMULADO			817	827	938

Figura 2.17 – Matriz comparativa da avaliação quantitativa dos atributos entre as empresas concorrentes (reproduzido de VERGARA, 1999).

Características	Peso	Nota	Total
Custo estimado da Peça			
Existência da peça no mercado nacional			
Lista de estoque do fornecedor			
Facilidade de importação da peça			
Proximidade ao fornecedor			
Custo de estocagem			
Confiabilidade do fornecedor			
Custo de paralisação do equipamento por falta de peça de reposição			

Obs: a pontuação final da proposta técnica (PT) será dada pela fórmula:

$$PT = \sum_i N_i \cdot P_i \quad \text{Onde: } PT = \text{pontuação final da proposta técnica;}$$

N_i = nota no quesito básico i;
P_i = peso do quesito básico i.

Figura 2.18 – Exemplo de critérios de julgamento de uma proposta técnica para aquisição de equipamentos médicos (reproduzido de MÜLLER Jr.; PEDROSO, 2002).

		NOTA		
Parâmetros	Equipamento			
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS				
Características gerais				
Características elétricas				
Características mecânicas				
Características técnicas				
Características de segurança				
Média do parâmetro				
FACILIDADE DE OPERAÇÃO				
Identificação dos controles / ajustes				
Ergonomia aplicada				
Facilidade com a montagem				
Adesivos explicativos de funcionamento				
Qualidade do manual de operação				
Média do parâmetro				
FACILIDADE DE MANUTENÇÃO				
Acesso às partes internas				
Tipo de conexões de placas internas e cabos				
Qualidade do manual de serviço				
Qualidade do prestador de serviço pós-garantia				
Facilidade para aquisição de peças de reposição				
Mensagens de erros / falhas				
Média do parâmetro				
COMPATIBILIDADE COM SISTEMAS EXISTENTES				
DESEMPENHO DO EQUIPAMENTO				
MÉDIA FINAL DOS PARÂMETROS ANALISADOS				
EQUIPAMENTO SUGERIDO: _____				
Observações complementares: _____				
Assinatura: _____ Data: _____				

Figura 2.19 – Formulário para avaliação técnica de equipamentos médico-hospitalares
(reproduzido de ALTIERI, 2000).

Apesar dessas planilhas representarem um avanço no desenvolvimento de metodologias de avaliação de propostas, ainda faltou especificar como fazer a atribuição dos pesos e notas dos fatores utilizados, pois isso vai depender da experiência e formação dos profissionais envolvidos no julgamento das propostas. Nesse sentido, Stiefel e Rizkalla (1995) propuseram uma planilha genérica (vide Figura 2.20) para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos, que foi chamada pelos autores de *Product Evaluation (PE)*. Esta planilha foi adaptada por Ramírez et al. (2001) para fazer a análise classificatória de proposta de aquisição de bombas infusoras por um hospital paranaense de 300 leitos (vide Figura 2.21), no qual, apesar da simplicidade de entendimento do método, foram encontradas algumas dificuldades tais como:

- necessidade de elaboração de uma metodologia para comparação e ponderação de cada um dos itens da especificação;
- falta de definição de um sistema de pesos para os fatores (custo, desempenho e ergonomia) utilizados na avaliação.

Fornecedor / Produto	Fornecedor 1 / Produto A		Fornecedor 2 / Produto B		Fornecedor 3 / Produto B	
Características [1-7]	Nota	Comentários	Nota	Comentários	Nota	Comentários
1)Segurança*						
Elétrica**	7		4		9	
Mecânica**	5		2		7	
Peso (0,20) x média dos critérios	1,2		0,6		1,6	
2)Desempenho técnico						
Aspectos da operação						
-Controles	4		8		10	
-Modos de operação	6		7		9	
Especificações do fabricante						
(lista)	3		4		8	
	2		3		8	
Normas técnicas						
(lista)	1		5		7	
	4		5		6	
Peso (0,15) x média dos critérios	0,5		0,8		1,2	
3)Desempenho clínico						
Uso para aplicação pretendida	6		10		8	
Facilidade de uso	7		3		7	
Treinamento em serviço	5		2		9	
Peso (0,25) x média dos critérios	1,5		1,25		2,0	
4)Engenharia humana						
Design	6		7		9	
Características físicas						
-Dimensões	4		6		8	
-Peso	7		5		7	
Construção						
-Dependência	3		4		7	
-Facilidade de manutenção	1		6		8	
Manuais						
-Operação	2		8		5	
-Manutenção	4		5		9	
Assistência do fabricante						
-Usuário	5		6		7	
-Serviço	3		7		7	
Peso (0,10) x média dos critérios	0,39		0,6		0,74	
5)Experiência dos usuários						
Depto. de engenharia clínica	6		7		10	
Áreas clínicas						
-Médicos	4		6		8	
-Enfermeiros	7		6		7	
Outros hospitais						
-Engenharia clínica	5		8		9	
-Médicos	6		7		8	
-Enfermeiros	7		5		7	
Peso (0,10) x média dos critérios	0,58		0,65		0,82	
6)Custos						
Custo de aquisição	6		4		8	
Custo de operação	8		6		7	
Custo de manutenção	4		2		9	
Peso (0,15) x média dos critérios	0,9		0,6		1,2	
7)Outros fatores						
Padronização	2		4		9	
Familiaridade com o fornecedor	3		7		6	
Peso (0,05) x média dos critérios	0,13		0,28		0,38	
NOTA FINAL	5,20		4,72		7,94	

(*) Categorias – pesos entre 0 e 1, cuja soma total é igual a 1 ou 100%

(**) Critérios – notas de 1 a 10 para cada critério

Figura 2.20 – Exemplo de planilha de comparação de produtos (traduzida e adaptada de

STIEFEL; RIZKALLA, 1995).

	Empresa A		Empresa B		Empresa C		Empresa D		Empresa E	
	Avaliação	Nota	Avaliação	Nota	Avaliação	Nota	Avaliação	Nota	Avaliação	Nota
1) Custos										
1.2.1. Custo de aquisição (R\$)	4.150,00	4,07	5.850,00	1,64	6.799,00	0,29	1.550,00	7,79	5.500,00	2,14
1.1.1 Custo de operação (R\$/mês)	13,05	8,78	13,05	8,78	13,05	8,78	102,90	0,2	13,05	8,78
Média aritmética do item custo		6,41		5,20		4,52		3,99		5,45
2) Desempenho										
2.2.1 Tipo da bateria	Eletról. sol	5,00	Ácid sel.	10,00	Eletról. sol	5,00	Gel selada	5,00	Ácid sel.	10,00
2.2.2. Autonomia	250	6,00	1000	9,00	250	6,00	200	5,00	300	6,67
2.2.3. Equipos macro e microgotas?	SIM	10,00	NÃO	0,00	SIM	10,00	NÃO	0,00	NÃO	0,00
2.2.4. Painel com calibração?	SIM	10,00	NÃO	0,00	SIM	10,00	NÃO	0,00	SIM	10,00
Média aritmética do desempenho		7,75		4,75		7,75		2,50		6,67
3) Ergonomia										
3.2.1. Alarme de ajuste de som?	SIM	10,00	NÃO	0,00	SIM	10,00	NÃO	0,00	NÃO	0,00
3.2.2. Alarme de início de infusão?	SIM	10,00	NÃO	0,00	SIM	10,00	SIM	10,00	NÃO	0,00
3.2.3. Alarme de porta aberta?	NÃO	0,00	SIM	10,00	SIM	10,00	NÃO	0,00	SIM	10,00
3.2.4. Alarme de equipo incorreto?	NÃO	0,00	NÃO	0,00	SIM	10,00	SIM	10,00	SIM	10,00
3.2.5. Avaliação do peso?	2,40 Kg	5,21	2,80 Kg	4,41	2,30 Kg	5,41	4,65 Kg	0,72	3,90 Kg	2,22
Média aritmética da ergonomia		5,04		2,88		9,08		4,14		4,44
Resultado final da avaliação classificatória*	6,67		4,56		6,73		3,43		5,74	

(*) No cálculo do resultado final os pesos utilizados foram 4, 4 e 2 para as notas dos fatores custo, desempenho e ergonomia.

Figura 2.21 - Avaliação classificatória de bombas infusoras baseada na planilha mostrada na

Figura 2.20 (reproduzido de RAMÍREZ et al., 2001).

Além dos autores citados, outros autores propuseram diversos fatores a serem pensados durante a avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos. Na Tabela 2.6 são mostrados os fatores sugeridos pelos autores citados nas Figuras de 2.15 a 2.21, e mais alguns encontrados na literatura.

Observa-se que cada autor, mostrado na Tabela 2.6, propõe um conjunto diferente de fatores e critérios envolvidos na avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos. Isto, com certeza, se deve ao fato dos autores terem vivências diferentes, seja no meio acadêmico, seja no profissional, na área de engenharia clínica.

Tabela 2.6 – Alguns fatores e critérios para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos sugeridos na literatura de EC.

Autor(es)	Fatores sugeridos			
Calil (2004)	<u>Crítérios médico-hospitalares</u>		<u>Crítérios técnicos</u>	
	<ul style="list-style-type: none"> -Ergonomia -Operacionalidade -Eficácia -Riscos -Treinamento oferecido -Experiência anterior com o fornecedor 		<ul style="list-style-type: none"> -Princípio de funcionamento -Desempenho -Qualidade -Confiabilidade -Facilidade de manutenção -Padronização -Assistência técnica 	
Bronzino (1992) Amorim (1997)	<u>Crítérios financeiros</u>			
	<ul style="list-style-type: none"> -Custo de aquisição -Custo de operação -Custo de manutenção -Forma de pagamento 			
Stiefel e Rizkalla (1995)	<ul style="list-style-type: none"> -Precisão -Manutenibilidade 		<ul style="list-style-type: none"> -Intercambiabilidade -Segurança -Confiabilidade -Desempenho 	
	<ul style="list-style-type: none"> -Segurança (<i>safety</i>) -Desempenho técnico (<i>technical performance</i>) -Desempenho clínico (<i>clinical performance</i>) -Ergonomia (<i>human engineering</i>) 		<ul style="list-style-type: none"> -Experiência do usuário (<i>user experience</i>) -Custo (<i>cost</i>) -Outros fatores (<i>other factors</i>) 	
Müller Jr. e Pedroso (2002)	<u>Avaliação técnica</u>		<u>Avaliação clínica</u>	
	<ul style="list-style-type: none"> -Desempenho do sistema -Construção física -Confiabilidade -Facilidade de manutenção -Segurança -Fatores humanos (facilidade de manutenção e treinamento) 		<ul style="list-style-type: none"> -Treinamento -Desempenho clínico -Fatores humanos (conforto do usuário, facilidade de uso) 	
Ramírez et al. (2001)	<u>Avaliação do Custo</u>			
	<ul style="list-style-type: none"> -Custo de aquisição -Custo das peças de reposição -Custo do contrato de manutenção -Custo de transporte, instalação, multas, etc. 			
Altieri (2000)	<ul style="list-style-type: none"> -Custos 		<ul style="list-style-type: none"> -Desempenho 	
	<ul style="list-style-type: none"> -Especificações técnicas -Facilidade de operação 		<ul style="list-style-type: none"> -Facilidade de manutenção -Compatibilidade com sistemas existentes 	
Vergara (1999)	<ul style="list-style-type: none"> -Desempenho do equipamento 			
	<u>Avaliação técnica</u>		<u>Avaliação financeira</u>	
Moulavi et al. (1999)	<ul style="list-style-type: none"> -Precisão -Repetitividade -Manutenibilidade -Segurança -Desempenho -Confiabilidade -Ergonomia 		<ul style="list-style-type: none"> -Operacionalidade -Alarmes presentes -Apresentação do display 	
	<ul style="list-style-type: none"> -Conhecimento das leis -Resultados clínicos 		<ul style="list-style-type: none"> -Projeto e opções estruturais (sistema elétrico, chassis, piso) -Custos de operação, limpeza e manutenção 	
Nelson (1999)	<ul style="list-style-type: none"> -Compatibilidade -Capacidade de processamento 		<ul style="list-style-type: none"> -Certificados de segurança -Informações de suporte 	
	<ul style="list-style-type: none"> -Garantia e assistência técnica 			
Lee (1995)	<ul style="list-style-type: none"> -Padronização -Sustentabilidade -Complexidade -Ambiente -Carçaça 		<ul style="list-style-type: none"> -Resfriamento -Montagem -Idade do projeto -Acessórios -Rotulagem 	
	<ul style="list-style-type: none"> -Sistema de qualidade do fabricante e do fornecedor -Normas universalmente aceitas -Necessidade de serviços externos -Segurança elétrica e baterias 			

2.3.4. Recebimento e controle de qualidade

Após escolher a proposta que fornece o equipamento mais adequado às especificações técnicas e clínicas desejadas, deve-se realizar o recebimento (ou aceitação como é chamado por alguns autores) desse equipamento, que basicamente consistirá em verificar se o equipamento e os acessórios são os mesmos ofertados na proposta vencedora e se eles estão em perfeitas condições de funcionamento.

Apesar de parecer um procedimento banal, o recebimento é uma das fases mais críticas da aquisição do equipamento, pois é comum a entrega de equipamentos sem material técnico, fora das especificações técnicas, sem os ajustes e calibrações necessários à operação e com partes faltantes ou danificadas (CALIL, 2000). Esta afirmação pode ser reforçada ao analisarem-se Nelson et al. (1992) que, após acompanhar, durante 10 anos, 129 procedimentos de recebimento de equipamentos de imagens médicas nos EUA, registraram 1.132 problemas, sendo 772 grandes e 360 pequenos (vide Tabela 2.7).

No Brasil, na mesma década, Lopes (1993) fez entrevistas em diversos hospitais do Rio de Janeiro e em uma indústria de equipamentos médicos, além da análise dos programas de cursos de administração hospitalar, para identificar o modo como os hospitais procedem nas aquisições de equipamentos médicos. Os resultados mostraram que em nenhum dos casos houve a presença de um documento formal que atestasse as condições de transporte, garantia e testes de aceitação dos equipamentos. Lopes (1993) também mostrou um certo despreparo do pessoal administrativo dos hospitais no tocante à gestão dos equipamentos, que ficou evidente em razão da pouca ênfase dada a esta parte nos programas dos cursos pesquisados, na área de administração hospitalar.

Ainda na década de 90, Uhr et al. (1996) acompanharam os testes de aceitação de 10 equipamentos de radiologia instalados na cidade de Porto Alegre. Todos os

equipamentos testados apresentaram erros em itens importantes de funcionamento (quilovoltagem efetiva, ou kVe; tempo de exposição; alinhamento do feixe de raios X e alinhamento do campo de colimação) desses equipamentos. Com isso eles chegaram à conclusão de que: *“é de extrema importância a realização dos testes de aceitação em equipamentos novos, visto que todos estavam fora dos padrões mínimos que permitam a formação de uma imagem radiográfica com qualidade”*.

Tabela 2.7 – Problemas encontrados nos testes de aceitação de equipamentos de imagens médicas acompanhados por Nelson et al. (1992).

Parâmetros testados	Nº problemas grandes*	Nº problemas pequenos**
Montagem da fonte de raios-X	37	30
Calibração e operação do gerador de raios-x	125	17
Colimação e alinhamento do feixe	119	52
Grade e montagem do Bucky	59	14
Desempenho do controle automático de exposição	52	04
Controle automático do brilho fluoroscópico e taxas de exposição	51	00
Qualidade da imagem fluoroscópica	84	12
Mecânica	72	39
Tomografia	25	05
Processamento da imagem e sala escura	20	19
Integridade da instalação	00	72
Integridade do equipamento (peças faltando, incorretas, sem funcionar, etc.)	104	41
Outros	24	55
Total	772	360

(*)Problemas grandes foram definidos como aqueles que: a)interferiam no resultado do exame, resultando em riscos para os pacientes; b)comprometiam a qualidade da imagem; c)resultavam em desvio maior ou igual a 10% das normas da FDA (Food and Drug Administration); d)requeriam mais de uma hora para conserto.

(**)Problemas pequenos foram definidos como aqueles que: a)não cumpriam as normas do contrato ou funcionamento, mas não interferiam no resultado do exame; b) resultavam em desvio menor que 10% das normas da FDA (Food and Drug Administration); c)requeriam menos de uma hora para conserto.

Na Tabela 2.7 pode-se observar que alguns procedimentos simples que não necessitam de uma verificação técnica profunda, como a inspeção visual e funcional do equipamento, identificaram uma parcela razoável (104 problemas grandes e 41 pequenos, correspondendo a 12,8% de 1.132) de problemas durante o recebimento dos equipamentos.

Assim, por ser um processo minucioso e multidisciplinar, será necessário um trabalho em equipe para fazer o recebimento do equipamento. Segundo Altieri (2000), o recebimento dos materiais deverá ser feito pelo setor de almoxarifado com acompanhamento do pessoal técnico e de enfermagem. Calil (2000) reforça isto dizendo:

“o recebimento técnico do equipamento deve sempre ser executado por um grupo composto de técnico(s) e médico(s) ou enfermeira(s) para que sejam avaliadas todas as condições impostas pelo contrato/edital. Somente após o atendimento destas condições e com a liberação deste grupo, é que o pagamento deverá ser efetuado”.

Amorim (1997) complementa estas informações afirmando:

“o setor responsável pelo recebimento já deve ter montado em seu poder um fluxograma de como deve desenvolver a atividade de recebimento, deve também estar a par da data e hora de entrega, bem como das especificações constantes no contrato/licitação”.

Vergara (1999) propõe que o recebimento e aceitação do equipamento médico seja composto das etapas:

- inspeção de recebimento e aceitação do equipamento:
 - verificação do material recebido (documentação, partes, compatibilidade com a especificação técnica do edital);
 - inspeção técnica do equipamento (testes).
- formalização do recebimento:
 - Comunicação formal do recebimento do equipamento;

- agendamento dos treinamentos operacional e técnico.
- realização dos testes.
- identificação do equipamento:
 - registro do equipamento no inventário da instituição;
 - instalação do equipamento na unidade pelo fabricante ou representante autorizado (se isso não tiver sido feito na etapa de inspeção do recebimento);
- formalização da aceitação: comunicação ao departamento financeiro o aceite final do equipamento.

A parte principal do processo de recebimento de equipamentos é a que compreende os testes (ou inspeções) de aceitação do equipamento. Segundo Bronzino (1992), as inspeções de aceitação dos equipamentos médicos têm 3 finalidades:

- verificar que cada equipamento recebido pelo hospital seja capaz de executar adequadamente a função para a qual foi projetado;
- obter dados que sirvam de base para definir o perfil de funcionamento normal do equipamento;
- assegurar que o equipamento está de acordo com o programa de gerenciamento de tecnologias do hospital.

Segundo Simmons and Wear (1988) apud Bronzino (1992), p.145, as inspeções de aceitação do equipamento deverão incluir os seguintes elementos:

- testes funcionais para verificar a concordância com as especificações definidas na proposta de fornecimento do equipamento e aceitas pelo hospital;
- inspeção visual e mecânica;
- testes de segurança;

- início dos programas de treinamento para os usuários e os técnicos biomédicos;
- previsão de fornecimento de acessórios e insumos.

Isso não é muito diferente do exposto por Gray e Morin (1989), que sugerem algumas atividades para o recebimento (aceitação) de equipamentos de imagens:

- testes de aceitação:
 - testes iniciais para verificar as especificações do equipamento;
 - testes invasivos em nível de componentes (feitos pela engenharia do hospital);
 - testes não-invasivos que simulam o uso do equipamento com “phantoms” e favorecem o controle de qualidade das imagens (feitos pelo corpo clínico);
- controle de qualidade: testes periódicos junto com o programa de manutenção preventiva, após a aceitação formal, para fornecer dados sobre custos e qualidade da assistência técnica no período de garantia e servir de base para negociar futuros contratos de manutenção.

Alguns autores também sugerem que, durante o recebimento dos equipamentos, deverá haver a fase de pré-instalação. Por exemplo, Müller Jr. e Pedroso (2002) definem a pré-instalação como: “*o conjunto de requisitos de arquitetura e de engenharia, especificados pelo fornecedor, que devem ser atendidos pela instituição para instalação de equipamentos médicos*”. Ainda segundo Müller Jr. e Pedroso (2002), os itens a serem verificados dependem do tipo de equipamento a ser instalado, mas basicamente são:

- condições físicas:
 - área necessária para a instalação do equipamento;
 - rota de passagem para o equipamento chegar ao local da instalação;

- resistência do piso do local de instalação e da rota de passagem;
- necessidade da construção de base ou suporte para o equipamento;
- área de suporte para a instalação/operação do equipamento.
- condições de alimentação:
 - elétrica;
 - hidráulica;
 - gases;
 - sistema de estabilização eletrônica de tensão.
- condições de proteção e normativas:
 - sistema de aterramento;
 - sistema de proteção contra descargas elétricas;
 - sistema de radioproteção;
 - sistema de alimentação de emergência;
 - compatibilidade eletromagnética com as áreas subjacentes.
- condições ambientais:
 - controle da temperatura;
 - controle da umidade;
 - controle de ventilação.

Calil (2000) sugere que se deve “*exigir do fornecedor que verifique e reconheça, por escrito, que todas as exigências técnicas e ambientais (informadas no período de pré-instalação) estão de acordo com aquelas exigidas pelo próprio fabricante*”. Para facilitar esse controle por escrito e, ao mesmo tempo, documentar o processo de recebimento, é importante que o hospital adote algum tipo de formulário de recebimento / aceitação do

equipamento que relacione as atividades mencionadas anteriormente e nomeie (incluindo assinaturas e vistos) os responsáveis por essas atividades. Nas Figuras de 2.22 a 2.25 são mostrados alguns exemplos de formulários de recebimento de equipamentos encontrados na literatura.

Equipamento			Nº controle
Fabricante		Modelo	
Nº Série	Custo de Aquisição	Início da operação ____/____/____	Fim da garantia ____/____/____
Vendedor / Fornecedor			Nº ordem de pagamento
Departamento		Verificado por	
Local(is) de operação		Local do manual de operação	
Documentação recebida:	Manual de operação	Esquema elétrico	Manual de manutenção
Sim			
Não			
Equipamento requerido para o teste _____			
Treinamento adicional necessário _____			
Locais de treinamento disponíveis _____			
Operação de acordo com o manual do fabricante: _____ () SIM () NÃO			
Comentários: _____			
Precauções necessárias _____			
Liberado para o departamento em: ____/____/____			
Técnico:			Data ____/____/____

Figura 2.22 – Exemplo de formulário para inspeções de aceitação de equipamentos médicos
(traduzido e modificado de BRONZINO, 1992).

FORMULÁRIO PARA RECEBIMENTO DE EQUIPAMENTOS

PRÉ-INSTALAÇÃO

- 1.** As exigências de pré-instalação foram atendidas: ☐ Sim ☐ Não
- 2.** O local de instalação do equipamento foi vistoriado pelo fabricante/fornecedor: ☐ Sim ☐ Não
Vistoriado por: _____ Data: _____
Assinatura: _____

3. Observações:

INSTALAÇÃO

- 1.** Condições externas do equipamento no ato do recebimento: ☐ Bom ☐ Danificado
- 2.** Local onde o equipamento será instalado:
- 3.** Acompanham manuais técnicos e/ou esquemas: ☐ Sim ☐ Não
Relacione-os:
- 4.** Quais partes e peças acompanham o equipamento. Descreva-os com os respectivos dados de identificação (número de série, part number e etc.)
- 5.** Qual a tensão de alimentação: ☐ 110V ☐ 220V ☐ 110V/220V ☐ Outra:
- 6.** Qual a potência do equipamento: _____ W
- 7.** O equipamento possui bateria: ☐ Sim ☐ Não
Descreva a especificação:
Qual sua autonomia:
Qual seu tempo de recarga:
- 8.** Quais os tipos de fusíveis utilizados:
Especifique-os:
- 9.** Utiliza lâmpadas: ☐ Sim ☐ Não Quantas:
Especifique-as:
- 10.** Utiliza algum tipo de gás ou fluido: ☐ Sim ☐ Não
Especifique-os:
- 11.** Utiliza filtros: ☐ Sim ☐ Não
Especifique-os:
- 12.** Utiliza algum material de consumo.
Especifique-os:
- 13.** Foram realizados testes de funcionamento. ☐ Sim ☐ Não
Descreva os resultados:
- 14.** Foram realizados testes de segurança elétrica. ☐ Sim ☐ Não
Descreva os resultados:
- 15.** Os usuários foram treinados sobre a operação do equipamento: ☐ Sim ☐ Não

Responsável: _____ **Data:** _____

OBS.: Anexar cópia da proposta de fornecimento do fabricante e as cópias dos seguintes formulários:

- **Solicitação do usuário**
- **Informações clínicas**
- **Análise das condições de pré-instalação**
- **Especificações e avaliação técnica**
- **Tabela de custos**

Figura 2.23 – Exemplo de formulário para recebimento de equipamentos médicos

(reproduzido e modificado de ALTIERI, 2000).

PRÉ-INSTALAÇÃO			
1. O local possui as dimensões e resistência do piso necessária para a instalação do equipamento (devem ser verificadas áreas livres recomendadas, áreas de circulação):	Sim	Não	
2. A rota de passagem possui as dimensões e resistência do piso necessárias à chegada do equipamento ao local de instalação:	Sim	Não	
3. A instituição possui as áreas e condições adequadas à instalação dos equipamentos de suporte:	Sim	Não	
4. O local de instalação possui a base ou suporte necessário à fixação do equipamento:	Sim	Não	Não se aplica
5. Qual a voltagem do local de instalação do equipamento:	110V	220V	380V
6. O local possui grupo de gerador de emergência:	Sim	Não	
7. O local de instalação do(s) equipamento(s) possui sistema de estabilização eletrônica de tensão:	Sim	Não	Não se aplica
8. O local possui sistema de alimentação de emergência tipo "No-Break":	Sim	Não	Não se aplica
9. O local possui sistema adequado de tratamento ou purificação de água:	Sim	Não	Não se aplica
10. O local possui sistema de distribuição de gases: () Ar comprimido; () Oxigênio; () Vácuo; () Outros: _____	Sim	Não	Não se aplica
11. O local possui sistema de esgoto adequado:	Sim	Não	Não se aplica
12. O estabelecimento possui sistema de aterramento de acordo com a norma NBR 13.534:	Sim	Não	
13. O estabelecimento possui sistema de proteção contra descargas atmosféricas (para-raios) de acordo com a norma NBR 5.419:	Sim	Não	
14. O local possui sistema de radioproteção de acordo com as regulamentações técnicas em vigor:	Sim	Não	Não se aplica
15. Para o caso de equipamentos de radiodiagnóstico, a instituição encontra-se em conformidade com as regulamentações técnicas estaduais:	Sim	Não	
16. Para equipamentos de radioterapia e gama-câmara, a instituição encontra-se em conformidade com as normas do CNEN:	Sim	Não	
17. Para o caso de ressonância magnética, as questões relativas à influência dos campos eletromagnéticos envolvidos, nas áreas adjacentes à sala de instalação, foram consideradas?	Sim	Não	
18. O local possui equipamento para controle das condições ambientais: () condicionamento de temperatura; () controle de umidade ____ a ____ %; () controle de ventilação: _____ m ³ /h	Sim	Não	Não se aplica

Figura 2.24 – Exemplo de formulário de pré-instalação durante o recebimento de equipamentos médicos (reproduzido e modificado de MÜLLER Jr.; PEDROSO, 2002).

TERMO DE RECEBIMENTO DE EQUIPAMENTO MÉDICO

I - CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO:

Nome: _____

Marca: _____ Modelo: _____

Fornecedor: _____ Concorrência: _____

Contrato: _____ Valor Licitado (US\$): _____

Empenho: _____ Nota Fiscal: _____ Recebido: ____/____/____

II - PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO:

II.1. Inspeção Visual: **O Equipamento está em conformidade com a proposta fornecida pela empresa?**

	Sim	Não		Sim	Não		Sim	Não
Chassis	()	()	Visores/Displays	()	()	Acessórios	()	()
Pintura	()	()	Carrinho/Rack	()	()	Marca/Modelo	()	()
Chaves	()	()	Rodízios	()	()	Outros	()	()

Observações: _____

Realizado por: _____ Data: ____/____/____

II.2. Avaliação Técnica:

Parâmetro(s) Avaliado(s)	Valor(es) Desejado(s)	Valor(es) Medido(s)	Erros (%)	Aceito?

Observações: _____

Realizado por: _____ Data: ____/____/____

() De acordo com os resultados verificados anteriormente, atestamos para os devidos fins que o equipamento está em conformidade com as especificações técnicas solicitadas.

() De acordo com os resultados verificados anteriormente, observamos que o equipamento não está em conformidade com as especificações técnicas solicitadas.

III - IDENTIFICAÇÃO FINAL DO EQUIPAMENTO (Cadastro no Hospital):

Nome: _____ PI: _____

IV - COMISSÃO TÉCNICA: _____ (Cidade), ____/____/____

_____ Eng. _____ Dr. _____ Enf. _____

V - UNIDADE REQUISITANTE:

Setor: _____

Recebido por: _____ Em : ____/____/____

Chefe do Setor (nome legível)

Figura 2.25 – Exemplo de termo de recebimento de equipamentos médicos (reproduzido e modificado do trabalho relatado em RAMÍREZ, 2002, e mostrado no site <http://www.uel.br/projetos/ec>).

2.4. Comentários sobre a literatura de aquisição de equipamentos médicos

Neste capítulo procurou-se mostrar a importância do estudo e otimização do processo de aquisição de equipamentos médicos para o hospital, através da citação de autores consagrados.

Como se pode perceber ao ler este capítulo, atualmente, a literatura sobre aquisição de equipamentos médicos é bastante extensa e diversificada. Contudo, devido à complexidade do tema, não existe um trabalho que se aprofunde em todas as fases de um processo de aquisição. Geralmente o que se encontra são trabalhos que fornecem uma visão geral sobre o assunto, mas não abordam todas as fases do processo com profundidade, ou então, aparecem trabalhos que somente abordam detalhadamente somente algumas das fases do processo.

No caso das metodologias mostradas sobre processos genéricos de aquisição de equipamentos médicos, os diversos autores consultados sugerem seqüências lógicas similares de atividades, onde mudam apenas alguns termos e definições utilizados.

Também verificou-se que atualmente a literatura nacional sobre planejamento estratégico para a aquisição de equipamentos médicos está bem variada; foram mostradas diversas metodologias, todas muito bem definidas, provenientes de monografias, teses, livros e artigos acadêmicos escritos por profissionais e acadêmicos com experiências em hospitais públicos e privados, e oriundos de diversas regiões do Brasil. Entretanto, apesar da boa base acadêmica, ainda persistem alguns vícios na aquisição de equipamentos médicos, visto que as decisões de aquisição na maioria dos casos são meramente políticas, conforme o autor deste trabalho pôde verificar durante o trabalho relatado em Ramírez (2002). Nesta fase, o grande desafio do engenheiro clínico será conseguir uma maior participação e influência no

processo de planejamento estratégico do hospital, através da aplicação de alguma das muitas metodologias mostradas na literatura sobre este tema.

Já na fase de avaliação das propostas de fornecimento de equipamentos médicos, observa-se que cada autor propõe um conjunto diferente de fatores de classificação. Isso com certeza se deve ao fato das vivências diferentes de cada um, seja no meio acadêmico ou profissional, na área de engenharia clínica. Talvez por isso nenhum deles tenha se arriscado a propor um sistema de pesos universal para os fatores/critérios de avaliação propostos, deixando isso a cargo dos leitores dos seus trabalhos. Apesar de ser uma opção mais sensata, cria-se um campo aberto para a subjetividade, que poderá colocar em perigo a objetividade do processo da tomada de decisão tão procurada em engenharia clínica. Por isso, na opinião do autor deste trabalho, será de vital importância o estudo dos mecanismos de raciocínio de especialistas em EC durante um processo de aquisição de equipamentos médicos, para, com isso, incrementar as metodologias publicadas até o presente momento na literatura.

Certamente, o engenheiro clínico poderá trabalhar com mais liberdade nas atividades referentes à aceitação / recebimento dos equipamentos médicos, pois elas são de natureza extremamente técnica. Nessa fase, o objetivo principal será definir e implementar os testes de aceitação mais adequados para cada tipo de equipamento, de maneira a garantir o seu perfeito funcionamento ao ser inserido no parque tecnológico do hospital.

Como visto neste capítulo, a maioria dos trabalhos encontrados é relativamente nova (menos de 5 anos). Por isso, falta ainda incorporar esta base teórica aos procedimentos efetivamente realizados pelos engenheiros clínicos de campo, os quais muitas vezes ainda estão lutando politicamente para mostrar a sua importância no hospital. Uma sugestão para isso talvez seja compilar tudo o que já foi escrito sobre aquisição de equipamentos médicos e

propor um corpo definido e uniforme de conhecimentos para ser ensinado nos cursos de especialização em Engenharia Clínica espalhados pelo país.

A partir disso, na opinião do autor desta tese, um processo de aquisição de equipamentos médicos pode ser resumido nas seguintes atividades básicas:

- a) Planejamento estratégico da instituição de saúde para definir quais e quantos equipamentos se deseja comprar ou substituir;
- b) Elaboração e refinamento das especificações técnicas detalhadas dos equipamentos que se deseja adquirir com base em informações obtidas através de pesquisas de mercado, literatura e consulta aos futuros usuários dos equipamentos;
- c) Obtenção de propostas de fornecimento dos equipamentos médicos desejados, a partir de algum tipo de consulta ao mercado (pode ser através de uma licitação no caso de hospital público, ou de um pedido de orçamentos no caso de hospital privado);
- d) Elaboração de uma metodologia para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos, levando em conta diversos fatores, aos quais serão atribuídos pesos. Isto permitirá a obtenção da nota final através de uma média ponderada dos fatores escolhidos;
- e) Avaliação das propostas recebidas, por parte de uma comissão formada por representantes dos diversos setores envolvidos na aquisição e na operação do equipamento;
- f) Formalização da compra do equipamento desejado através de um contrato (no caso de alguma das propostas recebidas ter sido aceita), ou interrupção do processo de aquisição para fazer a reformulação das especificações técnicas (retorno ao item b);

g) Recebimento do equipamento desejado, que consiste em verificar se o equipamento entregue está em conformidade com a proposta aceita, ou seja, são feitas diversas atividades (por exemplo: inspeções visuais, testes de aceitação e treinamento dos operadores) durante a entrega e instalação do equipamento, sendo este incorporado definitivamente ao parque tecnológico do hospital.

A atividade do item a) deve ser realizada pela diretoria em conjunto com os chefes de todos os setores importantes do hospital. As demais atividades, podem ser realizadas por equipes menores (4 a 5 pessoas) que necessariamente não precisarão trabalhar juntas em todas essas atividades. Logo, para realizar as atividades citadas nos itens de b) a f) sugere-se a seguinte equipe:

- um assessor da alta administração do hospital, que possa verificar se está sendo atendido o planejamento estratégico;
- um representante do setor de compras, que domine os processos administrativos relacionados à aquisição de equipamentos e possa dar apoio no levantamento de informações relacionadas às propostas de fornecimento;
- um (ou dois) profissional(is) da área de saúde que conheça(m) o equipamento desejado, e que será(ão) o(s) responsável(is) pela sua utilização;
- um profissional do setor técnico (engenheiro, tecnólogo ou técnico de manutenção) que possua experiência na instalação e manutenção do equipamento desejado.

3. Inteligência Artificial (IA)

Como foi visto no capítulo 2, a tomada de decisões na área da saúde, especificamente durante a aquisição de equipamentos médicos, requer a atuação de uma equipe multidisciplinar formada por médicos, enfermeiras, administradores hospitalares e engenheiros clínicos. Entretanto, nem todos os hospitais, principalmente os de pequeno e de médio porte, possuem recursos financeiros para manter uma estrutura deste tipo. É nesse contexto que a aplicação de inteligência artificial (IA) para auxiliar a solução deste problema aparece como uma alternativa promissora.

Como a literatura em IA é bastante extensa e diversificada, sendo os conceitos já bem difundidos e padronizados, neste capítulo não é feita uma ampla revisão da literatura de IA. Apenas são mostrados alguns conceitos básicos de IA (seção 3.1), dando-se mais ênfase à IAC (Inteligência Artificial Conexionista), ou simplesmente a redes neurais artificiais (seção 3.2), mais especificamente na área de aprendizagem supervisionada.

Ao final deste capítulo (seção 3.3) serão feitas algumas considerações sobre a importância do trabalho proposto nesta tese.

3.1. Inteligência artificial (IA)

Nesta seção serão mostrados alguns conceitos básicos em IA a saber:

- origens e definições de IA (3.1.1);
- aplicações de IA (3.1.2);
- abordagens em IA (3.1.3).

3.1.1. Origens e definições de IA

Desde os primórdios da civilização, a humanidade tem procurado desenvolver e melhorar objetos tangíveis (ferramentas e máquinas) ou intangíveis (métodos e técnicas) para resolver os problemas encontrados no seu dia-a-dia, tornando a sua subsistência menos árdua. Isto é conseguido através da aplicação da sua “inteligência” para fazer o estudo, imitação e aperfeiçoamento dos elementos e processos naturais. Em Ribeiro (1987) é citado um exemplo interessante desse processo:

“Antes da descoberta do avião, o homem sempre teve o sonho de voar, e começou a observar como as aves o faziam. E se começarmos a analisar as primeiras máquinas, mais pesadas que o ar, para voar, em muitas características, elas procuravam imitar algum tipo de pássaro. E algumas dessas máquinas tinham, inclusive, movimento de asas similar ao dos pássaros. Após várias tentativas para a construção dessas máquinas, e com o desenvolvimento de outras ciências como a física, a mecânica, a aerodinâmica, o homem obteve o mesmo resultado final – VOAR – por outros processos, bastantes diferentes de como os pássaros o fazem.”

Do mesmo modo, o ser humano também veio tentando imitar os processos de raciocínio. Daí surgiu a área conhecida como Inteligência Artificial (IA). Em Barreto (2000; 2001) é feito um resumo histórico da IA:

1. Antes de 1875: nada era conhecido sobre os mecanismos psicológicos e fisiológicos da mente, prevalecendo o misticismo até 1875, quando Camillo Golgi descobriu a existência do neurônio biológico;
2. 1875-1943: surgimento da Lógica Formal (Russel, Gödel, etc.), reconhecimento do cérebro como órgão responsável pela inteligência e publicação do trabalho de McCulloch e Pitts (1943) modelando o neurônio biológico.
3. 1943-1956: otimismo desordenado (acreditava-se que tudo era possível), que culminou com uma reunião no Dartmouth College (SHANNON e McCARTHY, 1956) onde nasceu a denominação IA;
4. 1956-1969: desenvolvimento dos perceptrons e dos sistemas especialistas simbólicos, e surgimento da IA evolutiva, até que o livro “Perceptrons” (MINSKY e PAPERT, 1969) mostrou que nem tudo é possível;
5. 1969-1981: retraimento dos pesquisadores de IA e falta de investimentos na área, até que os japoneses anunciaram seus planos para a quinta geração de computadores. Apesar disso, surgiram os conjuntos nebulosos ou “*fuzzy sets*” (ZADEH, 1965) e desenvolvimento do primeiro sistema especialista de diagnóstico médico (SHORTLIFE, 1974);
6. 1981-1987: aumentou o interesse por IA e os sistemas especialistas se popularizaram, através do uso da linguagem Prolog adotada pelos japoneses. A primeira conferência sobre redes neurais marcou o final do período;

7. 1987-atual: a IA penetra nos mais diversos campos de aplicação (uso em tomografia, campos de petróleo e bases de dados inteligentes, lógica nebulosa usada largamente no controle inteligente, sistemas especialistas tornam-se uma tecnologia dominada, bons resultados em problemas mal-definidos com sistemas usando hibridismo neural-nebuloso).

Como se pode perceber, a IA como a conhecemos hoje é uma área do conhecimento relativamente nova, com menos de 50 anos. Por isso, a definição do conceito de IA ainda hoje é tema de discussões apaixonadas por diversos autores. Assim, começando a análise pelo significado lingüístico, segundo o dicionário “Novo Aurélio - Século XXI” (FERREIRA, 1999), inteligência é:

“faculdade de aprender, apreender ou compreender; percepção, apreensão, intelecto, intelectualidade; qualidade ou capacidade de compreender e adaptar-se facilmente; capacidade, penetração, agudeza, perspicácia; maneira de entender ou interpretar; interpretação; acordo, harmonia, entendimento recíproco; relações de entendimentos secretos; conluio, maquinação, trama; destreza mental; habilidade; capacidade de resolver situações problemáticas novas mediante reestruturação dos dados perceptivos (psicologia); pessoa inteligente”.

Ainda no “Novo Aurélio”, define-se “artificial” como *“Produzido pela arte ou pela indústria; não natural; que não é espontâneo; forçado, fingido; postição”* (FERREIRA, 1999). Então, em princípio, a junção destas duas definições estará de acordo com Rich e Knight (1994) apud Barreto (2001), p.4: *“Inteligência artificial é o estudo de como fazer os computadores realizarem coisas que, no momento, as pessoas fazem melhor”*. Esta

definição está de acordo com Sage (1990) apud Haykin (2001), p.59: “O objetivo da inteligência artificial (IA) é o desenvolvimento de paradigmas ou algoritmos que requeiram máquinas para realizar tarefas cognitivas, para as quais os humanos são atualmente melhores”. Este ponto-de-vista é reforçado em Keller (1991):

“A meta principal da IA é a emulação através da máquina e o realce de todo e qualquer comportamento humano que ainda não tenha sido automatizado. O padrão parece ser tal que, uma vez solucionado um problema de IA – consulta a um banco de dados em linguagem natural, por exemplo – ele deixa de ser considerado como um problema de IA. Então, o termo Inteligência Artificial na realidade se refere a uma classe de problemas que os pesquisadores de IA consideram passíveis de solução. Quando essas soluções atingirem a maturidade comercial, estaremos contando com essencialmente alguns truques novos para adicionar a nossa cartola de mágicas do processamento de dados”.

Entretanto, segundo Barreto (2001) adotar definições como as de Rich e Knight (1994) será:

“condenar a IA a nunca conseguir um sucesso, pois cada vez que for resolvido um problema, ele deixa de ser do domínio da IA. Por incrível que possa parecer, esta atitude tem inúmeros adeptos associando IA à construção de robôs com sentimentos, computadores que se apaixonam, etc. Apesar do apelo futurístico deste tipo de artefatos, por razões pragmáticas, esta definição é rejeitada”.

Alternativamente, Charniak e McDermott (1985) apud Barreto (2001), p.05, sugerem uma definição alternativa: “IA é o estudo das faculdades mentais com o uso de

modelos computacionais”. Segundo Barreto (2001), esta definição apresenta várias qualidades:

- Não apresenta recursividades;
- É desprovida de xenofobia humana que reserva aos humanos capacidades de inteligência;
- É independente de tecnologias para implementar computadores e pode, portanto, ser adotada com computadores digitais e com neurocomputadores (computadores que utilizam o paradigma conexionista);
- Mostra suas relações com ciências afins: psicologia, ciência cognitiva, lógica, fisiologia e evolução para que se possa compreender como aparecem as faculdades mentais como resultado da evolução da natureza.

Porém, definições como a proposta por Charniak e McDermott (1985) também são passíveis de críticas, pois diz Barreto (1995) apud Almeida (1999), p. 22: *“não é possível fazer uma transição abrupta na consideração de coisas inteligentes e não-inteligentes”*. Também, segundo Almeida (1999): *“pode-se perceber que uma definição do que é natural, artificial, inteligente ou não, parece ser um conceito nebuloso (no sentido da Lógica Nebulosa)”*. Keller (1991) é mais incisivo nas suas críticas:

“A pesquisa da Inteligência Artificial é às vezes definida como uma procura por modelos computacionais gerais da inteligência humana. Infelizmente, ninguém realmente sabe o que é inteligência ou como estar certo de que alguém está se comportando inteligentemente. A definição e a medida deste conceito de difícil compreensão têm sido o assunto de incontáveis trabalhos através de séculos de pensamento filosófico. Muitas pessoas têm criado verdadeiros inventários

psicológicos na busca de medidas comparativas da inteligência. Outros ficam satisfeitos com um acordo mais subjetivo de que alguma pessoa ou algum ato representa evidências de inteligência”.

Segundo Barreto (2001), os limites nebulosos encontrados na definição do que sejam seres inteligentes por oposição a não-inteligentes, naturais e artificiais, apesar de encerrarem frequentemente um caráter pejorativo, são inerentes ao comportamento inteligente. Por isso, ele sugere uma posição pragmática, que considera a flexibilidade como uma das características do comportamento inteligente. Assim:

“(...) o uso de IA será associado à capacidade de resolver problemas. Imagina-se que à medida que a dificuldade em resolver um problema cresce, necessita-se de mais inteligência para resolvê-lo. Quando um problema, que exige um certo grau de inteligência, é resolvido por um dispositivo artificial, tal como um computador, diz-se que o computador possui este grau de inteligência. Será então possível, em princípio comparar dois dispositivos artificiais quanto a suas inteligências, e mesmo, detectar a existência de vários tipos de inteligência dos computadores”.

Como se pode perceber, segundo os autores consultados existe uma certa polêmica sobre a definição exata de inteligência artificial, uma vez que não há um entendimento claro dos conceitos e dos objetivos envolvidos nesta área.

Neste trabalho, será adotada a definição de inteligência artificial (IA) presente no dicionário “Novo Aurélio” (FERREIRA, 1999):

“Ramo da ciência da computação dedicado a desenvolver equivalentes computacionais de processos peculiares à cognição humana, como, por exemplo, a produção de inferências lógicas, o aprendizado, a compreensão de linguagem natural e o reconhecimento de padrões”.

Nesta tese não se está procurando a medição ou definição exata do termo “inteligência”, atendo-se apenas ao estudo do processo cognitivo de tomada de uma decisão, independente da ferramenta computacional utilizada. Assim, esta última definição é mais ampla, sendo também a que mais se aproxima dos objetivos deste trabalho.

3.1.2. Aplicações de IA

Inteligência Artificial (IA) é uma área de estudo que abrange diferentes campos da ciência, incluindo lógica nebulosa (*fuzzy logic*), redes neurais artificiais e sistemas especialistas (BLANCHARD et al. 2000). Os programas computacionais de IA são bem diferentes dos programas convencionais, conforme pode ser visto na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características da programação convencional e da programação em IA
(adaptado de RIBEIRO, 1987).

Programação Convencional	Programação em Inteligência Artificial
1. Primariamente processamento numérico	1. Primariamente processamento simbólico
2. Soluções algorítmicas	2. Soluções heurísticas (uso do “bom-senso”)
3. Estruturas de controle e de conhecimento integradas	3. Estrutura de controle separada do domínio de conhecimento
4. Dificil modificação e atualização	4. Fácil modificação e atualização
5. Só a resposta correta interessa	5. Algumas respostas erradas são toleradas
6. Só a melhor solução satisfaz	6. Respostas satisfatórias usualmente são aceitas

Pela Tabela 3.1 pode-se perceber que a IA será mais adequada para problemas cuja solução não possa ser obtida através do uso de algoritmos (RIBEIRO, 1987). Por isso a IA tem sido muito útil na resolução de alguns tipos específicos de problemas, dentre os quais:

a) Processamento de linguagem natural: basicamente consiste na compreensão de uma seqüência de símbolos sonoros (palavras) e a geração de uma seqüência de resposta (BARRETO 2001). Isso permitirá interagir com máquinas em linguagem natural, ao invés de linguagem computacional (RIBEIRO, 1987). Um dos primeiros problemas abordados pela comunidade de IA foi a tradução de línguas, mas este problema revelou-se complexo e é hoje um dos grandes desafios a serem resolvidos plenamente. Entretanto apesar do aparente insucesso na tradução automática, a IA contribuiu enormemente para uma melhor compreensão da estrutura das linguagens naturais (BARRETO, 2001);

- b) Modelamento e processamento de sinais biológicos: a IA pode ser útil nesta área, pois permite imprecisão, visto que muitos dos parâmetros dos sistemas biológicos não possuem valores numéricos exatos, podendo ser difícil medi-los e avaliá-los utilizando programas convencionais (BLANCHARD et al. 2000);
- c) Base de dados inteligente (BARRETO, 2001): alguns métodos de IA (*Data Warehousing*, *Data Mining*) permitem organizar uma base de dados de maneira inteligente, isto é, de modo que seja possível deduzir novos fatos manipulando informações previamente armazenadas. Isso já é utilizado em telecomunicações, análise de crédito, marketing, administração e medicina;
- d) Ensino: a IA pode ser implementada através dos sistemas de ICAL (*Intelligent Computer Aided Learning*), que podem apresentar-se na forma de tutoriais multimídia, incorporando conceitos de IA (BARRETO, 2001). Um exemplo disto é encontrado em Almeida (1999).
- e) Interpretação (BARRETO, 2001): consiste no processo de associar significado a um conjunto de dados, ou seja, está intimamente ligada ao reconhecimento de padrões (por exemplo: reconhecimento da assinatura em cheques, de caracteres escritos e de impressões digitais);
- f) Diagnóstico e auxílio na tomada de decisão: a IA pode ser usada em programas para encontrar falhas em um sistema. O uso pioneiro foi na área do diagnóstico médico que, inicialmente, não teve uma boa receptividade da comunidade médica. Porém, hoje em dia já está mais difundido, pois estes programas estão mais confiáveis e são apresentados como ferramentas de apoio ao diagnóstico médico (BARRETO, 2001).

Especificamente, no caso do diagnóstico e auxílio na tomada de decisão, métodos de IA também vêm sendo utilizados em outras áreas do conhecimento, como a engenharia

financeira para modelar séries temporais e fazer previsões econômicas, como mostrado por Refenes et al. (1997). Isso indica a viabilidade de sua utilização em campos que requeiram uma tomada de decisão gerencial. Então, poder-se-ia tentar aplicar redes neurais artificiais no processo de aquisição de tecnologias na área hospitalar.

3.1.3. Abordagens em IA

É importante conhecer os tipos de abordagem em IA, pois, é o que diz Barreto (2001): *“dependendo da abordagem adotada, tanto o modo de manipular o conhecimento, quanto como adquiri-lo, armazená-lo e empregá-lo diferem”*. Assim em IA existem quatro tipos de abordagem (BARRETO, 2001):

- Inteligência Artificial Simbólica (IAS): procura imitar, ao menos até certo ponto, o modo de raciocínio usado por humanos na solução de problemas. A ferramenta básica para manipular conhecimento na IAS é a Lógica (por isso diz-se que o conhecimento neste paradigma é do tipo seqüencial), com suas regras de inferência inspiradas nos silogismos enunciados há mais de 2000 anos por Aristóteles. Assim, a IAS deve ser usada quando o problema é bem definido, ou seja, deve-se ter uma boa idéia de como ele seria resolvido e o modo de achar uma solução deve ser bem explícito.
- Inteligência Artificial Conexionista (IAC): possui um desempenho melhor que a IAS em problemas mal-definidos, onde falta o conhecimento explícito de como realizar uma tarefa. A ferramenta básica da IAC é o complexo formado por circuitos que se assemelham às redes de neurônios biológicos. Por isso diz-se que o conhecimento neste tipo de paradigma está distribuído.

- Inteligência Artificial Evolutiva (IAE): os mecanismos são os mesmos encontrados na evolução biológica, isto é, na seleção natural de indivíduos de uma população, em mutações, etc. É adequada para problemas bem definidos de sobrevivência de uma espécie em ambiente variável, em outras palavras, pode ser encarada como um método de otimização com restrições variáveis e às vezes desconhecidas.
- Inteligência Artificial Híbrida (IAH): consiste na combinação de várias abordagens de IA para resolver um problema.

Atualmente, a IAH é mais utilizada em IA, pois permite usufruir os pontos positivos das outras abordagens, sem a necessidade de sofrer seus pontos negativos. Um exemplo de IAH pode-se ver em Garcia (1992), que mostrou o desenvolvimento do PROVANES - um sistema especialista de apoio à área de anestesiologia médica o qual utilizou métodos de IAS, para fazer a interface com o usuário, e redes neurais artificiais (IAC) para processar os dados referentes aos pacientes.

3.2. Redes neurais artificiais (RNA)

Nesta seção serão mostrados alguns conceitos básicos de RNA a saber:

- Neurônio biológico (3.2.1);
- Modelo de neurônio artificial (3.2.2);
- Topologias de RNA (3.2.3);
- Aprendizagem de RNA (3.2.4);
- Técnicas para melhorar o desempenho de uma RNA (3.2.5).

3.2.1. Neurônio biológico

Dizem Guyton e Hall (2002), no ser humano:

“O sistema nervoso é único, pela vasta complexidade dos processos do pensamento e das ações de controle que pode exercer. Recebe, literalmente, milhões de bits de informações a partir dos diferentes órgãos sensoriais, e então, integra todos eles para determinar as respostas a serem dadas pelo corpo”.

O nosso sistema nervoso é dividido em sistema nervoso periférico e sistema nervoso central (SNC), sendo este último formado pelo cérebro e medula espinhal. Somente o córtex cerebral (parte externa do cérebro) possui em torno de 50 bilhões de neurônios (BLANCHARD, 2000). Para os diferentes tipos de neurônios pode haver desde algumas centenas até 200.000 conexões sinápticas (GUYTON; HALL, 2002). Na Figura 3.1 é mostrado um esquema de neurônio biológico.

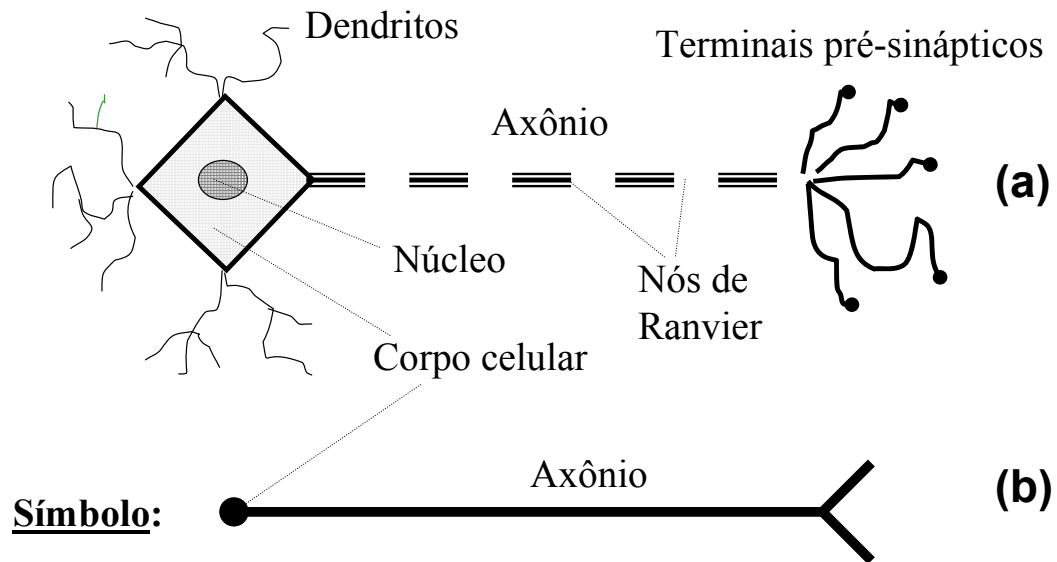


Figura 3.1 – Neurônio biológico: (a) esquema mostrando as partes principais; (b) representação simbólica (adaptado de GUYTON; HALL, 2002; e BLANCHARD, 2000).

O neurônio é basicamente composto pelo axônio e pelo corpo celular, onde estão localizados o núcleo e os dendritos, que fazem a conexão com os terminais pré-sinápticos de outros neurônios. Entre as características do axônio temos (BLANCHARD, 2000):

- varia de mm (cérebro) a 1m (medula espinhal até o pé);
- possui múltiplos terminais pré-sinápticos que contêm neurotransmissores para efetuar as ligações com os dendritos de outros neurônios;
- nós de Ranvier (“gaps” que aceleram a condução nervosa).

As informações são transmitidas pelo sistema nervoso central, sobretudo na forma de “impulsos nervosos”, através de uma sucessão de neurônios. Cada impulso pode ser: (1) bloqueado na sua transmissão de um neurônio para o próximo; (2) alterado de um impulso único para impulsos repetitivos; ou (3) integrado com impulsos a partir de outros neurônios,

para causar padrões altamente intrincados de impulsos em neurônios sucessivos (GUYTON; HALL, 2002).

Nos neurônios biológicos há dois tipos de sinapses (GUYTON; HALL, 2002):

- Sinapses químicas: são utilizadas para transmissão de sinais no SNC do ser humano. Acontece quando um neurônio secreta uma substância química chamada de neurotransmissor (acetilcolina, norepinefrina, histamina, entre outras 40 substâncias) na sinapse, e essa substância atua sobre proteínas receptoras na membrana do neurônio seguinte, servindo para excitá-lo ou inibi-lo. As sinapses químicas sempre transmitem os sinais em direção única, o que permite que estes sejam dirigidos com objetivos específicos para áreas discretas e altamente focalizadas, permitindo ao sistema nervoso desempenhar diversas funções (sensação, controle motor, memória entre outras) simultaneamente.
- Sinapses elétricas: consistem em canais abertos diretos de líquido que conduzem a eletricidade de uma célula para a próxima. É por meio destes canais abertos que os potenciais de ação são transmitidos na musculatura lisa das vísceras e na musculatura cardíaca. Usualmente podem transmitir sinais em qualquer direção.

No neurônio, os sinais provenientes dos dendritos são integrados no corpo celular ou soma, para em seguida serem transmitidos pelo axônio para os terminais pré-sinápticos. A quantidade de proteínas receptoras e/ou de canais abertos presentes nestes terminais irá facilitar, ou até mesmo inibir, a transmissão dos impulsos nervosos entre os neurônios. Os neurônios podem estar interligados em circuitos convergentes, divergentes e com realimentação (BLANCHARD, 2000). A velocidade de condução nas fibras nervosas pode variar de 0,5 a 120 m/s, dependendo da quantidade de mielina presente nos axônios (GUYTON; HALL, 2002).

3.2.2. Modelo de neurônio artificial

Em redes neurais artificiais (RNA), assim como nas redes neurais biológicas, o componente básico é o neurônio. Um modelo geral de neurônio utilizado em RNA é mostrado na Figura 3.2.

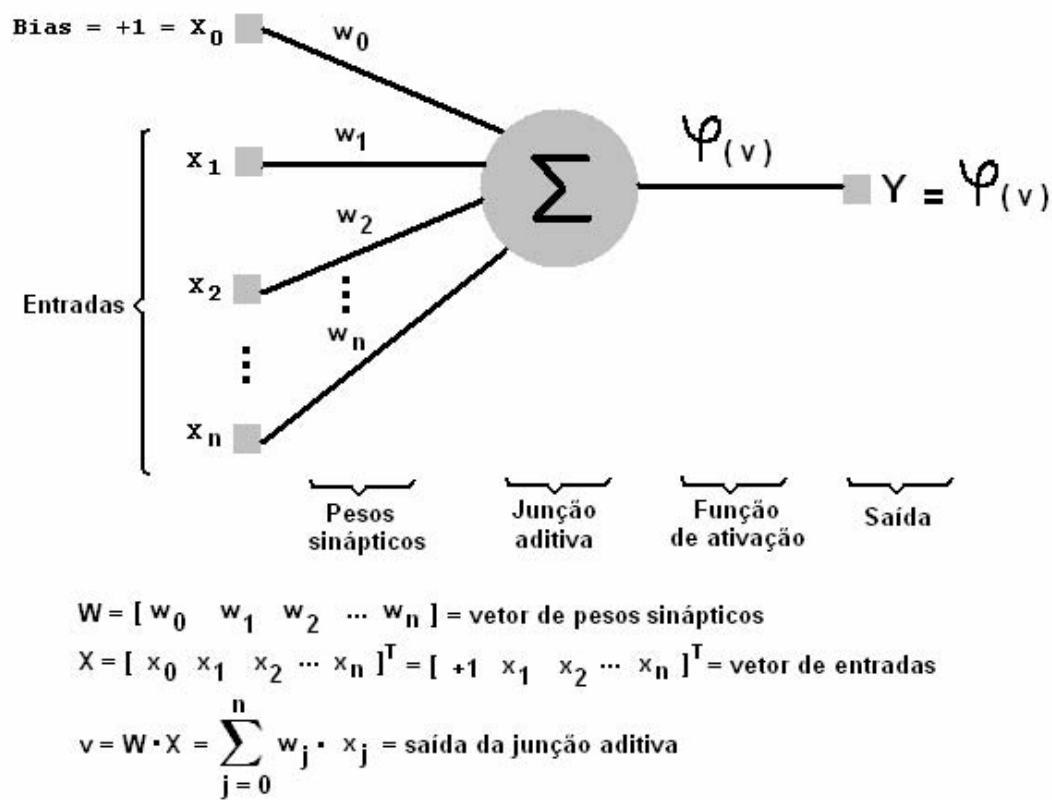


Figura 3.2 – Grafo arquitetural de um neurônio artificial (adaptado de HAYKIN, 2001).

Na Figura 3.2 podem-se identificar três elementos básicos do modelo neuronal (HAYKIN, 2001):

1. um conjunto de "j" sinapses ou elos de conexão, onde o sinal de entrada (também chamado de "excitação" por BARRETO, 2001) " x_j " da sinapse "j" será multiplicado pelo

peso sináptico “ W_{ij} ”, que irá representar a facilidade de transmissão do sinal proveniente de “ X_i ” através da sinapse j ;

2. um somador ou junção aditiva “ v ” (também chamada de “confluência” por BARRETO, 2001, e de “potencial de ativação” por HAYKIN, 2001) que irá obter a combinação linear das entradas, ou seja, vai somar os sinais de entrada ponderados pelas respectivas sinapses do neurônio;
3. uma função de ativação (ou função restritiva) para restringir a amplitude de saída de um neurônio a um valor finito.

O neurônio artificial possui também um sinal de polarização (bias) aplicado externamente, representado por “ b ” ou “ W_0 ”, que tem o efeito de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função de ativação (HAYKIN, 2001).

Matematicamente, a saída do somador, ou potencial de ativação, será calculada pela Equação 3.1 (HAYKIN, 2001).

$$v = \sum_{j=0}^n x_j \cdot w_j \quad (3.1)$$

Já a função de ativação geralmente é não-linear, podendo ser abrupta (do tipo degrau), linear por partes ou do tipo sigmóide (tangente hiperbólica ou função logística), com formatos semelhantes aos mostrados na Figura 3.3.

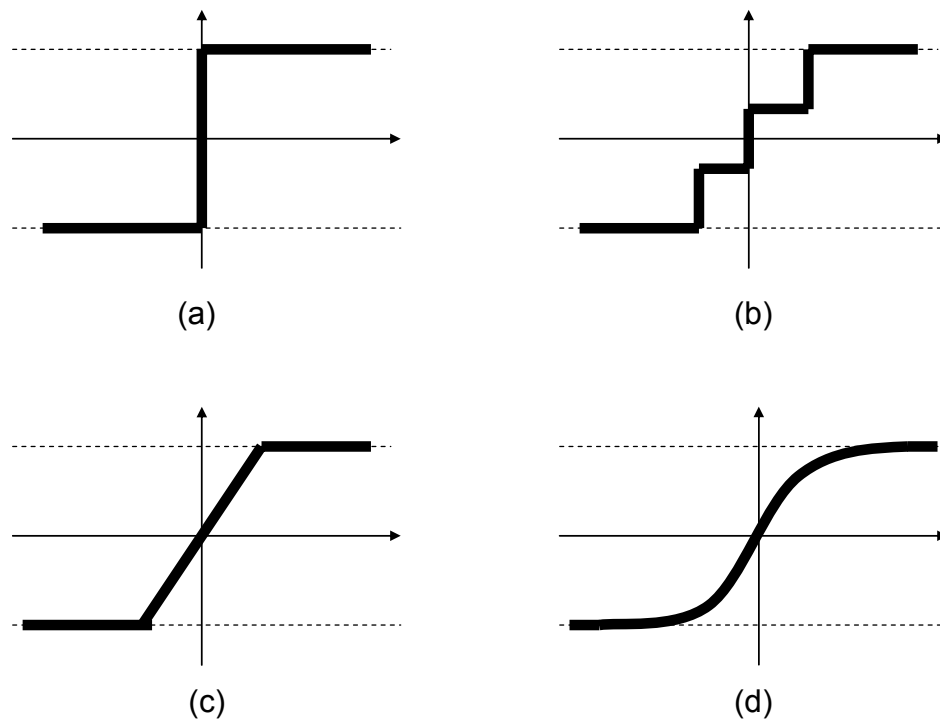


Figura 3.3 – Funções de ativação não-lineares mais utilizadas em neurônios de uma RNA: (a) degrau; (b) degraus superpostos; (c) linear por partes; (d) sigmóide (adaptado de HAYKIN, 2001 e BARRETO, 2001).

Existem alguns tipos de neurônios artificiais (BARRETO, 2001):

- Neurônio estático: quando os valores do potencial de ativação e da saída se referem ao mesmo instante das entradas;
- Neurônio linear: quando o potencial e a função de ativação são lineares;
- Neurônio não-estacionário: quando o potencial e/ou a função de ativação são também funções do tempo;
- Neurônio dinâmico: quando, para o cálculo do potencial de ativação em um determinado instante, é necessário o conhecimento do potencial de ativação em um instante anterior.

3.2.3. Topologias de RNA

A arquitetura, ou topologia, de uma rede neural vai depender do algoritmo de aprendizagem utilizado para treiná-la. Em geral, podem-se identificar duas classes fundamentais de arquiteturas de rede (HAYKIN, 2001; BARRETO, 2001):

a) Redes diretas, acíclicas ou alimentadas adiante (*feedforward*): são RNA cujo grafo não possui ciclos e cujos neurônios estão organizados em camadas (Figuras 3.4 e 3.5). A RNA direta é composta por uma camada de neurônios de entrada (também conhecidos por “nós de fonte”, visto que neles não é realizado qualquer tipo de computação) e uma camada de neurônios de saída. A RNA direta não necessariamente possui camadas intermediárias, as quais também são conhecidas como camadas escondidas ou ocultas (*hidden layers*). Entretanto, o uso de camadas escondidas permite a extração de estatísticas de ordem elevada e a aproximação da RNA por uma função não-linear. Normalmente, para este tipo de redes utiliza-se o algoritmo de treinamento de retropropagação (*back-propagation*).

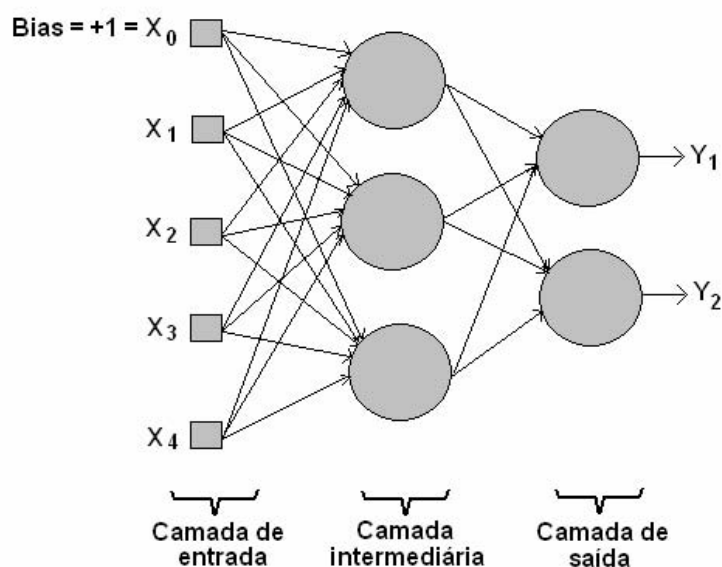


Figura 3.4 – RNA direta com três camadas, tendo: quatro neurônios na camada de entrada; três neurônios na camada intermediária; e dois neurônios na camada de saída.

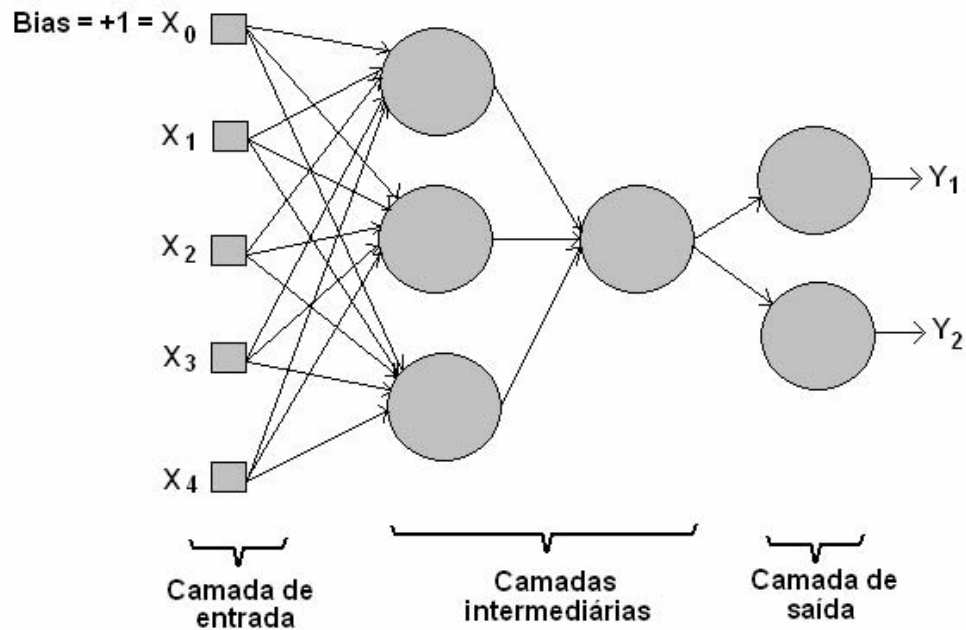


Figura 3.5 – RNA direta com quatro camadas, tendo: quatro neurônios na camada de entrada; três neurônios na primeira camada intermediária; um neurônio na segunda camada intermediária; e dois neurônios na camada de saída.

Para efeito de simplificação, diz-se que a RNA mostrada na Figura 3.5 consiste numa **rede 4-3-1-2** que significará uma RNA direta com quatro camadas, tendo: quatro neurônios na camada de entrada; três neurônios na primeira camada intermediária; um neurônio na segunda camada intermediária; e dois neurônios na camada de saída. Também pode-se dizer que essa RNA é uma **rede totalmente conectada**, pois os neurônios de uma camada da rede estão conectados a todos os neurônios da camada seguinte. Quando estiver faltando alguma conexão, diz-se que a rede é **parcialmente conectada**.

b) Redes com ciclos (retroação, realimentação ou *feedback*): correspondem a uma grande família de RNA cujo grafo possui pelo menos um ciclo. Quando são compostas por neurônios dinâmicos com retardo são chamadas de **redes recorrentes** (Figura 3.6). Um paradigma mais recente e pouco explorado é o das **redes bidirecionais**, que consistem em redes com ciclos que utilizam neurônios dinâmicos, as quais também são conhecidas por **redes simétricas** ou **BAM (*Bidirectional Associative Memories*)** quando a matriz de conectividade da rede é simétrica.

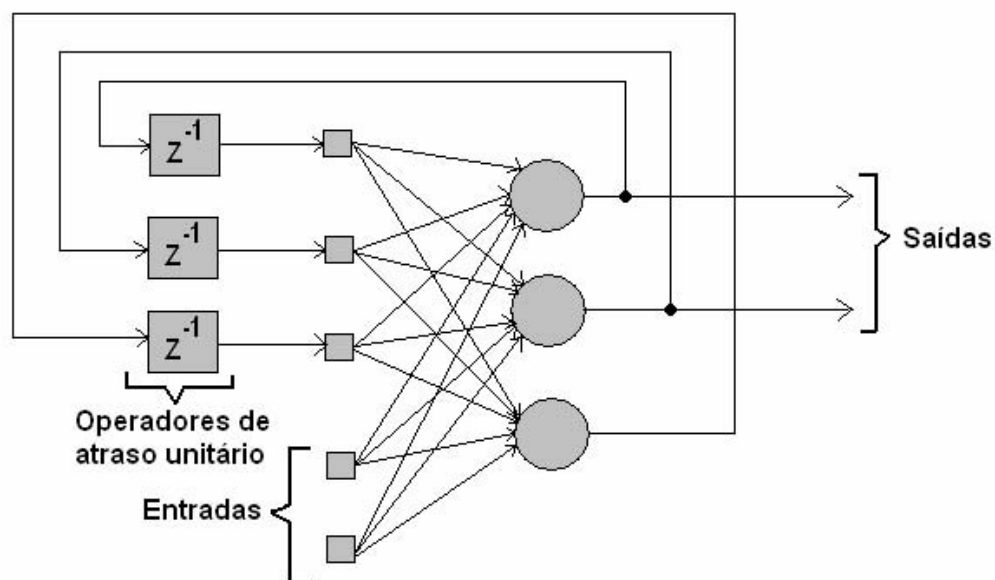


Figura 3.6 – RNA recorrente com neurônios ocultos (adaptado de HAYKIN, 2001).

3.2.4. Aprendizagem de RNA

Segundo Von Zuben (2003), os problemas que normalmente são tratados com sucesso através do emprego de redes neurais artificiais, são aqueles relacionados à análise multivariada de dados. Por isso, o aprendizado de uma rede neural artificial consiste em definir os valores mais adequados de suas conexões sinápticas, as quais deverão

representar algum tipo de conhecimento (BARRETO, 2001). Já **conhecimento**, segundo Fischler e Firschein (1987) apud Haykin (2001), p. 49, pode ser definido como:

“informação armazenada ou modelos utilizados por uma pessoa ou máquina para interpretar, prever e responder apropriadamente ao mundo exterior”.

Segundo Haykin (2001), as principais características da representação do conhecimento são:

- que informação é realmente tornada explícita?
- como a informação é codificada para uso subsequente?

Assim, uma **máquina inteligente** como a RNA, além de uma boa representação do conhecimento necessário para resolver um determinado problema, deverá fazer um bom processamento deste conhecimento para alcançar uma solução ótima.

Para adquirir o conhecimento do mundo (ambiente) onde a RNA vai operar será preciso trabalhar com dois tipos de informação (HAYKIN, 2001):

- (1) informação prévia, ou seja, os fatos já conhecidos sobre o estado do ambiente;
- (2) observações (medidas) do mundo, obtidas através de sondagens do ambiente onde a RNA deve operar. Normalmente, essas observações são inerentemente ruidosas devido a erros nas sondagens e no sistema.

A partir das observações feitas, são retirados os exemplos utilizados para treinar a RNA. Esses exemplos são organizados em pares de entrada-saída (sinal de entrada com a sua correspondente resposta desejada), que são associados em um **conjunto de dados de treinamento** (HAYKIN, 2001).

Em seguida, o conjunto de dados de treinamento é subdividido em dois subconjuntos (HAYKIN, 2001; BARRETO, 2001):

- amostra de treinamento: conjunto de exemplos utilizados para fazer a **aprendizagem** da RNA, que consiste em aplicar algum tipo de **algoritmo de aprendizagem** para definir os valores finais dos pesos sinápticos que otimizem a resposta da RNA;
- amostra de teste: conjunto de exemplos – diferentes daqueles utilizados para fazer a aprendizagem – que servem para testar a RNA, ou seja, a amostra de teste permite verificar a capacidade de **generalização** da RNA.

A aplicação do algoritmo de aprendizagem poderá ser seqüencial ou por lote. No treinamento seqüencial, a correção dos pesos sinápticos é aplicada toda vez que é apresentado um exemplo à RNA. Já no treinamento por lote esta correção somente será feita após a apresentação completa de uma **época**, que consiste em todos os exemplos da amostra de treinamento.

Existem diversos tipos de algoritmos de aprendizagem de RNA que deverão ser utilizados de acordo com o objetivo pretendido e com a natureza do problema enfrentado. Podem-se dividir estes algoritmos em duas categorias básicas (HAYKIN, 2001):

- aprendizagem supervisionada (com professor): o aprendizado acontece sob a tutela de alguém (professor), cujo conhecimento é representado por um conjunto de exemplos de entrada-saída, que serão utilizados para treinar a RNA. O objetivo da aprendizagem será minimizar o erro entre a resposta desejada e a resposta real da RNA. Normalmente, esta abordagem é utilizada para classificação de padrões e aproximação de funções.
- aprendizagem sem professor: não há um professor para supervisionar o processo de aprendizagem, vale dizer, não há exemplos rotulados da função a ser aprendida pela rede. A subdivisão mais conhecida deste paradigma é a família de métodos de

aprendizagem não-supervisionada ou **auto-organizada**, onde o objetivo é descobrir padrões significativos ou características nos dados de entrada, sem a necessidade de um professor externo ou um crítico para supervisionar o processo de aprendizado. Para isto, podem-se utilizar algoritmos de aprendizagem competitiva, que se baseiam na estratégia “o vencedor leva tudo”, onde o neurônio com a maior entrada total “ganha” a competição e se torna ligado; desligando-se, assim, os demais neurônios;

Dentre os algoritmos de **aprendizagem supervisionada** podem-se destacar alguns (BARRETO, 2001; HAYKIN, 2001):

- a) Aprendizado Hebbiano: algoritmo inspirado na **Lei de Hebb** de aprendizado biológico. Basicamente consiste em durante o treinamento, aplicar aos pesos sinápticos da RNA, a correção mostrada na Equação 3.2.

$$\Delta w_{ij} = \eta \cdot x_i \cdot o_j \quad (3.2)$$

Onde:

w_{ij} = intensidade da conexão entre os neurônios i e j

Δw_{ij} = acréscimo da intensidade da conexão entre os neurônios i e j

η = taxa de aprendizado (parâmetro que define a intensidade da correção)

x_i = excitação (entrada) do neurônio i

o_j = saída do neurônio j

O uso da Lei de Hebb, como mostrado na Equação 3.2, possui uma certa plausibilidade biológica, pois, para alterar o valor de uma conexão sináptica são utilizadas apenas informações da mesma sinapse. Entretanto, apresenta alguns inconvenientes, como levar a conexão sináptica à saturação (perda da seletividade impedindo o armazenamento de qualquer informação) quando for repetido o mesmo sinal de entrada várias vezes;

b) Regra Delta: é um aperfeiçoamento da aprendizagem hebbiana que leva em conta a diferença, ou erro, entre a resposta desejada e a saída da RNA. Assim, durante o treinamento, é aplicada a seguinte correção aos pesos sinápticos da RNA:

$$\Delta w_{ij} = \eta \cdot e_j \cdot x_i = \eta \cdot (d_j - o_j) \cdot x_i \quad (3.3)$$

Onde:

w_{ij} = intensidade da conexão entre os neurônios i e j

Δw_{ij} = acréscimo da intensidade da conexão entre os neurônios i e j

η = taxa de aprendizado (parâmetro que define a intensidade da correção)

x_i = excitação (entrada) do neurônio i

e_j = erro na saída do neurônio j

d_j = resposta desejada do neurônio j

o_j = saída do neurônio j fornecida pela RNA

A regra delta também é biologicamente plausível, por usar apenas informação local da sinapse para o aprendizado. Além disso, ela é útil quando se deseja minimizar o erro médio quadrático durante o treinamento de uma RNA. Entretanto, o uso da regra delta é limitado a RNA com duas camadas de neurônios (uma camada de entrada e uma camada de saída). Quando a regra delta é aplicada a neurônios lineares, pode ser chamada de algoritmo do **mínimo quadrado médio**, ou **LMS** (*Least Mean Squares*), pois a sua utilização minimizará a função custo mostrada na Equação 3.4.

$$EQMF_j = \frac{(e_j)^2}{2} = \frac{(d_j - o_j)^2}{2} \quad (3.4)$$

Onde:

$EQMF_j$ = função custo = erro médio quadrático na saída do neurônio j

e_j = erro na saída do neurônio j

d_j = resposta desejada do neurônio j

o_j = saída do neurônio j fornecida pela RNA

c) Retropropagação (RP): também conhecida como **BP** (*Back-propagation*), é considerada uma generalização da regra delta para redes diretas com mais de duas camadas, ou seja, que possuem pelo menos uma camada escondida. Para isso, na correção dos pesos sinápticos são levados em conta os gradientes locais da rede, como pode ser visto na Equação 3.5.

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \alpha \cdot [w_{ij}(n) - w_{ij}(n-1)] + \eta \cdot \delta_j(n) \cdot x_i(n) \quad (3.5)$$

Onde:

$w_{ij}(n)$ = intensidade da conexão entre os neurônios i e j na iteração n

α = coeficiente de momento (ou inércia) da RNA

η = taxa de aprendizado (parâmetro que define a intensidade da correção)

$\delta_j(n)$ = gradiente local do neurônio j na iteração n

$x_i(n)$ = excitação (entrada) do neurônio i na iteração n

O cálculo dos gradientes locais dependerá da localização do neurônio na RNA. Se o neurônio estiver na camada de saída, o gradiente é calculado através da Equação 3.6.

$$\delta_j(n) = e_j(n) \cdot \varphi'_j(v_j(n)) = [d_j(n) - o_j(n)] \cdot \varphi'_j(v_j(n)) \quad (3.6)$$

Onde:

$\delta_j(n)$ = gradiente local do neurônio j da camada de saída na iteração n

$e_j(n)$ = erro na saída do neurônio j na iteração n

$d_j(n)$ = resposta desejada do neurônio j na iteração n

$o_j(n)$ = saída do neurônio j fornecida pela RNA na iteração n

φ'_j = derivada da função de ativação do neurônio j

$v_j(n)$ = potencial de ativação do neurônio j na iteração n

No caso de neurônios das camadas ocultas, o gradiente local poderá ser encontrado através da Equação 3.7.

$$\delta_j^c(n) = \phi_j'(v_j^c(n)) \cdot \sum_k [\delta_k^{c+1}(n) \cdot w_{kj}^{c+1}(n)] \quad (3.7)$$

Onde:

$\delta_j^c(n)$ = gradiente local do neurônio j da camada oculta c na iteração n

$\delta_k^{c+1}(n)$ = gradiente local do neurônio k da camada seguinte à camada oculta c na iteração n

$w_{kj}^{c+1}(n)$ = intensidade da conexão entre o neurônio j da camada oculta c e o neurônio k da camada seguinte na iteração n

ϕ_j' = derivada da função de ativação do neurônio j

$v_j^c(n)$ = potencial de ativação do neurônio j da camada oculta c na iteração n

Como pode ser visto nas Equações 3.5, 3.6 e 3.7, devido ao uso de gradientes, o algoritmo RP é aplicável a redes com neurônios cuja função de ativação seja diferenciável.

Na literatura foram encontrados outros tipos de algoritmos de treinamento supervisionado, que basicamente, consistem em variações para melhorar o desempenho do algoritmo RP e do LMS através de mudanças nos valores dos coeficientes de momento e de aprendizagem durante o treinamento da RNA.

Durante as fases de treinamento e de teste da RNA é necessário estabelecer algum **critério de parada**. Geralmente o critério mais utilizado é a minimização do erro quadrático médio entre a resposta fornecida pela RNA e a resposta desejada, o qual consiste na aplicação da Equação 3.4 aos neurônios da camada de saída da RNA. Entretanto, segundo Barreto (2001), isto não passa de uma conjectura, ou seja, não há comprovação de que este seja o melhor critério para dizer se uma RNA realmente aprendeu alguma coisa.

3.2.5. Técnicas para melhorar o desempenho de uma RNA

Um dos grandes desafios, durante a aprendizagem de uma RNA, é evitar o treinamento excessivo das amostras, pois isso levará a RNA a perder a capacidade de generalização. Isso pode ser melhor visualizado na Figura 3.7.

Em outras palavras, o treinamento excessivo poderá diminuir o erro quadrático das amostras de treinamento, mas por outro lado irá aumentar o erro quadrático em relação às amostras de teste. Com isso, as respostas fornecidas pela RNA não serão confiáveis para amostras que se situem fora do conjunto de treinamento.

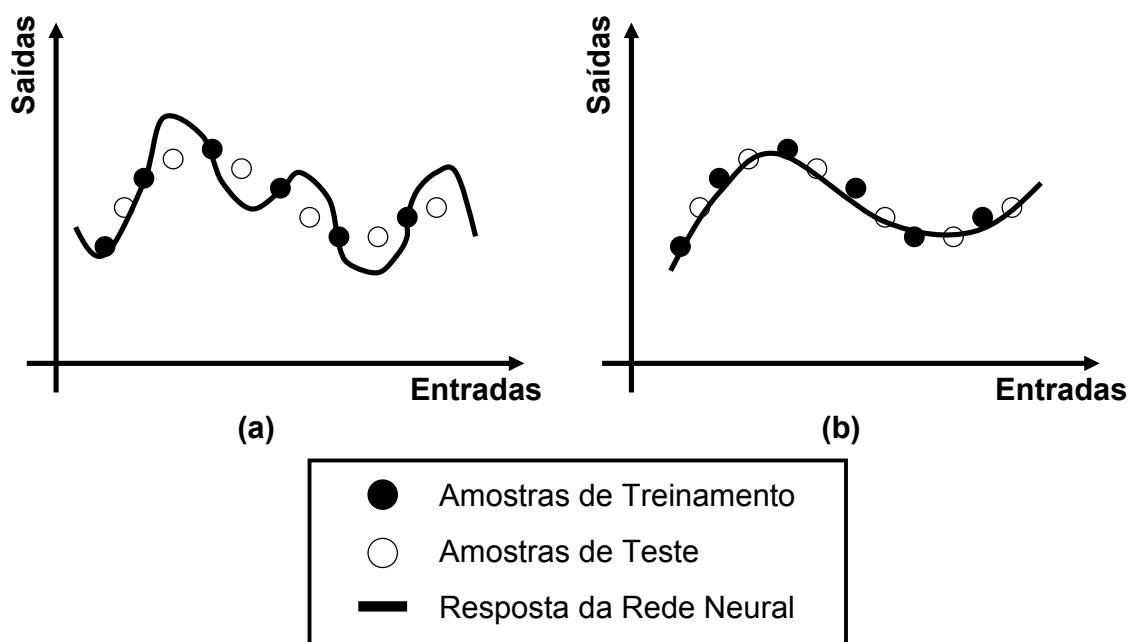


Figura 3.7 – Comparação de desempenho para dados de treinamento e teste, de modo a medir a capacidade de generalização dos mapeamentos produzidos: (a) treinamento excessivo com conseqüente perda de generalização; (b) treinamento adequado com generalização boa (modificado de VON ZUBEN, 2003).

Normalmente, para evitar a perda de generalização durante o treinamento de uma RNA, costuma-se utilizar a validação cruzada, que consiste em dividir o conjunto total de amostras em amostra de teste e amostra de treinamento, a qual será composta por duas partições: uma maior, chamada de amostra de estimação, na qual é aplicado o algoritmo de treinamento da RNA; e uma menor, chamada de amostra de validação, a qual serve para estabelecer o ponto de parada antecipada¹ (HAYKIN, 2001). Nesse caso, a capacidade de generalização da RNA será dada pelo erro quadrático da amostra de teste. Um exemplo de curvas de treinamento e de teste de uma RNA, em cujo treinamento foi utilizada validação cruzada, é mostrado na Figura 3.8.

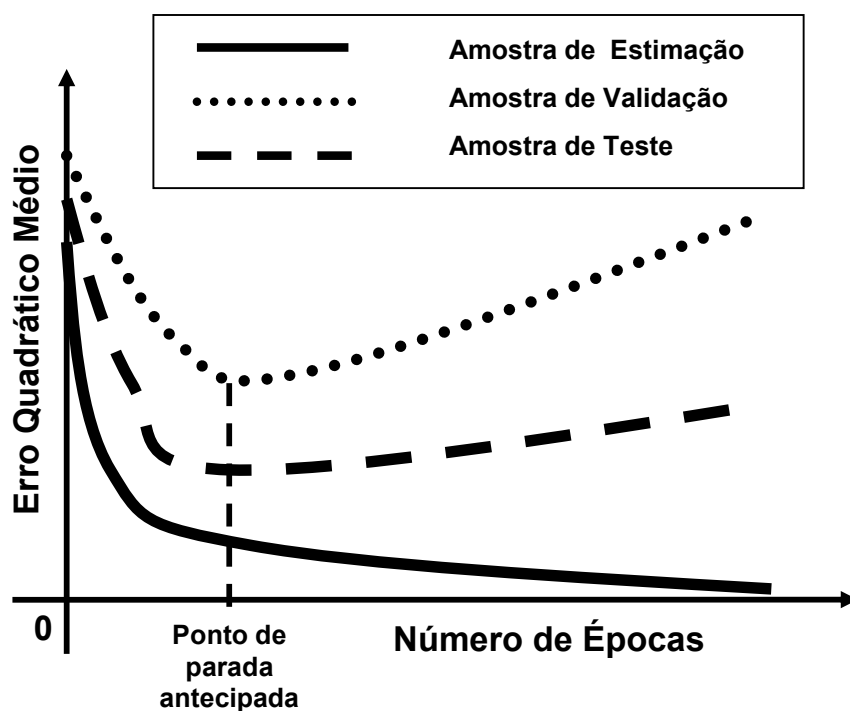


Figura 3.8 – Exemplo de curvas de treinamento e de teste de uma RNA em cujo treinamento foi utilizada validação cruzada (adaptado de HAYKIN, 2001 e LIMA, 2004).

¹ Momento em que o treinamento deve ser interrompido, ou seja, em que os pesos sinápticos da RNA serão armazenados como resultado final do treinamento.

Nos últimos anos, têm surgido diversas técnicas para melhorar a capacidade de generalização das redes neurais artificiais. Normalmente, estas técnicas consistem na combinação e/ou associação das respostas (conhecida como “comitê de máquinas” ou “máquinas de comitê” – proveniente do inglês “*committee machine*”) de diversas RNA – as quais foram previamente treinadas com os algoritmos tradicionais citados anteriormente (LMS, BP entre outros) – de maneira que o resultado final seja melhor que aquele obtido ao ser utilizada apenas uma RNA isoladamente.

Uma abordagem bastante popular para implementar o comitê de máquinas é a abordagem *ensemble*, que basicamente consiste em combinar as respostas de diversas redes neurais treinadas com os mesmos conjuntos de dados (LIMA, 2004). Nos problemas de regressão, é utilizada a média simples, ou ponderada, das diversas respostas (neste caso diz-se que a resposta é a “média de *ensemble*”). Quando as redes neurais são utilizadas para classificação de padrões, a resposta final é obtida através de votação entre as diversas redes participantes do *ensemble*.

Existem três vantagens na utilização de um *ensemble* (DIETTERICH, 2000 apud LIMA, 2004, p.15-16):

- estatística: o uso de um *ensemble* irá diminuir a probabilidade de erro final, pois estará sendo coberto um espaço maior de hipóteses dentro das possíveis soluções para o problema (Figura 3.9.a);
- computacional: ao usar o *ensemble*, a combinação das respostas das RNA, cujas soluções levam a ótimos locais, poderá apontar para a solução de ótimo global (Figura 3.9.b);

- representacional: as diversas RNA que compõem o *ensemble* têm uma maior capacidade de representar um espaço de hipóteses H, se comparado com a utilização de apenas uma RNA. Isso permite mais flexibilidade para uma melhor aproximação do ótimo global, mesmo que ele esteja situado fora do espaço de hipóteses H (Figura 3.9.c).

Como exemplo da utilização de médias de *ensemble* podem-se citar os métodos **bagging** (BREIMAN, 1994), **arcing** (BREIMAN, 1996) e **boosting** (MEIR; RÄTSCH, 2003).

O **bagging** (do inglês “**B**ootstrap **A**ggregating”) foi desenvolvido por Leo Breiman da Universidade da Califórnia (EUA) e consiste na obtenção de uma resposta através da média de *ensemble* de diversas redes neurais cujos conjuntos de treinamento foram obtidos a partir da técnica **bootstrap** (BREIMAN, 1994). O **bootstrap** consiste na obtenção de estatísticas diversas (como a média, variância ou desvio-padrão) através da aplicação dos métodos estatísticos tradicionais, de inferência e estimação, a diversos conjuntos de dados, obtidos a partir de um único conjunto original mediante sorteio com reposição das amostras (EFRON; TIBSHIRANI, 1993). A vantagem de utilizar o **bootstrap** é que não é necessário saber alguma informação *a priori* sobre o tipo de distribuição a que as amostras pertencem. A desvantagem inicial do **bootstrap**, que era a necessidade de manipulação de uma grande quantidade de dados, atualmente pode ser minimizada devido à grande capacidade de processamento dos computadores pessoais modernos.

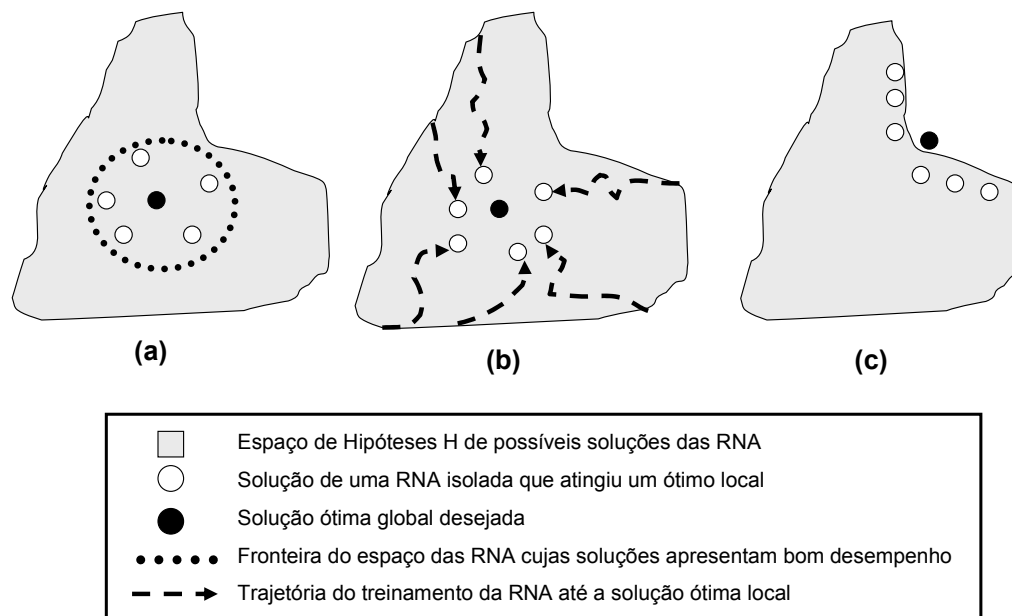


Figura 3.9 – Três razões fundamentais para o emprego de um *ensemble*: (a) estatística; (b) computacional; (c) representacional (modificado de LIMA, 2004).

Em Lima (2004) pode-se encontrar um resumo para orientar a aplicação da técnica *bagging* para um conjunto original de dados com N amostras, que irão gerar M réplicas *bootstrap*:

- a) Sejam $\{P(1), \dots, P(N)\}$ as probabilidades definidas para cada uma das N amostras de treinamento;
- b) Tome inicialmente $P(i) = 1/N$, $i=1, \dots, N$;
- c) Para $j = 1, \dots, M$ faça:
 1. Gere um conjunto de treinamento contendo N amostras, utilizando as probabilidades $\{P(1), \dots, P(N)\}$ e realizando amostragem com reposição;
 2. Realize o treinamento do j -ésimo componente a ser agregado;
- d) Fim.

Breiman (1994) sugere que, para os casos de regressão, 25 é um valor razoável para o número de réplicas *bootstrap*, pois verificou não haver melhorias nos resultados (apenas gasto de recursos computacionais) com valores superiores deste parâmetro.

As técnicas **arcing** (acrônimo de “**Adaptative Resampling and Combining**”, ou combinação e reamostragem adaptativa) e **boosting** (proveniente do inglês “*boost*”, que quer dizer reforçar) são adaptações do *bagging*, com apenas algumas diferenças:

- Na técnica *arcing*, não haverá sempre a mesma probabilidade ($P = 1/N$) para cada uma das N amostras de um conjunto de treinamento, pois esta probabilidade irá aumentar para aquelas amostras que apresentaram maior erro absoluto em relação à resposta da rede neural treinada com a réplica bootstrap anterior (BREIMAN, 1996);
- Na técnica *boosting*, a resposta final será dada por uma média ponderada de *ensemble* entre as RNA treinadas com as réplicas bootstrap, de tal modo que os maiores pesos serão atribuídos às RNA que apresentem o menor erro absoluto em relação às amostras de teste (MEIR; RÄTSCH, 2003).

Como se pode perceber o objetivo do *arcing* e do *boosting* é melhorar ainda mais o desempenho do *bagging*, através do aumento da ênfase de treinamento nas amostras mais problemáticas, ou seja, cuja inclusão no modelamento final seja mais difícil.

3.3. Redes neurais artificiais e a aquisição de equipamentos médicos:

Segundo Michael Tomasello do Instituto Max Planck para Antropologia Evolucionária em Leipzig - Alemanha, os seres humanos são capazes de combinar seus recursos cognitivos de maneiras diferentes das de outras espécies animais, podendo aprender fatos novos não só com as próprias experiências, mas também com as vivências alheias (TOMASELLO, 2003). Isso é possível devido aos três tipos básicos de aprendizagem cultural: aprendizagem por imitação; aprendizagem por instrução e aprendizagem por colaboração (TOMASELLO et al., 1993 apud TOMASELLO, 2003, p.6-7).

Por isso, seria particularmente útil, a implementação de ferramentas computacionais que pudessem representar e passar adiante experiências prévias de outros seres humanos, dispensando assim, ou pelo menos minimizando, a necessidade de que alguém tenha de repetir todas as experiências (sucessos e fracassos) de outros para adquirir conhecimentos similares.

Nesse contexto, a utilização de redes neurais artificiais é uma alternativa viável para fazer a representação computacional do conhecimento humano. Isso vai ao encontro da opinião do psicólogo e cientista cognitivo do MIT (*Massachusetts Institute of Technology* nos EUA) Steven Pinker (PINKER, 2004, p.124):

“É a estruturação de redes (neurais) em programas para manipular símbolos que explica boa parte da inteligência humana. Em particular, a manipulação de símbolos fundamenta a linguagem humana e as partes do raciocínio que interagem com ela.”

Especificamente, sobre o assunto “ferramentas computacionais para aquisição de equipamentos médicos no Brasil”, foram encontrados alguns trabalhos na literatura:

- em dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Vergara (1999) desenvolveu um *software* de apoio na aquisição de equipamentos médicos chamado de S3ET, o qual foi composto por um banco de dados e de um módulo especialista desenvolvido com o uso de um Shell (o ExSinta, que foi criado na Universidade Federal do Ceará - UFC);
- em tese de doutorado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Müller Jr. (2000) desenvolveu um sistema de apoio ao planejamento de serviços hospitalares e especificação de equipamentos médicos, chamado de SAPSAS, que foi elaborado em linguagem Delphi;
- em monografia de conclusão de curso de graduação na Universidade Estadual de Londrina (UEL), Silva Jr. (2004) desenvolveu um *software* para especificação técnica de equipamentos médicos (chamado de SOLICITMED), que foi escrito na linguagem C++.

Todos esses trabalhos basearam-se em ferramentas computacionais. Neles o usuário tinha que fornecer (ou escolher a partir de menus com informações previamente incorporadas aos programas) as especificações do equipamento médico desejado. Assim, estes trabalhos são de extrema valia para usuários experientes, que conhecem bem a área de tecnologias médico-hospitalares. Entretanto, o mesmo não se aplicará a usuários com pouca experiência, os quais necessitariam de informações mais trabalhadas (de preferência obtidas através de consultas a especialistas mais experientes na área de engenharia clínica).

Como visto no capítulo 2, uma boa parte das instituições de saúde brasileiras (principalmente as de pequeno e médio porte) não realiza um adequado gerenciamento do seu parque tecnológico instalado, devido à impossibilidade financeira de arcar com os custos de manutenção e operação dos equipamentos médicos muitas vezes mal-especificados. Isso indica ausência de profissionais habilitados para lidar com estas questões, provavelmente devido a problemas como dificuldades financeiras, burocracia, e até à falta de visão dos administradores hospitalares, para contratar profissionais experientes.

Nesse contexto, o desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio à aquisição de equipamentos médicos, que possam também representar o conhecimento de profissionais experientes, representaria um avanço em relação aos *softwares* de apoio descritos anteriormente. Logo, a utilização de modelos computacionais conexionistas (ou seja, baseados em redes neurais artificiais) se mostra como uma alternativa promissora para representar o conhecimento de profissionais experientes em aquisição de equipamentos médicos, pois:

- a avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos pode ser caracterizada como um problema de classificação de padrões (separação das propostas em categorias, tais como: ótima, boa, regular, ruim);
- a avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos é uma atividade humana que consiste em um processo de tomada de decisões;
- as redes neurais artificiais são ferramentas muito utilizadas na classificação de padrões e na emulação de atividades humanas²;

² Obtenção de modelos para a atuação do ser humano, a partir de amostras de entrada-saída contendo no vetor de entrada um conjunto de informações recebidas e no vetor de saída as respectivas ações tomadas pelo ser humano com base nas informações recebidas (VON ZUBEN, 2003).

- a aprendizagem das redes neurais pode ser feita através de exemplos, que podem ser construídos através da normalização de dados provenientes de planilhas de avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos.

Por isso, neste trabalho de tese, é proposto um estudo para verificar a possibilidade de representação efetiva do conhecimento de especialistas em engenharia clínica sobre o tópico “aquisição de equipamentos médicos”, através de redes neurais artificiais, para complementar com uma contribuição inédita os trabalhos já desenvolvidos nesta área.

4. Metodologia

Em trabalho anterior (RAMÍREZ et al., 2001), foi apresentada uma planilha para avaliação de propostas de fornecimento de bombas infusoras durante uma licitação (vide parte desta planilha na Figura 2.21 do capítulo 2). Nessa planilha, todos os itens da especificação foram agrupados nos fatores custo, desempenho e ergonomia, que receberam arbitrariamente os pesos 4, 4 e 2 para o cálculo da nota final. Este trabalho mostrou a necessidade de estabelecer os valores reais dos pesos para cada um dos fatores, pois isto afetaria significativamente o resultado da avaliação. Assim, foi feita uma pesquisa com diversos profissionais brasileiros, que resultou nos trabalhos mostrados nos Apêndices A, B e C desta tese:

- Ramírez et al. (2003): é mostrado um estudo-piloto, onde são treinadas diversas redes neurais artificiais com as respostas (N = 60 exemplos) de três engenheiros clínicos brasileiros, que tinham atribuído notas finais a uma planilha com propostas fictícias de aquisição de equipamentos;
- Ramírez et al. (2004): as redes neurais artificiais obtidas no estudo-piloto são treinadas novamente, mas desta vez utilizando-se as respostas de uma consulta mais ampla (N = 220 exemplos) feita com 15 engenheiros clínicos de diversas regiões do país;
- Ramírez; Calil (2004): as mesmas redes neurais obtidas em Ramírez et al. (2004) são treinadas de novo com as respostas (N = 280 exemplos) de 23 gestores hospitalares do

Estado do Paraná, e suas respostas são comparadas com as respostas dos engenheiros clínicos do estudo anterior.

A planilha utilizada para realizar os trabalhos dos Apêndices A, B e C é mostrada no Apêndice D.

Após esses trabalhos, chegou-se às seguintes conclusões:

- apesar de algumas flutuações nas notas finais, verificou-se que a maneira de pensar (refletida nas correlações das respostas) é semelhante em especialistas do mesmo grupo e com formação semelhante (no caso específico dos engenheiros clínicos), mas pode variar ligeiramente dependendo da formação e experiência dos especialistas pesquisados (aparecimento de ruído um pouco maior entre as respostas dos especialistas do grupo de gestores de saúde, que possuía profissionais com perfis mais diversificados);
- a aproximação da função “nota final” por uma função linear (média ponderada) não introduz um erro significativo, que possa alterar a tomada de decisão dos grupos de especialistas estudados;
- foi notória a variação do perfil dos profissionais envolvidos, principalmente quando comparada a diferença de ênfase que cada grupo deu aos fatores custo, desempenho e ergonomia, sendo os dois primeiros fatores mais importantes para os engenheiros clínicos, e os dois últimos considerados mais importantes para os gestores de saúde. Isso é fácil de ser entendido devido ao grupo de gestores de saúde ter majoritariamente componentes que também eram usuários dos equipamentos (médicos, enfermeiras, dentistas e fisioterapeutas).

Entretanto, ainda restaram algumas questões:

- os fatores custo, desempenho e ergonomia são suficientes e adequados para avaliação das propostas de fornecimento de equipamentos médicos?
- os valores dos pesos encontrados para os fatores custo, desempenho e ergonomia podem divergir se forem utilizados diferentes tipos de equipamentos com diferentes graus de importância e risco?

A fim de responder a estas questões, decidiu-se reformular o estudo inicial, utilizando-se o mesmo sistema de consultas a um número maior de engenheiros clínicos brasileiros. Assim, neste capítulo é detalhada a metodologia utilizada para este novo estudo, que é composta por cinco seções:

- Considerações iniciais (4.1);
- Definição dos critérios envolvidos na avaliação de propostas (4.2)
- Aquisição do conhecimento dos especialistas (4.3);
- Análise das respostas recebidas (4.4);
- Treinamento e teste das RNA (4.5).

4.1. Considerações iniciais

Para ser coerente com os trabalhos anteriores já desenvolvidos (RAMÍREZ et al. 2003, RAMÍREZ et al. 2004; RAMÍREZ; CALIL, 2004), nesta tese serão utilizadas as definições de “fator” e “critério” encontradas no dicionário “Novo Aurélio Século XXI” (FERREIRA, 1999):

- Fator: aquilo que contribui para um resultado; matemática: cada um dos elementos submetidos à operação de produto (parcela);
- Critério: aquilo que serve de base para comparação, julgamento ou apreciação; princípio que permite distinguir o erro da verdade; discernimento, circunspeção, prudência; modo de apreciar as coisas e/ou pessoas; filosofia: caráter, norma ou modelo que serve para a apreciação de um objeto (coisa, idéia, acontecimento).

Dentre esses termos, a palavra “fator” terá sentido mais matemático (“aquilo que contribui para um resultado”), ou seja, será adequada quando se estiver pensando no cálculo da Nota Final de uma proposta de fornecimento de equipamentos médicos. Já o contrário pode-se dizer da palavra “critério”, cuja definição (“aquilo que serve de base para comparação, julgamento ou apreciação”) está mais relacionada com a terminologia encontrada na consultar à literatura citada no capítulo 2. Por isso, nesta tese quando se utilizar a palavra **fator**, se estará referindo a um **conjunto de critérios**, os quais após a sua avaliação permitirão ao engenheiro dar uma nota (entre 0 e 10) para uma determinada proposta segundo esse determinado fator.

De acordo com os resultados encontrados em Ramírez et al. (2003); (2004) e em Ramírez; Calil (2004), o modelo geral mais adequado ao processo de avaliação de propostas

– no caso de utilização dos fatores custo, desempenho e ergonomia – por parte dos engenheiros clínicos pesquisados é a expressão linear mostrada na Equação 4.1.

$$Nota\ Final_{EC} \cong -1,39 + 0,56 \cdot Custo + 0,55 \cdot Desempenho + 0,21 \cdot Ergonomia \quad (4.1)$$

Como o valor constante não possui sentido prático (apenas matemático) durante a análise de propostas, pode-se retirá-lo da Equação 4.1. Adicionalmente, se for feita uma normalização dos pesos, em que estes se dividem pela sua soma total, será encontrada a Equação 4.2.

$$Nota\ Final_{EC} \cong 0,42 \cdot Custo + 0,42 \cdot Desempenho + 0,16 \cdot Ergonomia \quad (4.2)$$

Ou seja, os pesos dos fatores custo, desempenho e ergonomia estão bem próximos de 4, 4 e 2 respectivamente, que são os pesos atribuídos em Ramírez et al. (2001).

A partir dessas evidências será adotado o modelo linear (média ponderada) para determinação da nota final de uma proposta de aquisição de equipamentos médicos. Outra justificativa para esta decisão, está em que isto vai ao encontro das metodologias citadas no capítulo 2 desta tese. Assim, o modelo geral a ser adotado é mostrado na Equação 4.3.

$$NF_{EC} \cong \sum_{j=1}^n P_j \times F_j \quad (4.3)$$

Onde:

NF_{EC} = Nota final atribuída por um engenheiro clínico (EC) a uma determinada proposta de fornecimento de equipamento médico;

F_j = Nota obtida através da análise da proposta segundo o fator j ;

P_j = Peso normalizado do fator j para obtenção da nota final;

n = número de fatores utilizados.

O próximo passo é determinar quais dos fatores e critérios, mostrados na tabela 2.6 (capítulo 2), serão utilizados no modelo geral (Equação 4.3) para avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos. Além disso, será investigado como os pesos desses fatores se comportarão, de acordo com o perfil do profissional consultado e de acordo com a importância e o risco envolvido na utilização do equipamento médico que está sendo avaliado.

4.2. Definição dos critérios envolvidos na avaliação de propostas

A partir da Tabela 2.6 mostrada no capítulo 2, pode-se perceber que não há um consenso, entre os diversos autores da área de engenharia clínica, para definir quais fatores e critérios devem ser utilizados para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos. Entretanto, sejam quais forem os critérios sugeridos, pode-se perceber que todas as metodologias possuem critérios que se encaixam dentro dos seguintes grupos:

- critérios relacionados ao custo do ciclo de vida do equipamento médico no hospital (custos de aquisição, instalação, operação, limpeza, manutenção, de peças de reposição, dos acessórios e dos equipamentos de teste);
- critérios relacionados ao desempenho técnico do equipamento, ou seja, critérios que reflitam um bom projeto do equipamento de maneira a diminuir a necessidade de manutenção (facilidade de manutenção, desempenho técnico, pouca necessidade de manutenção, projeto e opções estruturais, montagem, carcaça);
- critérios relacionados ao desempenho clínico do equipamento, ou seja, critérios que reflitam um bom projeto do equipamento de maneira a facilitar e dar confiança durante a sua utilização (ergonomia, operacionalidade, eficácia, experiência do usuário, conforto do usuário, facilidade de uso/operação, apresentação do display, resultados clínicos);
- critérios diretamente relacionados à proteção dos operadores e pacientes do equipamento (risco, segurança, alarmes presentes, normas universalmente aceitas, segurança elétrica e baterias);
- critérios relacionados às características mais subjetivas, mas nem por isso menos importantes, do equipamento (qualidade, padronização/intercambiabilidade, experiência anterior com o fornecedor, garantia e assistência técnica).

Então, concluiu-se que para facilitar a comunicação com os especialistas, a fim de poder buscar um modelo de RNA para tomada de decisão, não seria necessário, muito menos útil, propor dezenas de critérios avulsos, mas sim apenas alguns fatores, os quais poderiam corresponder aos grupos de critérios citados anteriormente. Por isso, nesta tese são utilizados os cinco fatores a saber:

- Fator Clínico, que engloba todos os critérios relacionados ao desempenho clínico do equipamento médico;
- Fator Financeiro, que abrange todos os critérios relacionados aos custos do ciclo de vida do equipamento médico;
- Fator Qualidade, que engloba todos os critérios relacionados às características mais subjetivas do equipamento médico;
- Fator Segurança, que compreende todos os critérios diretamente relacionados à proteção dos operadores e pacientes do equipamento médico;
- Fator Técnico, que abrange todos os critérios relacionados ao desempenho técnico do equipamento médico.

Assim, para esta tese, a nota final de uma proposta para aquisição de equipamentos médicos foi dada pela equação 4.4. Isto facilitou a consulta aos engenheiros clínicos, os quais estão familiarizados com a utilização de médias ponderadas para fazer a avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos.

$$NF_{EC} \cong P_{CL} \cdot F_{CL} + P_F \cdot F_F + P_Q \cdot F_Q + P_S \cdot F_S + P_T \cdot F_T \quad (4.4)$$

Onde:

NF_{EC} = Nota final atribuída por um engenheiro clínico (EC) a uma determinada proposta de fornecimento de equipamento médico;

F_{CL} = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator clínico;

P_{CL} = Peso normalizado do fator clínico para obtenção da nota final;

F_F = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator financeiro;

P_F = Peso normalizado do fator financeiro para obtenção da nota final;

F_Q = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator qualidade;

P_Q = Peso normalizado do fator qualidade para obtenção da nota final;

F_S = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator segurança;

P_S = Peso normalizado do fator segurança para obtenção da nota final;

F_T = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator técnico;

P_T = Peso normalizado do fator técnico para obtenção da nota final;

Assim, as redes neurais artificiais serão utilizadas para fazer a verificação, e modelagem, da variação dos pesos dos cinco fatores da Equação 4.4, de acordo com o tipo de equipamento médico utilizado.

4.3. Aquisição do conhecimento dos especialistas

Para fazer a aquisição do conhecimento dos engenheiros clínicos sobre o assunto “Avaliação de Propostas para Aquisição de Equipamentos Médicos” foram estudados diversos métodos, os quais são mostrados na Tabela 4.1 a seguir.

Tabela 4.1 – Principais técnicas de aquisição do conhecimento (reproduzido de VERGARA, 1999, baseado em BRASIL, 1994a).

Método	Descrição
Observação	O especialista é observado durante o seu trabalho, o que dá uma visão realista de como ele trabalha. Este é, frequentemente, o primeiro passo na construção de uma base de conhecimento.
Entrevista com o especialista	Deve ser feita quando o elicitador já tem alguma familiaridade com o assunto. Uma entrevista deve ser planejada e incluir perguntas diretas e indiretas.
Análise de discurso	Consiste, essencialmente, em gravar a entrevista, com o especialista para depois analisar a conversação.
Discussão focalizada	É semelhante a uma entrevista, em que existe um ponto, o foco, em torno do qual são feitas as perguntas. Normalmente, é utilizada em uma fase avançada da elicitação do conhecimento e serve para esclarecer um ponto de dúvida.
Análise de protocolo	O elicitador cria um problema específico e pede ao especialista que vivencie a situação e resolva o problema.
Ordenamento de cartões	Pode-se escrever os elementos em pequenas fichas que são submetidas ao especialista para classificação. Espera-se que ele possa agrupar os cartões em pilhas, nomear cada pilha e justificar seu agrupamento.
Geração de matriz	Muitos especialistas costumam colocar suas informações em tabelas. Nesse caso, o exame dessas tabelas pode ajudar muito a elicitação.
Teachback	É a inversão de papéis. Nela, o elicitador “ensina” ao especialista algum aspecto do conhecimento previamente escolhido e tenta sintonizar o processo com o especialista. Deve ser usada nas fases finais da elicitação.

Entretanto, na opinião deste autor, nem todos esses métodos seriam viáveis para execução, pois:

- a observação, apesar de ser talvez o método mais direto (observar a atuação do engenheiro em campo) seria muito dispendioso em tempo e recursos financeiros (gastos com viagens, alimentação e hospedagem), visto que não é todo dia que um engenheiro clínico se depara com tarefas relacionadas ao assunto em questão;

- a entrevista com o especialista e a análise do discurso, apesar de demandarem menos tempo, e do entrevistador (autor desta tese) ter uma boa familiaridade com o assunto, teriam os mesmos gastos de recursos financeiros que o método de observação. Além disso, nem sempre será fácil ao especialista, verbalizar a sua experiência adquirida em anos de prática da profissão, a qual poderá estar cheia de exceções e casos muito particulares;
- a discussão focalizada fica sem efeito se não tiver sido feita a entrevista com o especialista ou a análise do seu discurso;
- a geração de matriz (análise das anotações particulares dos especialistas que muitas vezes estão tabuladas ou organizadas em matrizes) será muito particular para cada especialista e não possibilitará uma “linguagem comum” que permita estabelecer um modelo de rede neural para tomada de decisão, que é o objetivo desta tese;
- o teachback, se colocado no início da pesquisa, poderá induzir o especialista a responder da mesma forma que o formulador da pesquisa pensa.

Diante do exposto, nesta tese, decidiu-se elaborar um questionário para consulta aos especialistas baseado na análise de protocolo e no ordenamento de cartões, pois estes métodos:

- permitem o estabelecimento de uma base comum de conceitos entre o elicitador e os especialistas, de forma a padronizar a comunicação entre eles;
- possibilitam implementar a consulta por via remota (e-mail), sem a necessidade de gastos com viagens ou estadias, permitindo a consulta simultânea a dezenas de especialistas (isso representaria também uma economia de tempo);

- não induzem as respostas dos especialistas deixando-os à vontade para responder ao questionário (sem a figura do entrevistador por perto e com tempo para escolher a melhor resposta, pois o questionário não precisa ser respondido imediatamente);
- deixam as consultas praticamente no formato desejado para treinar redes neurais artificiais (entradas = dados dos problemas; saídas = respostas dos especialistas).

4.3.1. Elaboração do questionário

Para a elaboração do questionário foram estabelecidas as seguintes premissas¹:

- os engenheiros clínicos geralmente são muito ocupados, pois precisam estar circulando continuamente pelo hospital para resolver problemas rapidamente e no local. Por isso, o questionário não poderia ser demasiadamente extenso ou enfadonho, para minimizar o risco de não ser respondido;
- cada indivíduo, possui um conjunto diverso e rico de experiências pessoais e profissionais. Por isso, o questionário deveria:
 - deixar os conceitos utilizados de forma bastante clara para não permitir interpretações dúbias, que poderiam inviabilizar o estabelecimento de um modelo comum que abranja o maior número possível de respostas;
 - possuir uma parte dedicada a levantar o perfil de cada profissional consultado, para que isto permita delimitar os domínios do(s) modelo(s) encontrado(s).

Elaborou-se, assim, uma série de alternativas (vide Apêndice D) para o questionário que seria mandado aos especialistas. A versão final deste questionário (vide

¹ Estas condições foram vivenciadas pelo autor desta tese ao trabalhar em um hospital universitário de 300 leitos. Esta experiência é relatada em Ramírez (2002).

Figuras 4.1 a 4.3), o qual consistiu em um pequeno arquivo do *Microsoft Word*© com 65 kB de tamanho e 3 páginas apenas, foi composta pelas seguintes partes:

- Parte 1: informações gerais sobre o profissional consultado (formação, tempo de experiência, local de trabalho, natureza do trabalho, etc.) para levantar o seu perfil profissional (vide Figura 4.1). Teve-se o cuidado de colocar nesta parte apenas perguntas que seriam fáceis de serem respondidas (escolha de alternativas, ou preenchimento de poucos campos numéricos) para colher as informações que fossem realmente essenciais;
- Parte 2: lista de 20 critérios, escolhidos entre os mostrados na Tabela 2.6, que deveriam ser colocados em ordem de importância (vide Figura 4.2), para possibilitar a seleção dos questionários a serem utilizados para o treinamento das redes neurais artificiais;
- Parte 3: planilha onde deveria ser fornecida a opinião do engenheiro clínico consultado sobre o nível de importância dos cinco fatores definidos anteriormente (clínico, financeiro, qualidade, segurança e técnico), durante o processo de avaliação para aquisição de alguns equipamentos médico-hospitalares, escolhidos pelo autor da pesquisa (vide Figura 4.3).

Como as partes 2 e 3 do questionário eram mais cansativas, procurou-se:

- colocá-las no final para não desestimular os profissionais consultados;
- colocar dados que requeressem poucas definições *a priori* para resolver o problema. Por isso, optou-se por colocar os dados em forma de planilhas ou tabelas;
- exigir respostas na forma numérica (atribuição de notas, pesos ou ordens de prioridade).

Parte 1 de 3:

Favor preencher o formulário abaixo:

a)Tempo de Experiência na área de Engenharia Clínica:

b)Tipo da sua instituição de trabalho: ()Hospital ()Empresaprestadora de serviços de Engenharia Clínica ()Outro: _____

c)Natureza da instituição: ()Pública ()Privada ()Mista

d)Especifique o número aproximado de leitos da sua instituição de trabalho = leitos

Figura 4.1 – Versão final da parte 1 do questionário para avaliação do perfil dos especialistas a serem consultados.

Parte 2 de 3:

Os critérios, mostrados na tabela abaixo, são alguns normalmente utilizados para a classificação de propostas de fornecimento de equipamentos. Pedimos a gentileza de classificar a sua importância de acordo com o seu ponto-de-vista. Para isso, utilize uma escala numérica entre 1 e 5, onde 1 representará o(s) critério(s) mais importante(s), e 5 o(s) de menor importância.

CRITÉRIOS	Prioridade
1) Adequação do equipamento à finalidade clínica desejada (faixas dos parâmetros, ambiente de utilização, etc.)	
2) Adequação do equipamento às normas de segurança nacionais (necessidade de certificação do equipamento)	
3) Capacidade do equipamento fornecer leituras/medidas com erro baixo	
4) Confiabilidade (equipamento requer pouca manutenção)	
5) Custo de aquisição do equipamento (preço do equipamento)	
6) Custo de instalação (equipamentos de suporte e infra-estrutura predial necessários)	
7) Custo de manutenção corretiva e preventiva (mão-de-obra e peças de reposição), seja ela própria ou terceirizada	
8) Custo de operação (mão-de-obra e insumos)	
9) Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos em manutenção e qualidade do treinamento oferecido	
10) Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos operacionais e qualidade do treinamento oferecido	
11) Duração da garantia oferecida	
12) Facilidade de obtenção de manuais e/ou esquemas técnicos e de peças de reposição (quando a manutenção for própria)	
13) Facilidade de operação do equipamento (peso, clareza dos manuais, disposição/visualização dos botões/displays, etc.)	
14) Facilidade de realização de manutenção devido a um bom projeto do equipamento	
15) Familiaridade dos usuários com o equipamento	
16) Padronização (compatibilidade do equipamento com as edificações e o parque tecnológico já instalado no hospital)	
17) Presença de acessórios adicionais além dos pedidos nas especificações mínimas	
18) Presença de dispositivos adicionais de segurança (travas, alarmes, etc.) além dos obrigatórios por norma	
19) Rapidez e eficiência da assistência técnica (quando a manutenção for terceirizada)	
20) Reputação e referências do fornecedor	

Figura 4.2 – Versão final da parte 2 do questionário, para saber como os especialistas a serem consultados priorizariam os critérios sugeridos para avaliação de uma proposta de venda de um equipamento médico-hospitalar.

Parte 3 de 3:

Em um processo de aquisição de um equipamento médico, durante o julgamento das propostas que atendem às especificações mínimas, é utilizada uma média ponderada para determinar a nota final de cada proposta. Para isso é utilizado um sistema de avaliação para diversos critérios, que são mostrados na tabela abaixo:

Critérios considerados pela comissão de aquisição do hospital para atribuir as notas das propostas

Critérios Clínicos	Critérios Financeiros	Critérios de Qualidade	Critérios de Segurança	Critérios Técnicos
<ul style="list-style-type: none"> • Adequação do equipamento à finalidade clínica desejada (faixas dos parâmetros, ambiente de utilização, etc.) • Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos operacionais e qualidade do treinamento oferecido • Facilidade de operação do equipamento (peso, clareza dos manuais, disposição/visualização dos botões/displays, etc.) • Familiaridade dos usuários com o equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo de aquisição do equipamento (preço do equipamento) • Custo de instalação (equipamentos de suporte e infra-estrutura predial necessários) • Custo de operação (mão-de-obra e insumos) • Custo de manutenção corretiva e preventiva (mão-de-obra e peças de reposição), seja ela própria ou terceirizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Duração da garantia oferecida • Padronização (compatibilidade do equipamento com as edificações e o parque tecnológico já instalado no hospital) • Presença de acessórios adicionais além dos pedidos nas especificações mínimas • Rapidez e eficiência da assistência técnica (quando a manutenção for terceirizada) • Reputação e referências do fornecedor 	<ul style="list-style-type: none"> • Adequação do equipamento às normas de segurança nacionais (necessidade de certificação do equipamento) • Presença de dispositivos adicionais de segurança (travas, alarmes, etc.) além dos obrigatórios por norma 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade do equipamento para fornecer leituras/medidas com erro baixo • Confiabilidade (equipamento requer pouca manutenção) • Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos em manutenção e qualidade do treinamento oferecido • Facilidade de obtenção de manuais e/ou esquemas técnicos e de peças de reposição (quando a manutenção for própria) • Facilidade de realização de manutenção devido a um bom projeto do equipamento

Assim, pede-se que você sugira a importância desses critérios (com valores entre 1 e 3, sendo 1 para os mais importantes e 3 para os menos importantes) a serem utilizados durante a aquisição dos equipamentos médicos mostrados na tabela abaixo.

Equipamento	Importância dos Critérios				
	Clínicos	Financeiros	Qualidade	Segurança	Técnicos
*					
*					
*					
*					
*					

Figura 4.3 – Versão final da parte 3 do questionário para verificar as notas que os especialistas atribuiriam para cada critério, de acordo com o equipamento avaliado. Nos campos marcados com asterisco (*) foram colocados equipamentos sorteados de uma lista de 55 equipamentos comumente encontrados em hospitais (vide Tabela 4.3).

A colocação de diversos equipamentos mostrada na Figura 4.3 teve o propósito de verificar se as respostas mudariam de acordo com o tipo de equipamento avaliado. Ela foi elaborada seguindo os passos:

- escolha dos equipamentos médicos que constariam da consulta aos especialistas;
- agrupamento dos equipamentos médicos escolhidos em conjuntos de cinco elementos para constarem dos questionários enviados aos especialistas.

Nas subseções seguintes (4.3.2 e 4.3.3), esses passos são descritos detalhadamente.

4.3.2. Escolha dos equipamentos médicos

Inicialmente, foi feita uma junção dos equipamentos médicos presentes em três listas encontradas na literatura nacional (CALIL; TEIXEIRA, 1998; ANTUNES et al., 2002; FERREYRA RAMIREZ et al., 2002), perfazendo um total de 149 equipamentos diferentes, conforme pode ser visto na Tabela 4.2.

Decidiu-se enviar o questionário descrito na seção 4.3.1 para 55 engenheiros clínicos atuantes em diversas regiões do Brasil (Sudeste, Sul e Nordeste). Como se desejava que cada engenheiro consultado desse a sua opinião na parte 3 do questionário para cinco equipamentos diferentes (vide Figura 4.3), seria possível utilizar $5 \times 55 = 275$ equipamentos médicos diferentes, caso todos os engenheiros consultados respondessem ao questionário. Logo, em princípio, não haveria problema em utilizar todos os 149 equipamentos da lista mostrada na Tabela 4.2. Entretanto, estatisticamente falando, poderia haver problemas, pois é desejável haver respostas de diversos engenheiros para um mesmo equipamento, a fim de se evitarem possíveis distorções que poderiam ser causadas por respostas muito destoantes (“*outliers*”) da opinião da maioria dos engenheiros consultados.

Assim, dos 149 equipamentos médicos da Tabela 4.2 foram escolhidos 55 equipamentos médicos (vide Tabela 4.3) para constarem no questionário enviado aos engenheiros clínicos. Para isso, foram incluídos na lista equipamentos comumente encontrados em hospitais brasileiros. Dessa maneira, como cada engenheiro deveria responder à parte 3 do questionário para cinco equipamentos diferentes, garantiu-se que haveria respostas de diversos engenheiros para um mesmo equipamento médico.

Tabela 4.2 – Lista de equipamentos comumente encontrados em hospitais (obtida de CALIL; TEIXEIRA, 1998; ANTUNES et al., 2002; FERREYRA RAMIREZ et al., 2002).

acelerador linear	centrífuga refrigerada	maca
agitador (laboratório)	ceratômetro	mamógrafo
amalgamador	colonoscópio	marcapasso externo
amnioscópio	colposcópio	medidor de débito cardíaco
analisador biológico automática	coluna pantográfica	mesa cirúrgica
analisador de função pulmonar	compressor para central de gases	micromotor para equipo
analisador de oxigênio	compressor para equipo	odontológico
aparelho de fototerapia	odontológico	microscópio analítico
aparelho de gasometria	compressor para inalação	microscópio cirúrgico
aparelho de raios-x	condicionador de temperatura	micrótomo
aparelho de raios-x odontológico	contador de células	monitor cardíaco (monitor de
aparelho de ultra-sonografia para	decibelímetro	ECG)
diagnóstico	desfibrilador/cardioversor	monitor de pressão não-invasivo
aparelho de ultra-sonografia para	destilador	monitor de radiação (radiômetro p/
monitoração	detector fetal	fototerapia)
aparelho de ultra-sonografia para	disco esquiástico	monitor de temperatura
terapia	eletrocardiógrafo (ecg)	monitor fetal intraparto
aquecedores de sangue	eletrocautério	monitor multiparamétrico
arco cirúrgico	eletroencefalógrafo (eeg)	nebulizador/umidificador
aspirador cirúrgico (elétrico)	eletromiógrafo (emg)	negatoscópio
aspirador torácico	endoscópio	oftalmoscópio
aspirador uterino	equipamento de esterilização a	otoscópio
aspiradores (emergência e	gás	oxicapnógrafo
traqueal)	equipamento de esterilização a	oxímetro de pulso
audiômetro	vapor	processadora de filmes
autoclave	equipamento de vídeo	radiográficos
balança analítica (laboratório)	equipo odontológico	projedor de optótipos
balança antropométrica adulto	esfigmomanômetro	projedor de slides
balança antropométrica infantil	espectrofotômetro	refratômetro ou refrator
balança eletrônica	estetoscópio	refrigerador comum
balão intra-aórtico	estufa	refrigerador para bolsas de
banho-maria	fluxômetro	sangue
bebedouro	foco cirúrgico de teto	régua esquiascópica
berço aquecido	foco portátil	ressonância nuclear magnética
bicicleta ergométrica	fonocardiógrafo	retinoscópio
bilírrubinômetro	forno de bier	retossigmoidoscópio
bisturi elétrico	freezer para congelamento de	secadora de roupa (lavanderia)
bomba de cobalto	bolsas de plasma	serra de gesso
bomba de infusão	gama câmara	sistema de hemodinâmica
bomba de infusão de seringa	grupo gerador	sistema de litotripsia
bomba de vácuo	hemodialisador peritoneal	extracorpórea
bronscópio	hemoglobinômetro	sistema de tomografia
cadeira de rodas	holter ecg	computadorizada por r-x
caixa de prova (oftalmoscopia)	homogeneizador de sangue	sistema de urodinâmica
calibrador de decibelímetro	incubadora neonatal	televisor
calorímetro	incubadora neonatal de transporte	termômetro de vidro
cama elétrica	insuflador de co ₂	termômetro eletrônico
caneta de alta rotação	lâmpada de fenda (biorrefrator)	tonômetro
capela de fluxo laminar	laringoscópio	transformador de energia elétrica
capnógrafo	laser cirúrgico	unidade de diatermia
cardiotocógrafo	lensômetro	unidade de ondas curtas
carrinho de anestesia	litotriptor	unidade de potencial evocado
central de gases	luxímetro	válvula reguladora de gases
centrífuga	máquina de hemodiálise	medicinais
		ventilador (tipo eletrodoméstico)
		ventilador anestésico
		ventilador pulmonar (para terapia)

Tabela 4.3 – Lista de equipamentos utilizados para incluir no questionário de consulta aos engenheiros clínicos.

Equipamento
1. acelerador linear
2. aparelho de fototerapia
3. aparelho de gasometria/ analisador sanguíneo/ analisador bioquímico
4. aparelho de ultra-som para diagnóstico
5. aspirador cirúrgico (elétrico)
6. autoclave horizontal para central de material esterilizado
7. balança analítica (laboratório)
8. balança antropométrica adulto para a enfermaria masculina
9. balança antropométrica infantil para o berçário
10. bilirrubinômetro
11. bisturi elétrico
12. bomba de infusão para uso em UTI pediátrica
13. broncoscópio
14. cadeira de rodas
15. cama elétrica
16. cardiotocógrafo
17. carrinho de anestesia
18. central de gases medicinais
19. centrífuga refrigerada para bolsas de sangue
20. desfibrilador/cardioversor para ambulância (SIATE)
21. eletrocardiógrafo (ECG) para consultório médico
22. eletroencefalógrafo (EEG)
23. eletromiógrafo (EMG)
24. endoscópio
25. esfigmomanômetro para sala de urgência do pronto-socorro
26. estetoscópio para consultório médico
27. foco cirúrgico de teto
28. foco de luz portátil para consultório médico
29. freezer para congelamento de bolsas de plasma
30. grupo gerador
31. incubadora neonatal
32. incubadora neonatal de transporte
33. laser cirúrgico
34. máquina de hemodiálise
35. mamógrafo
36. mesa cirúrgica
37. microscópio cirúrgico
38. monitor cardíaco para uso em UTI (monitor de ECG)
39. monitor de pressão não-invasivo para uso em centro cirúrgico
40. monitor de radiação (radiômetro para fototerapia)
41. monitor multiparamétrico com ECG, PA não-invasivo, SpO2 e temp.
42. negatoscópio para consultório médico
43. oxímetro de pulso para UTI
44. processadora de filmes radiográficos
45. refrigerador comum para copa do centro cirúrgico
46. refrigerador para bolsas de sangue
47. ressonância nuclear magnética
48. secadora de roupa (lavanderia)
49. serra de gesso
50. sistema de hemodinâmica
51. sistema de litotripsia extracorpórea
52. sistema de tomografia computadorizada por r-x
53. sistema de urodinâmica
54. televisor para a sala de espera no pronto-socorro
55. ventilador pulmonar para UTI

4.3.3. Geração dos conjuntos de equipamentos

Para fazer a geração dos conjuntos de equipamentos que seriam enviados aos especialistas, foi desenvolvido um programa (“listeq2.m” mostrado no apêndice F) na ferramenta computacional MATLAB® cujo algoritmo é descrito a seguir:

- a) Crie o vetor “lis1” composto por 55 números aleatórios obtidos de uma distribuição gaussiana qualquer com média zero;
- b) Crie o vetor “lis2” composto pelos números de 1 a 55 em ordem crescente;
- c) Ordene de maneira crescente os 55 elementos de “lis1” utilizando um algoritmo de ordenação², lembrando-se de repetir em “lis2” todas as mudanças de ordem dos elementos de “lis1”. Com isto, o vetor “lis2” apresentará os números de 1 a 55 distribuídos aleatoriamente;
- d) Crie o primeiro conjunto com os equipamentos correspondentes aos números dos primeiros cinco elementos do vetor “lis2”. Com os cinco elementos seguintes crie o segundo conjunto, e prossiga desta forma até criar 11 conjuntos de cinco equipamentos a partir do vetor “lis2”;
- e) Repita 4 vezes mais os procedimentos descritos nos passos de a) até d), para poder formar 11 conjuntos x 5 vezes = 55 conjuntos de cinco equipamentos diferentes conforme mostrado no apêndice F.

Como se pode perceber, nos passos de a) até e) citados anteriormente, a partir de sorteios sem reposição foram gerados 55 conjuntos, cada um contendo cinco equipamentos da lista da Tabela 4.3, para que cada um desses conjuntos fosse enviado a um engenheiro

² Nesta tese foi utilizado o algoritmo conhecido popularmente como “*Bubble-Sort*”, o qual consiste em comparar cada elemento do vetor com os seus respectivos elementos seguintes, e em seguida mudá-los de posição, de maneira que o menor elemento ocupe a primeira posição, e o maior elemento ocupe a última posição do vetor.

clínico diferente. Não houve reposição nos sorteios para que a frequência de cada equipamento na consulta aos especialistas fosse a mesma, ou seja, se todos os 55 engenheiros clínicos respondessem aos questionários, então haveria cinco respostas diferentes para cada um dos equipamentos mostrados na Tabela 4.3.

4.4. Análise das respostas recebidas

A análise das respostas recebidas foi feita através da utilização de:

- análise estatística descritiva (utilização de gráficos em pizza) da parte 1 do questionário para levantar o perfil profissional dos engenheiros clínicos que responderam à pesquisa;
- análise gráfica exploratória (traçado de “*boxplot*”) e testes de correlação nas respostas da parte 2 do questionário, para se ter uma idéia da natureza dos dados encontrados, verificando-se a presença de “*outliers*” e as tendências das respostas dos engenheiros clínicos consultados;
- treinamento de diversos modelos de redes neurais artificiais (modelos lineares e não-lineares, com até duas camadas escondidas) com as respostas à parte 3 do questionário, para verificar qual modelo é o mais apropriado para descrever o conjunto de dados obtido.

Ao contrário da análise das partes 1 e 2, cuja execução é quase imediata após o recebimento das respostas aos questionários, o treinamento das redes neurais artificiais (RNA) com as respostas à parte 3 do questionário requer a geração de um conjunto de amostras de treinamento, composta por exemplos de entradas e saídas. Para obter estes exemplos foram necessárias diversas etapas de pré-processamento das respostas recebidas:

- Classificação dos 55 equipamentos médicos da Tabela 4.3 para obter os parâmetros que serviriam como entradas das RNA. Nesta tese utilizou-se uma classificação de equipamentos sugerida por Ferreyra Ramírez (1996), na qual os equipamentos médicos são priorizados de acordo com o seu risco, custo e importância estratégica;

- associação de cada equipamento a um código de três números entre “-1” e “+1”, que representou a prioridade obtida por cada equipamento segundo o seu risco, custo e importância estratégica;
- normalização das respostas recebidas sobre a parte 3 do questionário para que elas fiquem entre “-1” e “+1”;
- geração do conjunto de amostras para treinamento das RNA, através da montagem dos exemplos com as entradas e as saídas normalizadas.

Essas etapas são explicadas detalhadamente nas subseções posteriores (4.4.1 a 4.4.6).

4.4.1. Classificação de risco dos equipamentos escolhidos

No intuito de fazer a classificação de risco dos 55 equipamentos médicos mostrados na Tabela 4.3 foram utilizadas as 25 regras (vide Apêndice E) sugeridas em portaria do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 1994b), para fins de certificação e registro de equipamentos médicos. Estas regras dividem os equipamentos médicos em três classes:

- Baixo Risco: produtos médicos que, por dispensarem o emprego de procedimentos e técnicas especiais de produção e cuidados ou precauções em seu uso ou aplicação, representam baixo risco intrínseco à saúde de seus usuários, sejam eles pacientes ou operadores;
- Médio Risco: produtos médicos que, apesar de dispensarem o emprego de procedimentos e técnicas especiais de produção, necessitam de cuidados ou precauções quanto a seu uso ou aplicação, por representarem médio risco intrínseco à saúde de seus usuários, sejam eles pacientes ou operadores;
- Alto Risco: produtos médicos que, por necessitarem do emprego de procedimentos e técnicas especiais de produção, bem como de cuidados ou precauções quanto a seu uso ou aplicação, representam alto risco intrínseco à saúde de seus usuários, sejam eles pacientes ou operadores.

Assim, por exemplo na Tabela 4.4, o foco cirúrgico de teto (equipamento nº 27), apesar de não ser um equipamento médico, mas sim de apoio médico-hospitalar, pode ser classificado como equipamento de alto risco, pois ele influi diretamente no desempenho dos equipamentos de terapia de alto risco, como o carrinho de anestesia e o bisturi elétrico, ou seja, ele se encaixa na regra 24 mostrada no Apêndice E.

Tabela 4.4 – Classificação de risco dos equipamentos médicos da Tabela 4.3 segundo as 25 regras de classificação mostradas no Apêndice E.

Equipamento	Regra(s) Aplicável(is)	Classificação de Risco
1. acelerador linear	22	Alto
2. aparelho de fototerapia	11	Médio
3. ap. de gasometria, analisador sanguíneo/bioquímico	8, 21	Alto
4. aparelho de ultra-som para diagnóstico	2	Baixo
5. aspirador cirúrgico (elétrico)	23	Alto
6. autoclave horizontal p/ central de material esterilizado	13	Médio
7. balança analítica (laboratório)	24	Alto
8. balança antropométrica adulto para a enf. masculina	2	Baixo
9. balança antropométrica infantil para o berçário	8	Médio
10. bilirrubinômetro	8	Médio
11. bisturi elétrico	22	Alto
12. bomba de infusão para uso em UTI pediátrica	4, 16	Alto
13. broncoscópio	23	Alto
14. cadeira de rodas	3	Baixo
15. cama elétrica	3	Baixo
16. cardiotocógrafo	8	Médio
17. carrinho de anestesia	23	Alto
18. central de gases medicinais	23	Alto
19. centrífuga refrigerada para bolsas de sangue	4	Médio
20. desfibrilador/cardioversor para ambulância (SIATE)	22	Alto
21. eletrocardiógrafo (ECG) para consultório médico	21	Alto
22. eletroencefalógrafo (EEG)	8	Médio
23. eletromiógrafo (EMG)	11	Médio
24. endoscópio	7	Médio
25. esfigmomanômetro para urgência do pronto-socorro	21	Alto
26. estetoscópio para consultório médico	3	Baixo
27. foco cirúrgico de teto	24	Alto
28. foco de luz portátil para consultório médico	3	Baixo
29. freezer para congelamento de bolsas de plasma	4	Médio
30. grupo gerador	24	Alto
31. incubadora neonatal	22	Alto
32. incubadora neonatal de transporte	22	Alto
33. laser cirúrgico	22	Alto
34. máquina de hemodiálise	18	Alto
35. mamógrafo	9	Médio
36. mesa cirúrgica	24	Alto
37. microscópio cirúrgico	17	Alto
38. monitor cardíaco para uso em UTI (monitor de ECG)	21	Alto
39. monitor de PA não-inv. p/ uso em centro cirúrgico	21	Alto
40. monitor de radiação (radiômetro para fototerapia)	24	Alto
41. monitor multiparam. ECG, PA não-inv., SpO2, temp.	21	Alto
42. negatoscópio para consultório médico	3	Baixo
43. oxímetro de pulso para UTI	21	Alto
44. processadora de filmes radiográficos	14	Médio
45. refrigerador comum para copa do centro cirúrgico	3	Baixo
46. refrigerador para bolsas de sangue	4	Médio
47. ressonância nuclear magnética	3	Baixo
48. secadora de roupa (lavanderia)	3	Baixo
49. serra de gesso	3	Baixo
50. sistema de hemodinâmica	17	Alto
51. sistema de litotripsia extracorpórea	22	Alto
52. sistema de tomografia computadorizada por r-x	2	Baixo
53. sistema de urodinâmica	1	Baixo
54. televisor para a sala de espera no pronto-socorro	3	Baixo
55. ventilador pulmonar para UTI	23	Alto

4.4.2. Classificação de custo dos equipamentos escolhidos

A classificação de custo dos equipamentos médicos mostrados na Tabela 4.3 foi realizada com base na estimativa dos valores de custo de aquisição desses equipamentos. Para isso, calculou-se a média simples entre o menor e o maior valor de cada um desses equipamentos constantes na publicação norte-americana “*Healthcare Product Comparison System*” do “*Emergency Care Institute*” (ECRI, 2004). Os preços de alguns equipamentos que não constavam nessa publicação foram obtidos de consultas diversas a engenheiros clínicos, a empresas que comercializavam esses equipamentos e a encartes em jornais (vide Tabela 4.5).

Em seguida, determinou-se o valor normalizado do custo de cada equipamento a partir da utilização da Equação 4.5.

$$Custo\ Normalizado_i = \frac{\log(Custo_i)}{\log(Custo_{Máx})} \cong \frac{\log(Custo_i)}{\log(2.000.000)} \quad (4.5)$$

Onde:

$Custo_i$ = Custo estimado (em US\$) do equipamento médico i ;

$Custo_{Máx}$ = Custo estimado (em US\$) do equipamento médico de maior valor (\cong US\$ 2.000.000,00);

$Custo\ Normalizado_i$ = Custo normalizado do equipamento médico i .

A Equação 4.5 permitiu normalizar os custos encontrados para valores entre 0 e 1, sem haver uma distância muito grande entre eles, o que facilitou o estabelecimento de faixas de custo. Por exemplo, conforme pode ser visto na Tabela 4.5, o menor custo normalizado foi +0,3 (esfigmomanômetro), enquanto o maior ficou em +1,0 (ressonância magnética).

Tabela 4.5 – Estimativa de custo dos equipamentos médicos da Tabela 4.3.

Equipamento	Custo* Aproximado(US\$)	Custo** Normalizado
1. acelerador linear	1.363.000,00 [1]	0,97
2. aparelho de fototerapia	2.569,502 [1]	0,54
3. aparelho de gasometria, analisador sanguíneo/bioquímico	32.187,50 [1]	0,72
4. aparelho de ultra-som para diagnóstico	182.961,00 [1]	0,84
5. aspirador cirúrgico (elétrico)	1.463,00 [1]	0,50
6. autoclave horizontal para central de material esterilizado	76.250,00 [1]	0,77
7. balança analítica (laboratório)	2.222,22 [2]	0,53
8. balança antropométrica adulto para a enf. masculina	666,67 [2]	0,45
9. balança antropométrica infantil para o berçário	666,67 [2]	0,45
10. bilirrubinômetro	3.336,50 [1]	0,56
11. bisturi elétrico	10.244,50 [1]	0,64
12. bomba de infusão para uso em UTI pediátrica	4.375,00 [1]	0,58
13. broncoscópio	15.700,00 [1]	0,67
14. cadeira de rodas	1.885,19 [3]	0,52
15. cama elétrica	8.445,50 [1]	0,62
16. cardiotocógrafo	2.660,00 [1]	0,54
17. carrinho de anestesia	41.096,00 [1]	0,73
18. central de gases medicinais	163.934,42 [4]	0,83
19. centrífuga refrigerada para bolsas de sangue	14.297,50 [1]	0,66
20. desfibrilador/cardioversor para ambulância (SIATE)	5.747,50 [1]	0,60
21. eletrocardiógrafo (ECG) para consultório médico	9.497,00 [1]	0,63
22. eletroencefalógrafo (EEG)	42.211,50 [1]	0,73
23. eletromiógrafo (EMG)	37.800,00 [1]	0,73
24. endoscópio	49.719,00 [1]	0,75
25. esfigmomanômetro para urgência do pronto-socorro	66,67 [2]	0,29
26. estetoscópio para consultório médico	444,44 [2]	0,42
27. foco cirúrgico de teto	17.473,00 [1]	0,67
28. foco de luz portátil para consultório médico	740,74 [2]	0,46
29. freezer para congelamento de bolsas de plasma	11.176,11 [2]	0,64
30. grupo gerador	185.185,19 [4]	0,84
31. incubadora neonatal	19.761,00 [1]	0,68
32. incubadora neonatal de transporte	19.761,00 [1]	0,68
33. laser cirúrgico	79.132,50 [1]	0,78
34. máquina de hemodiálise	20.846,50 [1]	0,69
35. mamógrafo	55.555,56 [2]	0,75
36. mesa cirúrgica	37.985,00 [1]	0,73
37. microscópio cirúrgico	145.530,00 [1]	0,82
38. monitor cardíaco para uso em UTI (monitor de ECG)	925,93 [2]	0,47
39. monitor de PA não-invasivo para uso em centro cirúrgico	4.650,00 [1]	0,58
40. monitor de radiação (radiômetro para fototerapia)	700,00 [4]	0,45
41. monitor multiparam. ECG, PA não-invasivo, SpO2 e temp.	13.022,00 [1]	0,65
42. negatoscópio para consultório médico	222,22 [2]	0,37
43. oxímetro de pulso para UTI	3.342,50 [1]	0,56
44. processadora de filmes radiográficos	19.007,50 [1]	0,68
45. refrigerador comum para copa do centro cirúrgico	332,96[5]	0,40
46. refrigerador para bolsas de sangue	12.038,50 [1]	0,65
47. ressonância nuclear magnética	1.987.500,00 [1]	1,00
48. secadora de roupa (lavanderia)	50.000,00 [1]	0,75
49. serra de gesso	333,33 [6]	0,40
50. sistema de hemodinâmica	841.036,22 [4]	0,94
51. sistema de litotripsia extracorpórea	457.500,00 [1]	0,90
52. sistema de tomografia computadorizada por r-x	1.137.500,00 [1]	0,96
53. sistema de urodinâmica	55.683,00 [1]	0,75
54. televisor para a sala de espera no pronto-socorro	221,85 [5]	0,37
55. ventilador pulmonar para UTI	21.330,00 [1]	0,69

Fontes: [1] ECRI; [2] Centro de Engenharia Biomédica / UNICAMP; [3] CENORT (fornecedor de equipamentos médicos em Londrina / PR); [4] Dados do Projeto REFORSUS-HURNP (Londrina / PR); [5] CASAS BAHIA (consulta a encarte de janeiro de 2005); [6] LOC-MED (fornecedor de equipamentos médicos em Londrina / PR).

Notas: (*) no caso dos equipamentos que não constavam em [1], o levantamento de preços foi feito em Reais. Em seguida, utilizou-se a taxa cambial US\$ 1,00 = R\$ 2,60 para obter os valores em dólares; (**) Para calcular o custo normalizado utilizou-se a Equação 4.5.

4.4.3. Classificação de importância estratégica dos equipamentos escolhidos

Em documento do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 1994c), é mostrada uma classificação de importância estratégica de equipamentos médicos, os quais são divididos em três categorias (indispensáveis³, recomendáveis⁴ e dispensáveis⁵) de acordo com a sua importância para a prestação do serviço de saúde. Entretanto, no entendimento deste autor, essa classificação é focada apenas na realização do procedimento médico, faltando uma visão mais holística do hospital. Por isso, nesta tese é sugerida (e utilizada) uma classificação de importância estratégica baseada em Brasil (1994c), que, porém, leva em conta o relacionamento entre os diversos setores de um hospital. Nesta classificação, um equipamento médico em um hospital terá importância estratégica:

- Alta, se a paralisação do equipamento afeta o fornecimento de serviços de saúde⁶ em outros setores, além do setor onde ele está sendo utilizado;
- Média, se a paralisação do equipamento afeta o fornecimento de serviços de saúde⁶, apenas no setor onde ele está sendo utilizado;
- Baixa, quando a paralisação do equipamento afeta apenas o serviço de saúde⁶ onde ele está sendo utilizado.

Na Tabela 4.6 é mostrada a classificação de importância estratégica dos equipamentos médicos da Tabela 4.3. Assim, por exemplo, o laser cirúrgico (equipamento nº 33) é classificado como de baixa importância estratégica, pois sua paralisação irá afetar apenas o andamento do procedimento em que ele estiver sendo utilizado.

³ Equipamentos diretamente relacionados à prestação do serviço de saúde, sem os quais não é possível oferecer este serviço (BRASIL, 1994c).

⁴ Equipamentos diretamente relacionados à prestação do serviço de saúde, sem os quais este é dificultado, porém pode ser prestado (BRASIL, 1994c).

⁵ Equipamentos relacionados à prestação do serviço de saúde sem os quais este pode ser prestado sem dificuldade (BRASIL, 1994c).

⁶ Procedimentos médicos em geral (diagnóstico, monitoramento e/ou terapia).

Tabela 4.6 – Classificação dos equipamentos médicos da Tabela 4.3 segundo a sua importância estratégica.

Equipamento	Importância Estratégica
1. acelerador linear	Média
2. aparelho de fototerapia	Média
3. aparelho de gasometria, analisador sanguíneo/bioquímico	Alta
4. aparelho de ultra-som para diagnóstico	Baixa
5. aspirador cirúrgico (elétrico)	Baixa
6. autoclave horizontal para central de material esterilizado	Alta
7. balança analítica (laboratório)	Baixa
8. balança antropométrica adulto para a enf. masculina	Baixa
9. balança antropométrica infantil para o berçário	Média
10. bilirrubinômetro	Média
11. bisturi elétrico	Baixa
12. bomba de infusão para uso em UTI pediátrica	Baixa
13. broncoscópio	Baixa
14. cadeira de rodas	Baixa
15. cama elétrica	Baixa
16. cardiocardiógrafo	Média
17. carrinho de anestesia	Média
18. central de gases medicinais	Alta
19. centrífuga refrigerada para bolsas de sangue	Alta
20. desfibrilador/cardioversor para ambulância (SIATE)	Alta
21. eletrocardiógrafo (ECG) para consultório médico	Média
22. eletroencefalógrafo (EEG)	Baixa
23. eletromiógrafo (EMG)	Baixa
24. endoscópio	Alta
25. esfigmomanômetro para urgência do pronto-socorro	Média
26. estetoscópio para consultório médico	Baixa
27. foco cirúrgico de teto	Baixa
28. foco de luz portátil para consultório médico	Baixa
29. freezer para congelamento de bolsas de plasma	Alta
30. grupo gerador	Alta
31. incubadora neonatal	Média
32. incubadora neonatal de transporte	Alta
33. laser cirúrgico	Baixa
34. máquina de hemodiálise	Média
35. mamógrafo	Baixa
36. mesa cirúrgica	Média
37. microscópio cirúrgico	Alta
38. monitor cardíaco para uso em UTI (monitor de ECG)	Baixa
39. monitor de PA não-invasivo para uso em centro cirúrgico	Baixa
40. monitor de radiação (radiômetro para fototerapia)	Baixo
41. monitor multiparam. ECG, PA não-invasivo, SpO2 e temp.	Média
42. negatoscópio para consultório médico	Baixa
43. oxímetro de pulso para UTI	Baixa
44. processadora de filmes radiográficos	Alta
45. refrigerador comum para copa do centro cirúrgico	Baixa
46. refrigerador para bolsas de sangue	Alta
47. ressonância nuclear magnética	Alta
48. secadora de roupa (lavanderia)	Média
49. serra de gesso	Baixa
50. sistema de hemodinâmica	Alta
51. sistema de litotripsia extracorpórea	Alta
52. sistema de tomografia computadorizada por r-x	Alta
53. sistema de urodinâmica	Baixa
54. televisor para a sala de espera no pronto-socorro	Baixa
55. ventilador pulmonar para UTI	Alta

4.4.4. Normalização das entradas das redes neurais artificiais

Para gerar a entrada referente ao risco na rede neural artificial, aos equipamentos médicos que representaram baixo risco foi atribuído o valor “-1”, enquanto que aos equipamentos de médio e alto risco foram atribuídos os valores “0” e “+1” respectivamente.

Para a entrada de importância estratégica da RNA, foram atribuídos os valores “+1”, “0” e “-1” para os equipamentos de alta, média e baixa importância estratégica respectivamente.

No caso da entrada relativa ao custo, para padronização dos valores de todas as entradas, ao invés de utilizar o valor do custo normalizado, optou-se por uma classificação em 3 níveis de custo (alto, médio e baixo). Por isso, considerou-se, como equipamentos de custo alto, aqueles que apresentaram custo normalizado maior ou igual a 0,8. Já para equipamentos com custo normalizado menor que 0,6, considerou-se um custo baixo. Os equipamentos com custo normalizado entre as duas faixas descritas anteriormente foram considerados como de custo médio.

Na Tabela 4.7 são mostrados os valores atribuídos aos níveis de classificação dos equipamentos médico-hospitalares utilizados para esta tese.

Tabela 4.7 – Valores atribuídos aos níveis de classificação dos equipamentos médico-hospitalares utilizados nesta tese.

Classificação do Equipamento Médico		Valor Normalizado Final
Risco	Alto	+1
	Médio	0
	Baixo	-1
Custo	Alto	+1
	Médio	0
	Baixo	-1
Importância Estratégica	Alta	+1
	Média	0
	Baixa	-1

Na Tabela 4.8 é mostrada a classificação final dos equipamentos já com os seus valores normalizados para alimentar as redes neurais artificiais.

Na Tabela 4.9 é mostrada a distribuição dos equipamentos de acordo com a sua classificação de risco (R), custo (C) e importância estratégica (IE) mostrada na Tabela 4.8. Nesta tabela pode-se observar que algumas categorias não possuem equipamentos que as representam. Por exemplo, a categoria que corresponde à classificação baixo risco ($R = -1$), baixo custo ($C = -1$) e média importância estratégica ($IE = 0$) não é representada por nenhum dos equipamentos médicos escolhidos para a pesquisa.

Tabela 4.8 – Valores finais das entradas de risco (R), custo (C) e importância estratégica (IE) relacionadas a cada um dos equipamentos médicos utilizados para o treinamento das redes neurais artificiais e listados na Tabela 4.3.

Equipamento	R	C	IE
1. acelerador linear	1	1	0
2. aparelho de fototerapia	0	-1	0
3. aparelho de gasometria	1	0	1
4. aparelho de ultra-som para diagnóstico	-1	1	-1
5. aspirador cirúrgico (elétrico)	1	-1	-1
6. autoclave horizontal para central de material esterilizado	0	0	1
7. balança analítica (laboratório)	1	-1	-1
8. balança antropométrica adulto para a enfermaria masculina	-1	-1	-1
9. balança antropométrica infantil para o berçário	0	-1	0
10. bilirrubinômetro	0	-1	0
11. bisturi elétrico	1	0	-1
12. bomba de infusão para uso em UTI pediátrica	1	-1	-1
13. broncoscópio	1	0	-1
14. cadeira de rodas	-1	-1	-1
15. cama elétrica	-1	0	-1
16. cardiotocógrafo	0	-1	0
17. carrinho de anestesia	1	0	0
18. central de gases medicinais	1	1	1
19. centrífuga refrigerada para bolsas de sangue	0	0	1
20. desfibrilador/cardioversor para ambulância (SIATE)	1	-1	1
21. eletrocardiógrafo (ECG) para consultório médico	1	0	0
22. eletroencefalógrafo (EEG)	0	0	-1
23. eletromiógrafo (EMG)	0	0	-1
24. endoscópio	0	0	1
25. esfigmomanômetro para sala de urgência do pronto-socorro	1	-1	0
26. estetoscópio para consultório médico	-1	-1	-1
27. foco cirúrgico de teto	1	0	-1
28. foco de luz portátil para consultório médico	-1	-1	-1
29. freezer para congelamento de bolsas de plasma	0	0	1
30. grupo gerador	1	1	1
31. incubadora neonatal	1	0	0
32. incubadora neonatal de transporte	1	0	1
33. laser cirúrgico	1	0	-1
34. máquina de hemodiálise	1	0	0
35. mamógrafo	0	0	-1
36. mesa cirúrgica	1	0	0
37. microscópio cirúrgico	1	1	1
38. monitor cardíaco para uso em UTI (monitor de ECG)	1	-1	-1
39. monitor de pressão não-invasivo para centro cirúrgico	1	-1	-1
40. monitor de radiação (radiômetro para fototerapia)	1	-1	-1
41. monitor multiparam. c/ECG, PA não-inv., SpO2 e temp.	1	0	0
42. negatoscópio para consultório médico	-1	-1	-1
43. oxímetro de pulso para UTI	1	-1	-1
44. processadora de filmes radiográficos	0	0	1
45. refrigerador comum para copa do centro cirúrgico	-1	-1	-1
46. refrigerador para bolsas de sangue	0	0	1
47. ressonância nuclear magnética	-1	1	1
48. secadora de roupa (lavanderia)	-1	0	0
49. serra de gesso	-1	-1	-1
50. sistema de hemodinâmica	1	1	1
51. sistema de litotripsia extracorpórea	1	1	1
52. sistema de tomografia computadorizada por r-x	-1	1	1
53. sistema de urodinâmica	-1	0	-1
54. televisor para a sala de espera no pronto-socorro	-1	-1	-1
55. ventilador pulmonar para UTI	1	0	1

Tabela 4.9 – Distribuição dos equipamentos da Tabela 4.3 de acordo com a sua classificação de risco (R), custo (C) e importância estratégica(IE) mostrada na Tabela 4.8.

Categoria	R	C	IE	Números dos equipamentos correspondentes	Qte.
1	-1	-1	-1	8, 14, 26, 28, 42, 45, 49, 54	08
---	-1	-1	0		00
---	-1	-1	+1		00
2	-1	0	-1	15, 53	02
3	-1	0	0	48	01
---	-1	0	+1		00
4	-1	+1	-1	4	01
---	-1	+1	0		00
5	-1	+1	+1	47, 52	02
---	0	-1	-1		00
6	0	-1	0	2, 9, 10, 16	04
---	0	-1	+1		00
7	0	0	-1	22, 23, 35	03
---	0	0	0		00
8	0	0	+1	6, 19, 24, 29, 44, 46	06
---	0	+1	-1		00
---	0	+1	0		00
---	0	+1	+1		00
9	+1	-1	-1	5, 7, 12, 38, 39, 40, 43	07
10	+1	-1	0	25	01
11	+1	-1	+1	20	01
12	+1	0	-1	11, 13, 27, 33	04
13	+1	0	0	17, 21, 31, 34, 36, 41	06
14	+1	0	+1	3, 32, 55	03
---	+1	+1	-1		00
15	+1	+1	0	1	01
16	+1	+1	+1	18, 30, 37, 50, 51	05
TOTAL					55

4.4.5. Normalização das saídas das redes neurais artificiais

Para gerar os dados correspondentes às saídas das RNA, foi feita uma normalização das respostas dos engenheiros clínicos à parte 3 do questionário através da utilização da Equação 4.6.

$$Saída_{EC\ Normalizada} = Saída_{EC} - 2 \quad (4.6)$$

Onde:

$Saída_{EC\ Normalizada}$ = Saída Normalizada referente à resposta do Engenheiro Clínico EC;

$Saída_{EC}$ = Saída referente à resposta do Engenheiro Clínico EC;

Dessa forma, como as respostas à parte 3 do questionário eram números entre “+1” e “+3”, então as saídas normalizadas ficariam na faixa entre “-1” e “+1”, que é a mais adequada para o treinamento das RNA.

4.4.6. Exemplo de normalização de entradas e saídas das RNA

Suponha que um determinado engenheiro clínico tenha respondido à parte 3 do questionário, conforme mostrado na Figura 4.4.

Equipamento	Importância dos Critérios				
	Clínicos	Financeiros	Qualidade	Segurança	Técnicos
Radiômetro para fototerapia	1	1	2	2	2
Sistema de litotripsia extra-corpórea	1	1	1	1	1
Incubadora neonatal de transporte	2	2	1	1	2
Cadeira de rodas	2	3	3	2	2
Desfibrilador/cardioversor p/ ambulância (SIATE)	1	3	2	2	1

Figura 4.4 – Exemplo de resposta de um engenheiro clínico à parte 3 do questionário mostrado na figura 4.3.

Esta resposta vai gerar cinco exemplos para treinamento de uma rede neural artificial (RNA), conforme mostrado na Tabela 4.10 a seguir.

Tabela 4.10 – Exemplos para treinamento das RNA gerados a partir da resposta de um engenheiro clínico à parte 3 do questionário mostrado na Figura 4.3.

Exemplo	Entradas (classificação dos equipamentos)			Saídas (importância dos fatores)				
	Risco (R)	Custo (C)	Imp. Estratégica (IE)	Clínicos (CL)	Financeiros (F)	Qualidade (Q)	Segurança (S)	Técnicos (T)
1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
3	1	0	1	0	0	-1	-1	0
4	-1	-1	-1	0	+1	+1	0	0
5	1	-1	1	-1	+1	0	0	-1

Como pode ser visto na Tabela 4.10, as entradas dos exemplos foram obtidas a partir da classificação, que é mostrada na Tabela 4.8, de risco, custo e importância estratégica dos cinco equipamentos contidos na resposta mostrada na Figura 4.4. Além disso, houve a aplicação da Equação 4.6 na importância dos fatores, que gerou cinco saídas para cada exemplo com valores entre -1 (fatores mais importantes) e +1 (fatores menos importantes).

4.5. Treinamento e teste das RNA

O modelo geral utilizado para o treinamento das redes neurais artificiais é mostrado na Figura 4.5.

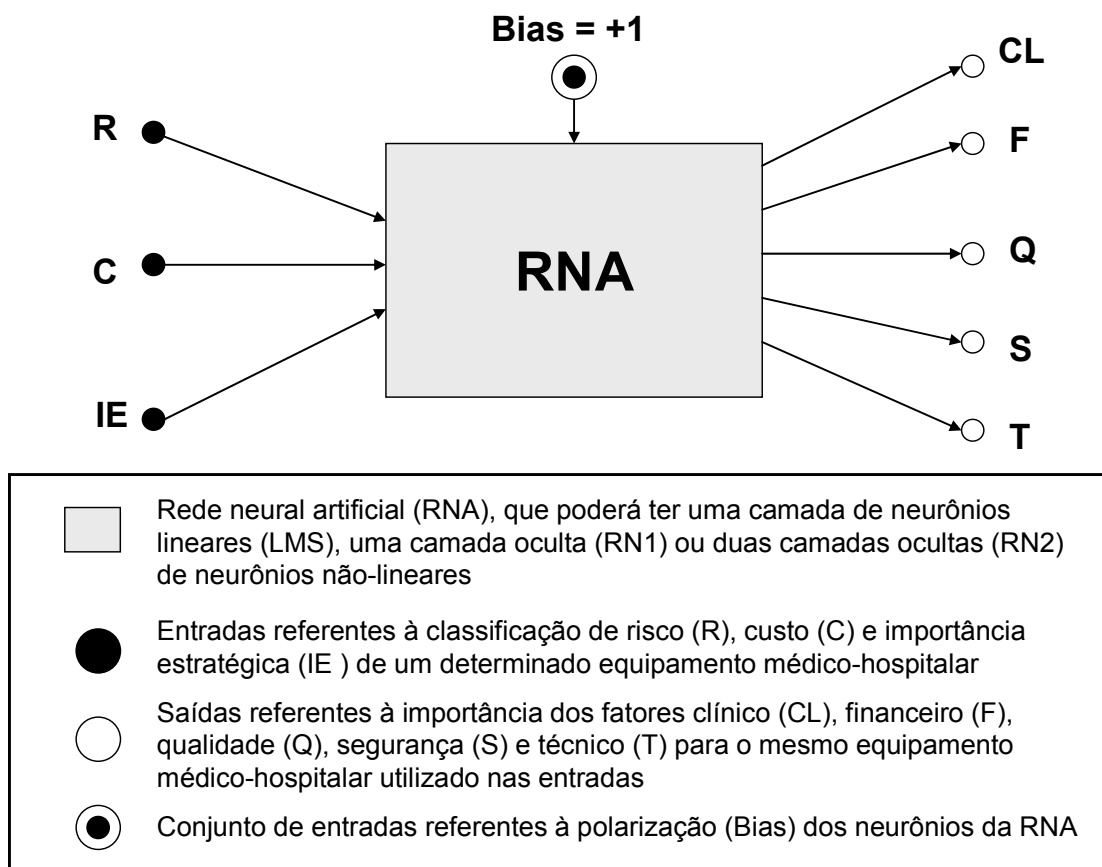


Figura 4.5 – Modelo geral utilizado para o treinamento das redes neurais artificiais com as respostas dos engenheiros clínicos.

Como foi visto na seção anterior (Tabela 4.8), cada equipamento médico constante na parte 3 do questionário possui uma classificação (Alto, Médio ou Baixo) segundo seu risco (R), custo (C) e importância estratégica (IE). Como pode ser visto na Figura 4.3 da seção anterior, pediu-se que os engenheiros clínicos atribuísem o nível de importância (1 para o mais importante e 3 para o menos importante) dos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnicos (T) para cada um dos equipamentos constantes na

parte 3 do questionário. Com isso, pode-se começar o treinamento de diversas arquiteturas de redes neurais artificiais (RNA), através de algoritmos de aprendizagem supervisionada.

Assim, através do uso de RNA, procurou-se encontrar uma função de regressão múltipla (vide Equação 4.7), que melhor se adapta aos dados provenientes das respostas ao questionário mostrado nas Figuras 4.1 a 4.3.

$$y_i = \begin{bmatrix} CL \\ F \\ Q \\ S \\ T \end{bmatrix} = f(x_i) = f\left(\begin{bmatrix} R \\ C \\ IE \end{bmatrix}\right) \quad (4.7)$$

Onde:

$f(x_i)$ = função de regressão múltipla, cuja entrada é um vetor x_i com três elementos (R , C , IE) e sua resposta é um vetor y_i com cinco elementos (CL , F , Q , S , T);

x_i = entradas fornecidas à RNA referentes ao exemplo i , que consistem na classificação de um determinado equipamento médico nos fatores de risco (R), custo (C) e importância estratégica (IE);

y_i = saídas fornecidas pela RNA referentes ao exemplo i , que consistem na ordem de importância que deveria ser atribuída aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T), quando se estiver avaliando um equipamento médico cuja classificação de risco, custo e importância estratégica seja igual a x_i .

Como não se tem informação prévia sobre a natureza dessa função de regressão múltipla (ou seja, ela pode ser linear, quadrática ou de algum outro tipo não-linear), foram testadas diversas arquiteturas de RNA diretas e totalmente conectadas, que vão desde modelos mais simples (“*Adaline*”, que é uma RNA composta por neurônios lineares treinados com o algoritmo LMS) até modelos mais complexos (“*Perceptron multicamadas*”, que é uma

RNA com várias camadas escondidas, compostas por dezenas de neurônios não-lineares treinados com o algoritmo BP).

O objetivo do treinamento de diversas arquiteturas de RNA é encontrar o modelo que apresente o menor erro quadrático médio, entre as saídas da RNA e as respostas dos engenheiros clínicos, para um mesmo conjunto de entradas. Ou seja, o critério de parada da fase de treinamento será minimizar a função custo mostrada na Equação 4.8, a qual consiste na aplicação da Equação 3.4 para uma época.

$$EQMF = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^E \frac{(d_i - y_i)^2}{E} \quad (4.8)$$

Onde:

EQMF = função custo;

E = número de exemplos de uma época;

d_i = saída desejada (resposta do especialista) correspondente ao exemplo i;

y_i = saída fornecida pela RNA referente ao exemplo i.

Teoricamente, uma RNA com apenas uma camada escondida de neurônios não-lineares é suficiente para modelar qualquer tipo de função contínua, desde que o número de neurônios dessa camada seja pelo menos igual ao número de elementos do conjunto de treinamento da RNA (BÄRMANN; BIEGLER-KÖNIG, 1992 apud VON ZUBEN; ANDRADE NETTO, 1995, p.283 e HECHT-NIELSEN, 1990 apud KOVÁCS, 1996, p.95). Apesar de factível, isso não é viável para conjuntos de treinamento muito grandes; o tempo de treinamento seria muito lento, e haveria um sério risco de ocorrer sobreajuste da RNA aos dados de treinamento, sobrevivendo assim uma perda significativa de generalização da RNA (VON ZUBEN; ANDRADE NETTO, 1995). Por isso, nesta tese também foi verificada a

possibilidade de treinar redes neurais artificiais com duas camadas escondidas, de maneira a melhorar o ajuste aos dados de treinamento e teste sem aumentar muito o número total de neurônios da RNA.

Para treinar as RNA foram realizados alguns procedimentos comuns:

- I. utilização de programas desenvolvidos pelo autor desta tese (vide Apêndice H) na ferramenta científica MatLab®, para poder ter o controle total sobre o que está acontecendo durante o treinamento das RNA, uma vez que os aplicativos existentes (como o “*Toolbox*” do próprio MatLab®) funcionam como uma “caixa-preta”, o que não permite saber como esta funciona;
- II. o treinamento foi feito de maneira seqüencial com ordem aleatória de apresentação dos exemplos, pois, segundo Haykin (2001), este modo requer menos armazenamento local para cada conexão sináptica, diminuindo a necessidade de memória por parte do computador. Além disso, a natureza estocástica dessa busca seqüencial diminui as chances de que o algoritmo fique preso a uma região de mínimo local;
- III. Durante o treinamento, foi utilizada a validação cruzada para evitar perda de generalização da RNA. Por isso, as amostras totais foram divididas aleatoriamente e sem reposição na seguinte proporção: 70% para treinamento (sendo 50% para estimativa e 20% para validação) e 30% para teste;
- IV. Para evitar processamento computacional excessivo e desnecessário, foram fixados limites máximos que variaram de 500 a 12.000 épocas de treinamento, de maneira que os pontos de parada das RNA treinadas com a validação cruzada sempre aconteceram antes destes limites máximos;

- V. As respostas fornecidas pelas RNA sempre representam a média simples de ensemble de 100 redes neurais (número utilizado em HAYKIN, 2001 e 4 vezes superior ao sugerido por BREIMAN, 1994), treinadas simultaneamente com os mesmos dados (mudando-se apenas a definição mediante sorteio sem reposição e os valores iniciais dos pesos sinápticos) do conjunto de exemplos mostrados no apêndice G desta tese;
- VI. Os valores da taxa de aprendizado (η) e do coeficiente de inércia (α) são mantidos constantes para todos os neurônios de uma mesma RNA.

Assim, esta seção é composta por cinco subseções a saber:

- Perceptron LMS / Adaline (4.5.1), onde é testada a hipótese de uma RNA linear treinada com o algoritmo LMS;
- Perceptron com uma camada escondida (4.5.2) e perceptron com duas camadas escondidas (4.5.3), onde são testadas as hipóteses de RNA não-lineares treinadas com o algoritmo *back-propagation* (BP);
- Definição dos critérios para seleção dos melhores modelos de RNA (4.5.4) para atingir os objetivos desta tese;
- Descrição do método usado para análise da resposta do melhor modelo encontrado (4.5.5).

4.5.1. Perceptron LMS / Adaline

O modelo de RNA linear utilizada com o algoritmo LMS, também conhecida como **ADALINE**, é mostrado na Figura 4.6.

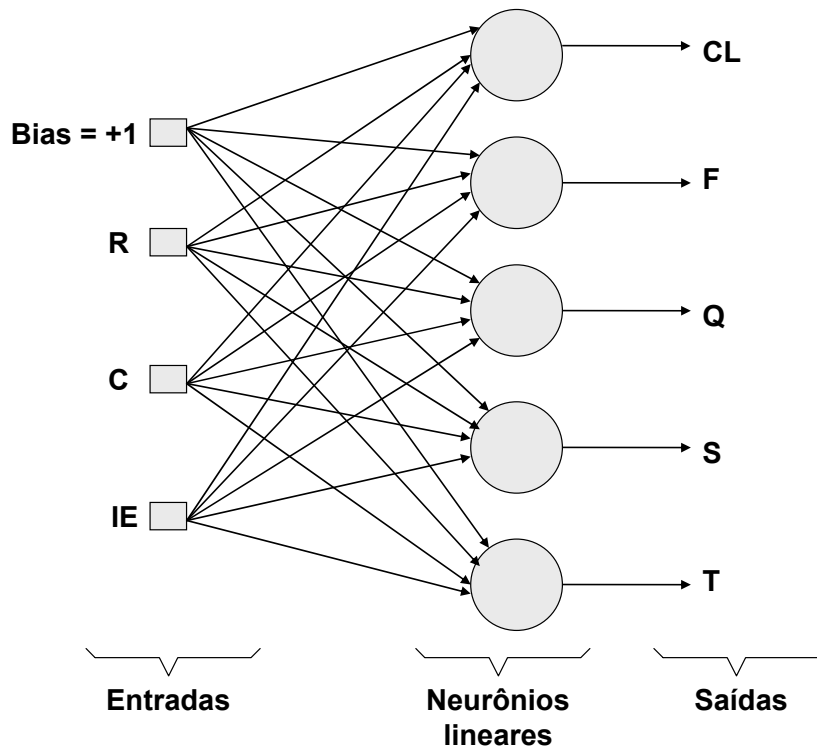


Figura 4.6 – Modelo LMS: RNA linear treinada com o algoritmo LMS.

Na Figura 4.6 pode-se ver que o número de neurônios lineares é fixo, e igual ao número de saídas. Então, o treinamento da RNA consistirá em achar a melhor combinação de pesos sinápticos entre as entradas e os neurônios lineares de tal forma que o valor da função custo (vide Equação 4.8) “erro quadrático médio” (EQMF) seja o menor possível. Para isso, foram seguidos os passos:

- I. Dividir o conjunto total de dados disponíveis em amostras de treinamento (estimativa e validação) e teste;
- II. Inicializar as matrizes de pesos sinápticos com valores aleatórios bem pequenos entre -0,5 e +0,5;

- III. Verificar o valor de EQMF, tanto para as amostras de teste, como para as amostras de treinamento;
- IV. Aplicar o algoritmo LMS de correção dos pesos (Equação 3.3) utilizando o erro entre as saídas da RNA e as respostas dos especialistas, e verificar o valor de EQMF de validação. Se este valor for menor que o EQMF de validação da época anterior, armazene-o;
- V. Repetir o passo IV até um limite pré-fixado (entre 500 e 2.000) de épocas de treinamento;
- VI. Repetir os passos de I a V mais 99 vezes, e armazenar os EQMF mínimos, com suas respectivas matrizes de pesos sinápticos, de todas as repetições para formar o ensemble de 100 RNA lineares.

Os passos mencionados anteriormente foram executados para diversos valores da taxa de aprendizado (η). Os resultados completos destes processamentos são mostrados no Apêndice I, e os melhores resultados obtidos encontram-se no Capítulo 5 desta tese.

4.5.2. Perceptron com uma camada escondida

O modelo de RNA não-linear direta e totalmente conectada com uma camada escondida é mostrado na Figura 4.7.

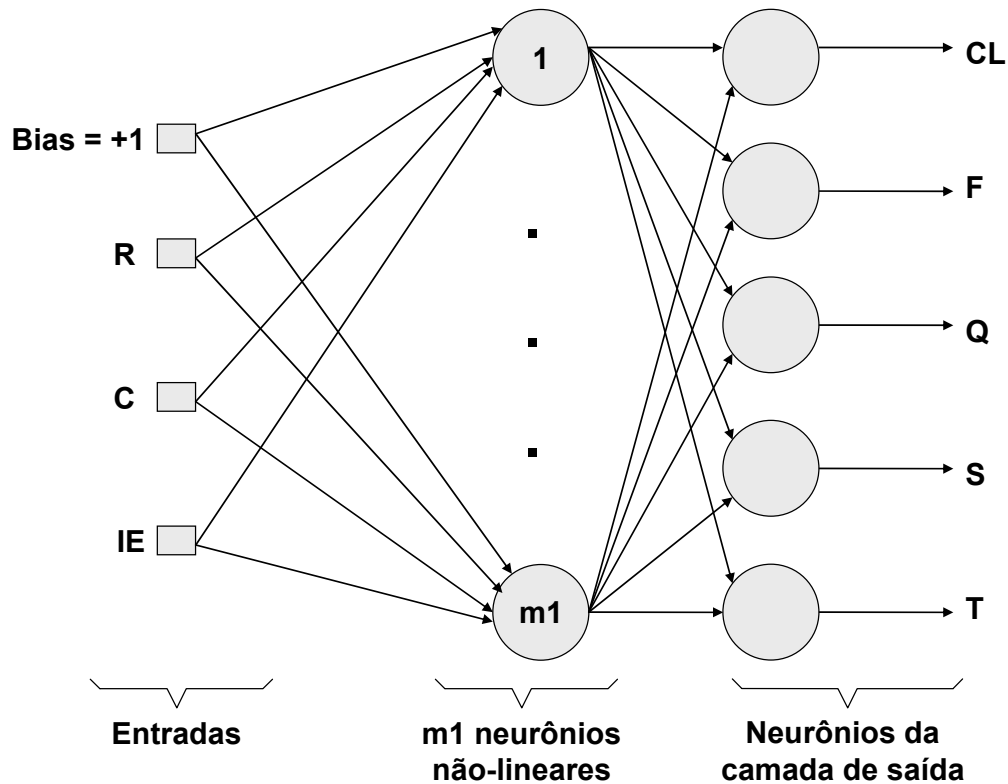


Figura 4.7 – Modelo RN1: RNA não-linear direta e totalmente conectada, com uma camada escondida, que foi utilizada para esta tese.

Conforme apresentado na Figura 4.7, o modelo RN1 possui 1 camada escondida com um número variável ($m1$) de neurônios não-lineares. Isso permitirá uma maior flexibilidade de modelamento em relação ao modelo LMS. A função de ativação utilizada foi a tangente hiperbólica otimizada sugerida por LeCun (1989); (1993) apud Haykin (2001), p.206, pois ela é adequada para trabalhar com neurônios não-lineares cujas entradas e saídas estejam na faixa entre "-1" e "+1". Esta função é mostrada na Equação 4.9.

$$\varphi(v) = 1,7159 \tanh\left(\frac{2}{3} v\right) \quad (4.9)$$

Onde:

$\varphi(v)$ = função de ativação dos neurônios treinados com o algoritmo de retropropagação;

v = saída da junção aditiva do neurônio.

Basicamente, os passos seguidos para treinar a RN1 foram os mesmos utilizados para treinar o modelo LMS, tendo-se como diferenças:

- o limite máximo de épocas de treinamento que variou entre 500 e 5.000 devido ao tempo de convergência ser um pouco maior, pois desta vez foi utilizado um número maior de neurônios;
- o algoritmo de treinamento utilizado foi o *back-propagation* (BP) mostrado nas Equações 3.5, 3.6 e 3.7, onde, além da taxa de aprendizado (η), é necessário determinar o número ideal de neurônios na camada escondida (m_1) e o valor ideal do coeficiente de inércia (α).

Os resultados completos destes processamentos são mostrados no Apêndice I, e os melhores resultados obtidos encontram-se no Capítulo 5 desta tese.

4.5.3. Perceptron com duas camadas escondidas

O modelo de RNA não-linear direta e totalmente conectada com duas camadas escondidas é mostrado na Figura 4.8.

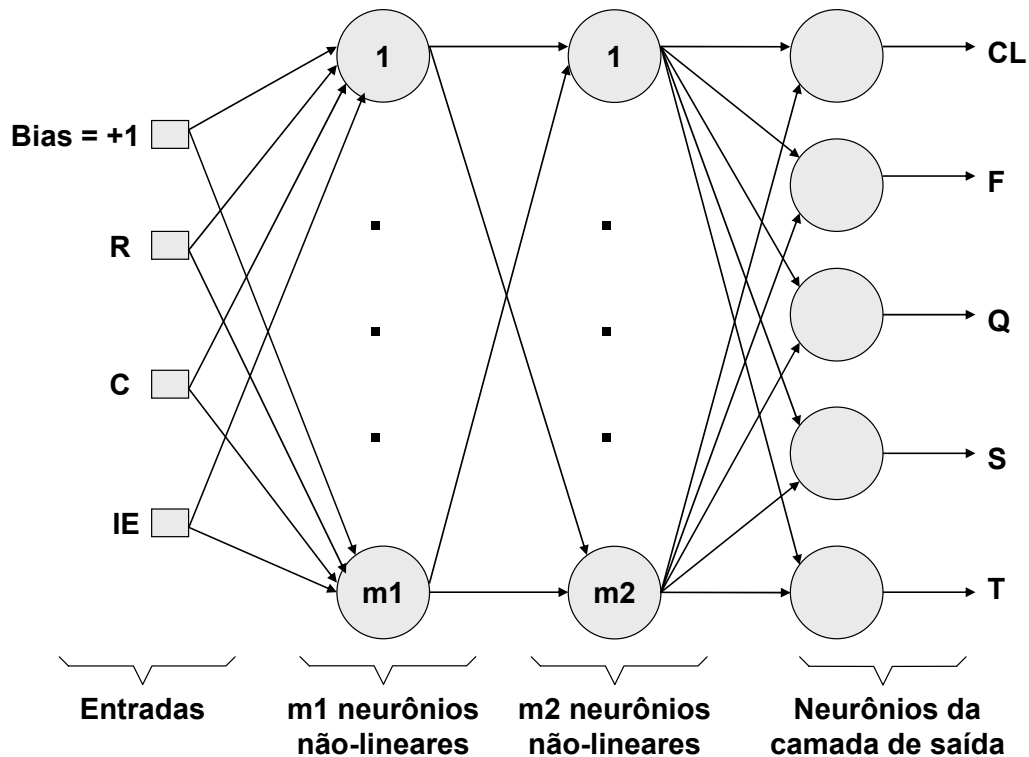


Figura 4.8 – Modelo RN2: RNA não-linear direta e totalmente conectada, com duas camadas escondidas, que foi utilizada para esta tese.

Devido às duas camadas escondidas, o modelo RN2 apresenta uma maior capacidade de se ajustar às amostras de treinamento do que os modelos LMS e RN1. Entretanto, isso pode aumentar o erro em relação às amostras de teste, devido ao ajuste excessivo causado por treinamento em demasia, principalmente se houver poucos exemplos disponíveis para treinar a RNA. O treinamento da RN2 foi similar ao treinamento da RN1 (inclusive no uso do algoritmo BP e da mesma função de ativação) para um limite maior de épocas de treinamento (de 5.000 a 12.000), com o trabalho adicional de determinar o número ideal de neurônios na segunda camada escondida ($m2$). Os resultados completos destes

processamentos são mostrados no Apêndice I, e os melhores resultados obtidos encontram-se no Capítulo 5 desta tese.

4.5.4. Seleção dos melhores modelos de RNA

Os melhores modelos de RNA foram escolhidos com base nos seguintes critérios:

- Menor valor do erro quadrático médio de teste, encontrado no ponto de parada antecipada do treinamento (isto é, no momento em que ocorreu o menor erro quadrático da fase de validação, conforme ilustrado na Figura 3.8);
- Maior correlação e menor erro quadrático médio da resposta do ensemble com a média das respostas dos especialistas. Estes valores foram encontrados através da aplicação de programas (calc0, calc1 e calc2) elaborados no MatLab© pelo autor desta tese (vide Apêndice H).

A partir disso, foi verificado se havia necessidade de aplicar técnicas de *bagging*, *arcing* e/ou *boosting* para os melhores modelos encontrados de redes neurais artificiais. Se o desempenho das RNA não aumentasse significativamente, então adotar-se-iam as RNA originais, visto que a implementação dessas técnicas de melhoria de desempenho de RNA exige um processamento computacional muito maior do que as RNA originais.

4.5.5. Resposta do melhor modelo encontrado

Após a escolha do melhor modelo de RNA que representou as respostas fornecidas pelos especialistas, foram plotados – através de programas desenvolvidos em MatLab© por este autor – diversos gráficos e superfícies 3-D com as respostas das redes neurais. Isso foi feito para observar o comportamento das respostas dos especialistas em relação ao risco (R), custo (C) e importância estratégica (IE) do equipamento médico avaliado.

5. Resultados e Discussão

Neste capítulo são mostrados os principais resultados obtidos com a utilização da metodologia descrita no capítulo 4. Os resumos dos resultados completos do treinamento e teste das redes neurais artificiais poderão ser consultados no Apêndice I desta tese. Este capítulo é composto pelas seções:

- Análise das respostas dos especialistas (5.1);
- Resultados do treinamento das RNA (5.2);
- Análise do modelo de RNA escolhido (5.3).

5.1. Análise das respostas dos especialistas

Dos 55 engenheiros clínicos consultados, 32 responderam à pesquisa. Em seguida, foram analisadas as respostas fornecidas por estes especialistas para verificar a possibilidade de sua inclusão no treinamento dos diversos modelos de RNA mostrados no capítulo 4. Para fazer esta análise foram necessários:

- o levantamento do perfil profissional dos 32 engenheiros clínicos que responderam à pesquisa, através da análise das suas respostas à parte 1 do questionário (subseção 5.1.1);
- a definição dos questionários que seriam incluídos no treinamento das RNA, através da análise das respostas à parte 2 da pesquisa (subseção 5.1.2);

Nesta seção são mostradas as análises das respostas dos especialistas às partes 1 (subseção 5.1.1) e 2 (subseção 5.1.2) do questionário descrito no capítulo 4.

5.1.1. Análise das respostas à parte 1 do questionário

A parte 1 do questionário, mostrada na figura 4.1, teve o objetivo de levantar o perfil profissional dos engenheiros clínicos, e era composta por 4 perguntas que deveriam ser respondidas com alternativas de múltipla escolha ou preenchimento de campos numéricos. As respostas dessas perguntas são mostradas nos gráficos do tipo pizza das figuras 5.1 a 5.4.

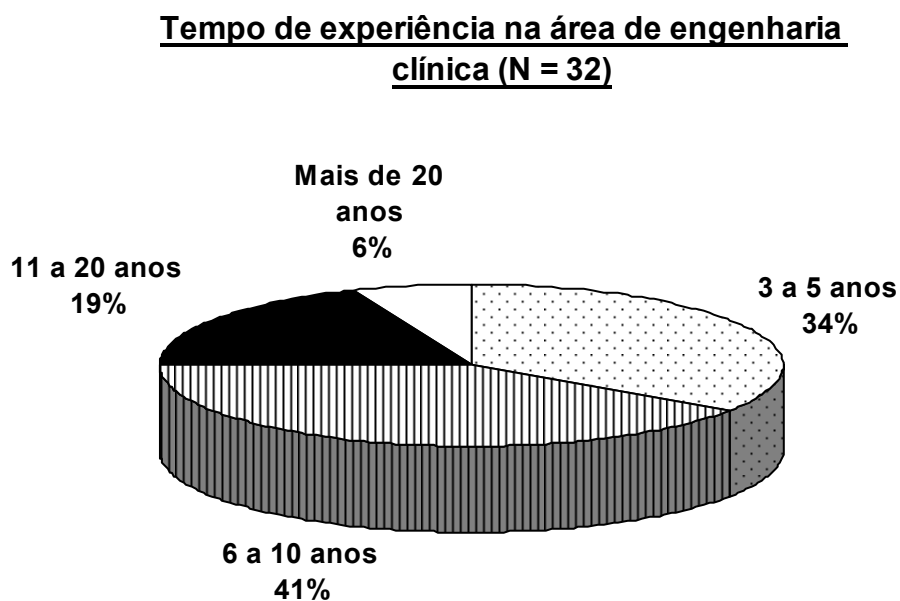


Figura 5.1 – Distribuição do tempo de experiência dos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4.

Tipo de instituição de trabalho (N = 32)

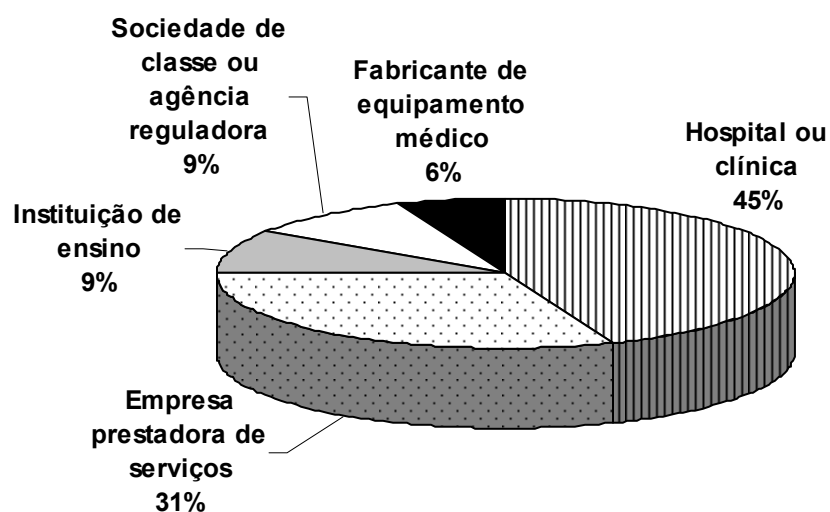


Figura 5.2 – Local de trabalho dos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4.

Natureza da instituição de trabalho (N = 32)

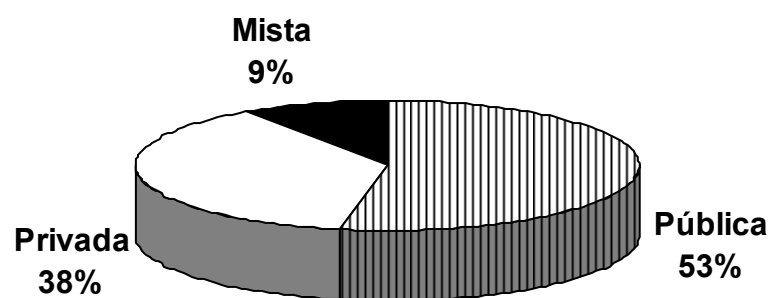


Figura 5.3 – Natureza da instituição de trabalho dos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4.

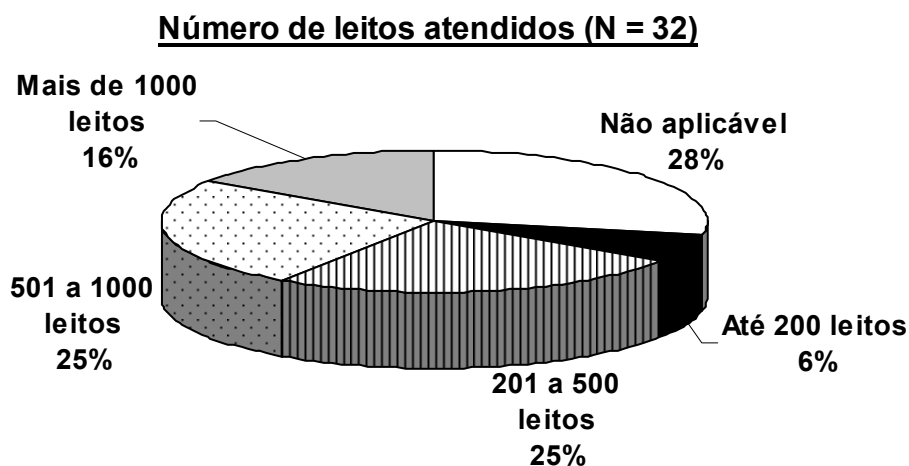


Figura 5.4 – Número de leitos hospitalares atendidos pelos 32 engenheiros clínicos que responderam ao questionário descrito no capítulo 4.

Analisando-se as Figuras de 5.1 a 5.4 verifica-se que o perfil majoritário dos engenheiros clínicos consultados pode ser caracterizado por:

- Tempo de experiência na área de engenharia clínica entre 3 e 10 anos (75% do total);
- Atuação como empregado de hospital, clínica ou empresa prestadora de serviços de engenharia clínica (76% do total);
- Trabalho em empresas de natureza pública (53% do total);
- Número total de leitos atendidos entre 201 e 1.000 leitos (50% do total).

Assim, os resultados do treinamento da RNA com todos os dados dos especialistas, devem representar um engenheiro clínico com esse perfil profissional.

5.1.2. Análise das respostas à parte 2 do questionário

Em princípio, como 32 dos 55 engenheiros responderam ao questionário, seria possível montar um conjunto de dados com 160 exemplos (= 32 questionários respondidos x 5 equipamentos por questionário) para treinar as redes neurais artificiais (RNA), sendo cada exemplo composto por três entradas (R, C, IE) e cinco saídas (CL, F, Q, S, T) conforme descrito no capítulo 4 (seção 4.4). Entretanto, antes de fazer o treinamento das RNA é necessário verificar a concordância entre as respostas dos engenheiros clínicos. Isso permite a identificação e retirada dos dados muito discrepantes (“*outliers*”), proporcionando, assim, a diminuição do ruído excessivo nas amostras de treinamento das RNA. Com esse objetivo foi elaborada a parte 2 do questionário de consulta aos engenheiros clínicos.

A parte 2 do questionário, mostrada na figura 4.2, era composta por 20 critérios para aquisição de equipamentos que deveriam ser classificados por um número inteiro na faixa de “1” a “5” (sendo “1” **para os critérios mais importantes** e “5” **para os menos importantes**). As respostas dos engenheiros clínicos foram tabuladas e posteriormente dispostas em um gráfico do tipo “*boxplot*” (vide Figura 5.5), o qual permite visualizar a dispersão das respostas, pois são mostrados a mediana, os percentis 25% e 75%, e os valores máximos e mínimos para cada um dos 20 critérios utilizados na parte 2 do questionário.

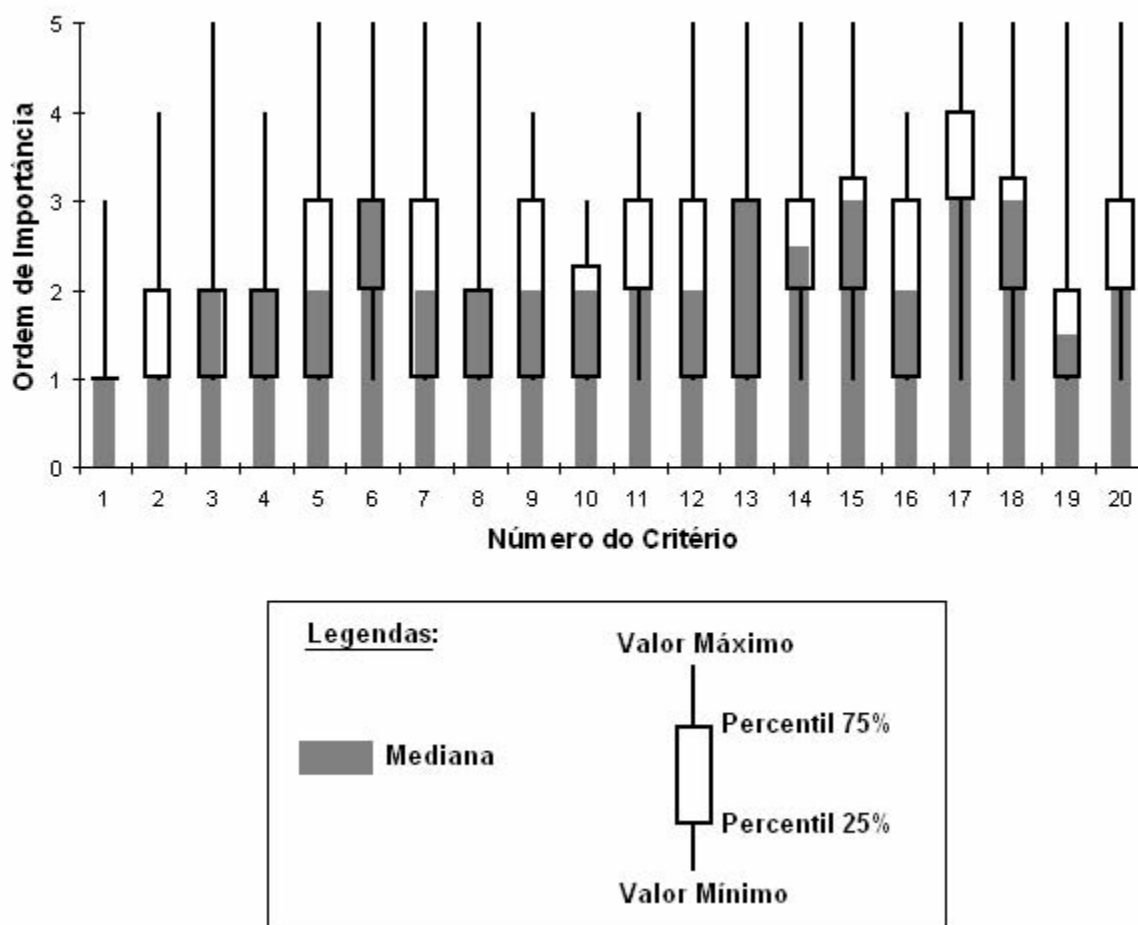


Figura 5.5 – *Boxplot* mostrando a dispersão de todas as respostas fornecidas (32 engenheiros clínicos) à parte 2 do questionário (vide Figura 4.2).

Observando-se a Figura 5.5 é possível notar a existência de uma grande quantidade de *outliers* nas respostas, pois, em mais da metade (13 de 20) dos critérios, as respostas para um mesmo critério encontram-se na faixa total (de “1” a “5”) do nível de importância. Logo, verificou-se a necessidade de identificar e retirar as respostas de alguns engenheiros clínicos do conjunto total de treinamento das RNA. Por isso, foi feita uma análise de correlação entre todas as respostas fornecidas.

A análise de correlação foi implementada na planilha eletrônica *Microsoft Excel*® e consistiu nos seguintes passos:

- 1) Inicialmente, definir o conjunto de respostas válidas, entendendo-se como tais, todas as 32 respostas encontradas;
- 2) Calcular a correlação de cada uma das respostas válidas em relação à média dessas respostas;
- 3) Verificar se todas as respostas válidas apresentam correlação maior ou igual a 0,5 em relação à média das respostas válidas:
 - 3.1) Se alguma das respostas válidas apresentar correlação menor que 0,5 em relação à média das respostas válidas, retire do conjunto de respostas válidas aquela que apresentar a menor correlação, e volte para o passo 2;
 - 3.2) Se todas as respostas válidas apresentarem correlação maior ou igual a 0,5 em relação à média das respostas válidas, então encerre a análise, pois o conjunto definitivo de respostas válidas foi encontrado.

Após a análise de correlação, das 32 respostas originais, sobraram 19 respostas, as quais foram dispostas em outro gráfico do tipo “*boxplot*” (vide Figura 5.6). Comparando-se este gráfico com o “*boxplot*” mostrado na Figura 5.5, pode-se visualizar a diminuição da discordância entre as respostas para um mesmo critério (repare que, desta vez, os valores máximos e mínimos estão mais próximos dos percentis 25% e 75%).

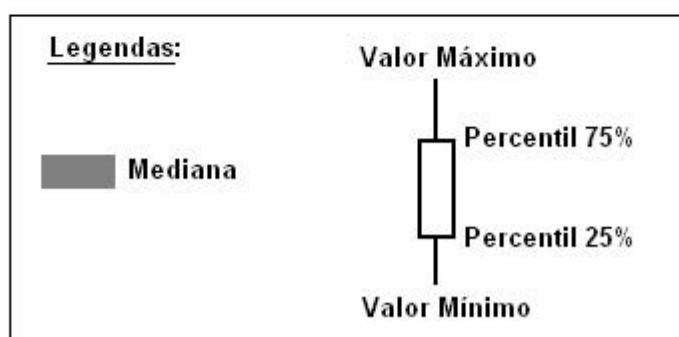
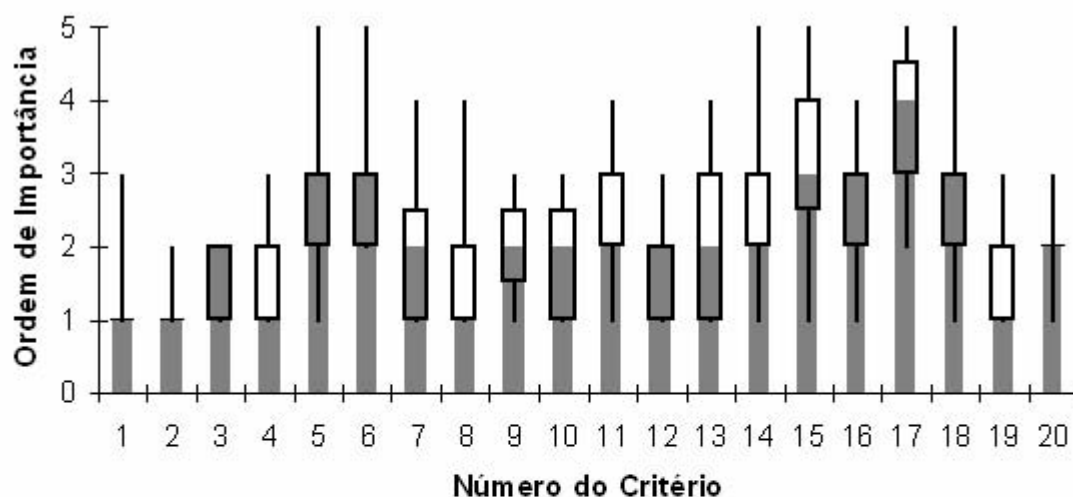


Figura 5.6 – Boxplot mostrando a dispersão das respostas remanescentes (19 engenheiros clínicos) após análise de correlação aplicada à parte 2 do questionário (vide Figura 4.2).

Como foram retiradas quase metade das 32 respostas iniciais, resta verificar se houve mudança no perfil dos 19 engenheiros clínicos restantes. Para isso, foi feita novamente a análise mostrada na subseção 5.1.1, e seus resultados (vide Tabela 5.1) foram comparados com os resultados encontrados nas Figuras 5.1 a 5.4.

Tabela 5.1 – Verificação do perfil majoritário dos engenheiros clínicos, que responderam à pesquisa, antes e depois da análise de correlação das respostas fornecidas na parte 2 do questionário.

Perfil majoritário	Porcentagem das N respostas	
	Antes da análise de correlação (N = 32)	Depois da análise de correlação (N = 19)
Tempo de experiência na área de engenharia clínica entre 3 e 10 anos	75%	79%
Atuação como empregado de hospital, clínica ou empresa prestadora de serviços de engenharia clínica	76%	79%
Trabalho em empresas de natureza pública	53%	63%
Número total de leitos atendidos entre 201 e 1000 leitos	50%	58%

Como pode-se ver na Tabela 5.1, não houve alteração do perfil majoritário dos engenheiros clínicos, ao contrário, houve um aumento de representatividade em todos os itens deste perfil.

Na Figura 5.6, observa-se que é possível a associação dos 20 critérios em grupos, de acordo com o seu nível de importância, pois a localização da mediana e das caixas que delimitam os percentis 25% e 75% das amostras, para alguns desses critérios, é semelhante. Assim, para calcular o nível de importância e fazer esta classificação, utilizou-se a média aritmética entre a mediana, o percentil 25% e o percentil 75% de cada um dos 20 critérios (vide Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Agrupamento dos 20 critérios da parte 2 do questionário (vide Figura 4.2), de acordo com a ordem de importância atribuída pelos engenheiros clínicos (vide Figura 5.6).

Nível de importância*	Critério(s) correspondente(s)	Tipo dos critérios
1,00	01) Adequação do equipamento à finalidade clínica desejada (faixas dos parâmetros, ambiente de utilização, etc.);	Clínico
	02) Adequação do equipamento às normas de segurança nacionais (necessidade de certificação do equipamento).	Segurança
1,33	04) Confiabilidade (equipamento requer pouca manutenção);	Técnico
	08) Custo de operação (mão-de-obra e insumos);	Financeiro
	19) Rapidez e eficiência da assistência técnica (quando a manutenção for terceirizada).	Qualidade
1,67	03) Capacidade do equipamento para fornecer leituras/medidas com erro baixo;	Técnico
	12) Facilidade de obtenção de manuais e/ou esquemas técnicos e de peças de reposição (quando a manutenção for própria).	Técnico
1,83	07) Custo de manutenção corretiva e preventiva (mão-de-obra e peças de reposição), seja ela própria ou terceirizada;	Financeiro
	10) Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos operacionais e qualidade do treinamento oferecido.	Clínico
2,00	09) Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos em manutenção e qualidade do treinamento oferecido;	Técnico
	13) Facilidade de operação do equipamento (peso, clareza dos manuais, disposição/visualização dos botões/displays, etc.);	Clínico
	20) Reputação e referências do fornecedor.	Qualidade
2,33	11) Duração da garantia oferecida;	Qualidade
	14) Facilidade de realização de manutenção devido a um bom projeto do equipamento.	Técnico
2,67	05) Custo de aquisição do equipamento (preço do equipamento)	Financeiro
	06) Custo de instalação (equipamentos de suporte e infra-estrutura predial necessários)	Financeiro
	16) Padronização (compatibilidade do equipamento com as edificações e o parque tecnológico já instalado no hospital)	Qualidade
	18) Presença de dispositivos adicionais de segurança (travas, alarmes, etc.) além dos obrigatórios por norma	Segurança
3,17	15) Familiaridade dos usuários com o equipamento	Clínico
3,83	17) Presença de acessórios adicionais além dos pedidos nas especificações mínimas	Qualidade

(*)Nota: o nível de importância de cada critério foi calculado através da média aritmética entre a mediana, o percentil 25% e o percentil 75% encontrados no gráfico da Figura 5.2.

Em seguida, nas equações de 5.1 a 5.5 determinou-se a importância dada pelos engenheiros clínicos aos fatores clínico (I_C), financeiro (I_F), qualidade (I_Q), segurança (I_S) e técnico (I_T), através do cálculo da média aritmética do nível de importância de todos os critérios pertencentes a um mesmo fator. Por exemplo, na Tabela 5.2, os critérios 1, 10, 13 e 15, que estão classificados como clínicos, possuem níveis de importância 1,00; 1,83; 2,00 e 3,17 respectivamente. Logo, a média desses valores, ou seja 2,00, é a importância que os engenheiros clínicos dão ao fator clínico (vide Equação 5.1).

$$I_{CL} = \frac{1,00 + 1,83 + 2,00 + 3,17}{4} \cong 2,00 \quad (5.1)$$

$$I_F = \frac{2,67 + 2,67 + 1,83 + 1,33}{4} \cong 2,13 \quad (5.2)$$

$$I_Q = \frac{1,33 + 2,00 + 2,33 + 2,67 + 3,83}{5} \cong 2,43 \quad (5.3)$$

$$I_S = \frac{1,00 + 2,67}{2} \cong 1,84 \quad (5.4)$$

$$I_T = \frac{1,33 + 1,67 + 1,67 + 2,00 + 2,33}{5} \cong 1,80 \quad (5.5)$$

Da Equação 5.1 à 5.5 observa-se que, em relação aos engenheiros clínicos que responderam à pesquisa, durante uma avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos, é dada mais importância aos critérios relacionados aos fatores técnico e segurança, ficando os critérios relacionados aos fatores financeiro e clínico com menos ênfase. Os critérios do fator qualidade, que consistem em características desejáveis, mas não imprescindíveis do equipamento, foram deixados em segundo plano. Apesar disso, observa-se que não há uma distância muito grande entre a maior e a menor importância dada aos fatores sugeridos (repare que na Figura 5.6 e Tabela 5.2, no geral, o nível de importância 5, que corresponderia à menor importância, nem sequer foi atingido), indicando que todos os fatores e critérios sugeridos são levados em consideração pelos engenheiros clínicos consultados.

A importância dos fatores para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos, calculada nas equações de 5.1 a 5.5, pode ser transformada em um conjunto de pesos normalizados (ou seja, cuja soma total seja “1”) para serem inseridos em

um modelo de médias ponderadas como o mostrado na Equação 4.4. Para isso, basta inverter os valores encontrados nas equações de 5.1 a 5.5 (para que agora os pesos sejam diretamente proporcionais aos valores da importância dos fatores) e dividir pela soma das inversas das importâncias (para normalizar os pesos), conforme pode ser visto na Equação 5.6.

$$P_j = \frac{\frac{1}{I_j}}{\frac{1}{I_{CL}} + \frac{1}{I_F} + \frac{1}{I_Q} + \frac{1}{I_S} + \frac{1}{I_T}} = \frac{\frac{1}{I_j}}{\frac{1}{2,00} + \frac{1}{2,13} + \frac{1}{2,43} + \frac{1}{1,84} + \frac{1}{1,80}} \cong \frac{0,4032}{I_j} \quad (5.6)$$

Onde:

P_j = Peso atribuído pelos engenheiros clínicos ao fator j (que pode ser clínico, financeiro, qualidade, segurança, ou técnico) em uma proposta para aquisição de equipamentos médicos;

I_j = Importância do fator j (que pode ser I_{CL} , I_F , I_Q , I_S , I_T) calculada pelas Equações 5.1 a 5.5;

I_{CL} = Importância do fator clínico calculada pela Equação 5.1;

I_F = Importância do fator financeiro calculada pela Equação 5.2;

I_Q = Importância do fator qualidade calculada pela Equação 5.3;

I_S = Importância do fator segurança calculada pela Equação 5.4;

I_T = Importância do fator técnico calculada pela Equação 5.5.

A partir da Equação 5.6 podem-se encontrar os valores dos pesos normalizados para cada um dos fatores de avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos (vide Equações 5.7 a 5.11).

$$P_{CL} \cong \frac{0,4032}{I_{CL}} \cong \frac{0,4032}{2,00} \cong 0,2016 \quad (5.7)$$

Onde:

P_{CL} = Peso atribuído pelos engenheiros clínicos ao fator clínico;

I_{CL} = Importância do fator clínico calculada pela Equação 5.1.

$$P_F \cong \frac{0,4032}{I_F} \cong \frac{0,4032}{2,13} \cong 0,1893 \quad (5.8)$$

Onde:

P_F = Peso atribuído pelos engenheiros clínicos ao fator financeiro;

I_F = Importância do fator financeiro calculada pela Equação 5.2.

$$P_Q \cong \frac{0,4032}{I_Q} \cong \frac{0,4032}{2,43} \cong 0,1659 \quad (5.9)$$

Onde:

P_Q = Peso atribuído pelos engenheiros clínicos ao fator qualidade;

I_Q = Importância do fator qualidade calculada pela Equação 5.3.

$$P_S \cong \frac{0,4032}{I_S} \cong \frac{0,4032}{1,80} \cong 0,2240 \quad (5.10)$$

Onde:

P_S = Peso atribuído pelos engenheiros clínicos ao fator segurança;

I_S = Importância do fator segurança calculada pela Equação 5.4.

$$P_T \cong \frac{0,4032}{I_T} \cong \frac{0,4032}{1,84} \cong 0,2191 \quad (5.11)$$

Onde:

P_T = Peso atribuído pelos engenheiros clínicos ao fator técnico ;

I_T = Importância do fator técnico calculada pela Equação 5.5.

Assim, o modelo geral de avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos mostrado na Equação 4.4 poderá ser aproximado para a Equação 5.12.

$$NF_{EC} \cong 0,20F_{CL} + 0,19F_F + 0,17F_Q + 0,22F_S + 0,22F_T \quad (5.12)$$

Onde:

NF_{EC} = Nota final atribuída por um engenheiro clínico (EC) a uma determinada proposta de fornecimento de equipamento médico;

F_{CL} = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator clínico;

F_F = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator financeiro;

F_Q = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator qualidade;

F_S = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator segurança;

F_T = Nota obtida através da análise da proposta segundo os critérios do fator técnico.

Entretanto, falta investigar se os pesos atribuídos a cada um dos fatores na Equação 5.12 continuarão constantes, ou se mudarão de acordo com o tipo de equipamento médico a ser avaliado. Este problema é abordado na seção seguinte. Além disso, deve-se ressaltar que esta expressão geral representa engenheiros clínicos com o perfil descrito na subseção 5.1.1 e mostrado na Tabela 5.1.

5.2. Resultados do treinamento das RNA

Como visto na seção anterior, dos 32 questionários respondidos inicialmente, após análise de correlação restaram 19 questionários. Por conseguinte, sobrou um total de 95 exemplos para treinamento das RNA (= 19 questionários x 5 exemplos por questionário), os quais são mostrados na íntegra no apêndice G. Na Tabela 5.3 é mostrada a distribuição desses exemplos pelas categorias de classificação de equipamentos médicos.

Tabela 5.3 – Categorias (vide Tabela 4.9) utilizadas para fazer o treinamento e teste das redes neurais artificiais (vide apêndice G).

Categoria	Risco	Custo	Imp. Estratégica	Número de Exemplos
1	-1	-1	-1	17
---	-1	-1	0	0
---	-1	-1	+1	0
2	-1	0	-1	3
3	-1	0	0	1
---	-1	0	+1	0
4	-1	+1	-1	2
---	-1	+1	0	0
5	-1	+1	+1	3
---	0	-1	-1	0
6	0	-1	0	6
---	0	-1	+1	0
7	0	0	-1	5
---	0	0	0	0
8	0	0	+1	10
---	0	+1	-1	0
---	0	+1	0	0
---	0	+1	+1	0
9	+1	-1	-1	7
10	+1	-1	0	2
11	+1	-1	+1	4
12	+1	0	-1	8
13	+1	0	0	11
14	+1	0	+1	5
---	+1	+1	-1	0
15	+1	+1	0	1
16	+1	+1	+1	10
TOTAL				95

Na Tabela 5.3, foram numeradas como categorias apenas aquelas que possuíam amostras. Nessa mesma tabela, pode-se ver que há diversos exemplos para uma mesma categoria de entrada. Este fato pode ser confirmado no apêndice G, onde se verifica haver valores de saída diferentes para uma mesma entrada. Isto gera um ruído nas saídas das RNA e, ao mesmo tempo, limita os erros quadráticos médios a um valor mínimo de aproximadamente metade da variância média entre as amostras (vide demonstração em RAMÍREZ; CALIL, 2004 reproduzido no Apêndice C desta tese). No caso específico dos 95 exemplos utilizados nesta tese, a variância média encontrada foi de 0,2863. Assim, os valores mínimos possíveis dos erros quadráticos de estimação, validação e teste, serão da ordem de 0,15 (aprox. $0,2863 \div 2$).

Nesta seção, é feita uma análise dos melhores resultados encontrados durante o treinamento das RNA (subseção 5.2.1). Além disso, também é verificada a viabilidade de utilização de ensembles (subseção 5.2.2) e da implementação de técnicas para melhorar o desempenho das RNA (subseção 5.2.3). Os resultados completos do treinamento e teste das diversas arquiteturas de RNA estudadas (LMS, RN1 e RN2) são mostrados no Apêndice I desta tese.

5.2.1. Escolha do melhor modelo de RNA

A partir das tabelas mostradas no Apêndice I foram escolhidos os melhores modelos de RNA, de acordo com os critérios citados no capítulo 4 (vide subseção 4.5.4). Esses modelos são mostrados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resumo dos melhores resultados entre todos os experimentos realizados com os diversos modelos de RNA descritos no capítulo 4.

Modelo #		03	19	20	29	33	34
Tipo de RNA		LMS	RN1	RN1	RN2	RN2	RN2
Parâmetros da RNA	α	---	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	η	0,001	0,0005	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001
	m1	---	30	50	15	20	30
	m2	---	---	---	15	20	30
	epMáx	1.000	3.000	5.000	5.000	7.000	7.000
Duração do treinamento (seg.)		164	3.437	7.506	7.747	11.922	14.413
Principais Resultados do treinamento	Ep_V	296,2	311,1	502,7	2.346,1	3.010,2	3.684,0
	dpEpV	391,9	544,5	904,4	1.505,9	2.113,1	1.845,3
	EQMTe	0,2040	0,2211	0,2353	0,2160	0,2259	0,2383
	dpTe	0,0229	0,0394	0,0347	0,0360	0,0359	0,0488
	Corr	0,3811	0,8054	0,8517	0,8646	0,8842	0,9525
	dpCorr	0,1357	0,1109	0,0867	0,0820	0,0708	0,0479

Notas: α , η = coeficientes de inércia e de aprendizagem; m1, m2 = número de neurônios na 1ª e 2ª camadas escondidas; epMáx = época máxima de treinamento; Ep_V = média da época na qual ocorreu o erro quadrático mínimo de validação (e onde foram armazenados os pesos sinápticos finais) durante o treinamento do ensemble; dpEpV = desvio-padrão de Ep_V; EQMTe = média do erro quadrático do conjunto de amostras de teste na época Ep_V; dpTe = desvio-padrão de EQMTe; Corr = média da correlação das respostas do ensemble com a média das respostas dos engenheiros clínicos; dpCorr = desvio-padrão de Corr.

Observando-se a tabela 5.4 verifica-se que as maiores correlações entre as respostas desejadas e as saídas do ensemble de redes neurais artificiais ocorrem para as RNA dos tipos RN2 e RN1. Isso indica que a natureza do comportamento dos especialistas, cujo conhecimento está sendo adquirido, é não-linear, pois as RNA lineares (tipo LMS) não

conseguiram atingir um desempenho satisfatório em nenhuma das fases do treinamento (correlações finais menores que 0,4).

Como já foi mencionado anteriormente no capítulo 4, todos os resultados são a média de ensemble de 100 redes neurais artificiais. Por isso, como a quantidade de amostras era grande ($N = 100$), foi possível a verificação, através de testes de hipóteses com nível de significância 0,05 e análises de variância monofatoriais, das relações entre as médias dos erros quadráticos de teste (EQMTe) dos modelos de RNA mostrados na Tabela 5.3. O resumo destes testes é mostrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Resumo dos testes de hipóteses (nível 0,05) e análise de variância monofatorial (ANOVA1) com os erros quadráticos de teste (EQMTe) dos diversos modelos de RNA mostrados na Tabela 5.4.

EQMTe dos modelos de RNA		Testes com significância 0,05 ($H_0: X1 = X2$) vs. H_1			ANOVA1 Prob ($\text{var}X1 = \text{var}X2$)	Conclusão (Relação entre os EQMTe)
X1	X2	$H_1: X1 \neq X2$	$H_1: X1 > X2$	$H_1: X1 < X2$		
#03	#19	Ho Rejeitada	Ho Aceita	Ho Rejeitada	0,02 %	#03 < #19
#19	#20	Ho Rejeitada	Ho Aceita	Ho Rejeitada	0,74 %	#19 < #20
#20	#29	Ho Rejeitada	Ho Rejeitada	Ho Aceita	0,01 %	#20 > #29
#29	#33	Ho Rejeitada	Ho Aceita	Ho Rejeitada	4,21 %	#29 < #33
#33	#34	Ho Rejeitada	Ho Aceita	Ho Rejeitada	4,26 %	#33 < #34
#19	#29	Ho Aceita	Ho Aceita	Ho Aceita	32,71 %	#19 \approx #29
#20	#34	Ho Aceita	Ho Aceita	Ho Aceita	61,48 %	#20 \approx #34

A partir dos resultados mostrados na Tabela 5.5 podem-se relacionar os erros quadráticos de teste (EQMTe) dos modelos de RNA da Tabela 5.4, segundo a Equação 5.13.

$$\text{EQMTe}\#03 < \text{EQMTe}\#19 = \text{EQMTe}\#29 < \text{EQMTe}\#33 < \text{EQMTe}\#20 = \text{EQMTe}\#34 \quad (5.13)$$

Pela Equação 5.13, o *ensemble* de RNA, que apresenta o menor erro quadrático de teste, é o modelo #03, seguido de perto pelos modelos #19 e #29. Entretanto, como visto

na Tabela 5.4, as saídas do modelo #03 apresentam uma correlação muito baixa (menor que 0,4) com as respostas dos especialistas. Já nos modelos #19 e #29, esta correlação é superior em aproximadamente duas vezes (0,80 e 0,86 respectivamente). Assim, em princípio, decidiu-se escolher o **modelo #29** como o *ensemble* de RNA que **melhor representa as respostas do grupo de engenheiros clínicos estudado**.

Entretanto, falta investigar a viabilidade de utilizar *ensembles* (subseção 5.2.2) e da aplicação de técnicas para melhorar o desempenho das RNA, tais como *bagging* ou *boosting* (subseção 5.2.3).

5.2.2. Viabilidade de utilizar ensembles

Outro estudo pertinente sobre este problema em questão, é verificar a melhoria de desempenho das RNA ao serem utilizadas na forma de *ensembles*. No caso do modelo escolhido (#29), foram obtidas algumas informações estatísticas (vide Tabela 5.6) sobre a dispersão das respostas de cada uma das 100 RNA que compõem o *ensemble* representativo deste modelo.

Tabela 5.6 – Dispersão das respostas fornecidas pelas 100 RNA que compõem o *ensemble* do modelo #29.

Saídas correspondentes aos fatores	Dispersão do <i>ensemble</i>				Resposta final do <i>ensemble</i>	
	Erros quadráticos médios (EQM)		Correlações (Corr)			
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	EQM	Corr
Clínico (CL)	0.0439	0.0327	0.7153	0.1445	0.0066	0.9480
Financeiro (F)	0.0950	0.0530	0.5437	0.2261	0.0447	0.8231
Qualidade (Q)	0.0727	0.0327	0.5655	0.1949	0.0296	0.8367
Segurança (S)	0.0348	0.0274	0.7072	0.1526	0.0039	0.9507
Técnico (T)	0.0676	0.0399	0.5609	0.1791	0.0250	0.7644
MÉDIAS				0.0220	0.8646	

Na Tabela 5.6, pode-se verificar que a resposta final do *ensemble* de 100 redes neurais artificiais apresenta um desempenho melhor (menor erro quadrático médio e maior correlação em relação às respostas dos especialistas) do que as RNA que fazem parte do *ensemble* isoladamente. Quanto à dispersão do *ensemble*, pode-se notar também que os desvios-padrão nas correlações são relativamente altos (entre 20% e 40% do valor das médias), o que reforça ainda mais a utilidade do *ensemble*, pois a associação de redes neurais artificiais com respostas não-correlacionadas poderá explorar um espaço maior de hipóteses dentro das possíveis soluções para a RNA (vide Figura 3.9).

5.2.3. Aplicação de técnicas para melhoria de desempenho das RNA

A partir dos resultados encontrados nas subseções anteriores, podem-se fazer alguns comentários sobre a aplicação das técnicas de melhoria de desempenho de RNA (*bagging*, *arcing* e *boosting*) mostradas no capítulo 3:

- devido à natureza não-linear do problema estudado, não vale a pena aplicar essas técnicas aos modelos de RNA do tipo LMS, que são lineares, pois a combinação de saídas lineares (média simples ou ponderada do *ensemble*) sempre vai resultar em uma outra saída linear;
- devido aos bons resultados encontrados nos modelos de RNA do tipo RN1 e RN2 (erros quadráticos bem próximos do limite mínimo e correlações finais superiores a 0,85), talvez não se justifique aplicar essas técnicas para melhorar o desempenho dessas RNA.

Para verificar essa última afirmação, foi aplicada a técnica *bagging* à arquitetura de RNA descrita no modelo #29 (vide Tabela 5.4), com 25 *bootstraps* e 100 réplicas do experimento. Entretanto, para a implementação desta técnica, foi inviável utilizar o **computador Pentium com processador de 2,0 GHz** no qual foram treinadas as demais RNA. Ao usar-se este computador para treinar apenas 1 réplica de RNA com 25 *bootstraps*, foram gastos 2.007 segundos (vide os resultados do treinamento do **modelo bag029a** mostrado na Tabela I.5 do Apêndice I), ou seja, o tempo estimado de treinamento de 100 réplicas da RNA com 25 *bootstraps* ultrapassaria os 200.000 segundos (= 2.000 segundos por réplica x 100 réplicas). Isso representaria **mais de 55 horas de utilização ininterrupta do computador** (= 200.000 segundos divididos por 3.600 segundos por hora), correndo-se o risco de interrupções do treinamento devido a falhas de fornecimento de energia da rede elétrica.

Por isso, foi necessário fazer algumas adaptações para estudar a viabilidade de utilizar a técnica *bagging*:

- o treinamento das RNA foi feito por lote para aumentar a velocidade de processamento computacional, visto que dessa forma os exemplos de treinamento seriam apresentados simultaneamente à RNA, e não mais de maneira seqüencial;
- como os exemplos de uma mesma época seriam apresentados à RNA por lote, então não haveria a necessidade de tornar aleatória a ordem de apresentação dos exemplos. Este fato diminui a quantidade de processamentos por época e, com isso, proporciona um aumento da velocidade de treinamento;
- utilização de um computador mais robusto (**Pentium Xeon 3,06 GHz**) para implementar a técnica *bagging*.

Devido a necessidade de fazer o treinamento por lote da RNA para implementar o *bagging*, teve-se que treinar o modelo#29 por lote também, pois originalmente o treinamento deste modelo tinha sido seqüencial. Os resultados destes treinamentos são mostrados na Tabela I.5 do Apêndice I.

Na Tabela 5.7 é mostrada a comparação dos principais resultados desses experimentos, com os resultados do treinamento original do modelo #29.

Tabela 5.7 – Comparação dos principais resultados do treinamento do modelo#29 original (treinamento seqüencial), com os resultados da aplicação do treinamento por lote e os da implementação da técnica *bagging* (*ensemble* de 100 RNA com 25 *bootstraps* cada).

Modelo #29	Duração (seg)	Principais resultados do treinamento			
		EQMTe	dpEQMTe	Corr	dpCorr
Original*	7.747	0,2160	0,0360	0,8646	0,0820
Lote*	3.028	0,2204	0,0367	0,8739	0,0759
Bagging**	76.539	0,2133	0,0314	0,6140	0,1713

Notas: (*)utilização de computador Pentium 2,0 GHz; (**)utilização de computador Pentium Xeon 3,06 GHz; EQMTe = média do erro quadrático do conjunto de amostras de teste na época em que ocorreu o menor erro quadrático de validação; dpTe = desvio-padrão de EQMTe; Corr = média da correlação das respostas do ensemble com a média das respostas dos engenheiros clínicos; dpCorr = desvio-padrão de Corr.

Observando-se a Tabela 5.7, verifica-se que, o treinamento por lote diminuiu praticamente pela metade o tempo de treinamento, e, além disso, não alterou significativamente o ajuste aos dados (correlações similares) e a capacidade de generalização (EQMTe similares) da RNA original. Este último fato também foi comprovado através de testes de hipóteses a 0,05.

Também através de testes de hipóteses a 0,05, confirmou-se o que foi observado na Tabela 5.7, ou seja, a aplicação da técnica *bagging* não melhorou significativamente o valor do erro quadrático de teste (EQMTe) em relação aos EQMTe do modelo#29. Então, para o problema em estudo nesta tese, a técnica *bagging* somente aumentou consideravelmente o processamento computacional necessário para treinar a RNA modelo #29. Neste caso, especificamente, houve um aumento de quase 25 vezes do tempo de processamento computacional (compare os valores de duração de treinamento do *bagging* com o treinamento convencional por lote do modelo #29). Isto mostra indícios que o sistema onde o *bagging* foi aplicado é estável, pois conforme Breiman (1994), o *bagging* não terá resultados efetivos quando o sistema, no qual ele estiver sendo aplicado, for estável.

O raciocínio feito para o caso do *bagging* pode ser estendido para o *arcing* e o *boosting*, pois a necessidade de um maior processamento computacional, com conseqüente maior alocação de memória, somente compensará se os resultados, ao aplicarem-se esses métodos, forem muito superiores aos resultados originais. Como estes resultados originais já são considerados bons, e o processamento computacional para utilizar o *arcing* e o *boosting* será maior que o verificado ao usar-se o *bagging*, então **decidiu-se por não implementar estas técnicas de melhoria de desempenho** e, em princípio, escolher dentre os diversos modelos estudados, o modelo de RNA #29 (ensemble de 100 RNA com duas camadas escondidas com 15 neurônios cada) como aquele que melhor se ajusta aos dados com a menor perda possível de generalização.

5.3. Análise do modelo de RNA escolhido

Tomando-se o modelo #29 como o mais apropriado para representar os engenheiros clínicos com o perfil descrito na Tabela 5.1, partiu-se para o estudo do comportamento dessa rede neural artificial.

Inicialmente na Figura 5.7 é mostrada uma comparação entre as médias das respostas dos engenheiros e as saídas do modelo #29 para as entradas correspondentes às 16 categorias em que foram encontrados exemplos de equipamentos médicos, conforme visto na Tabela 5.3.

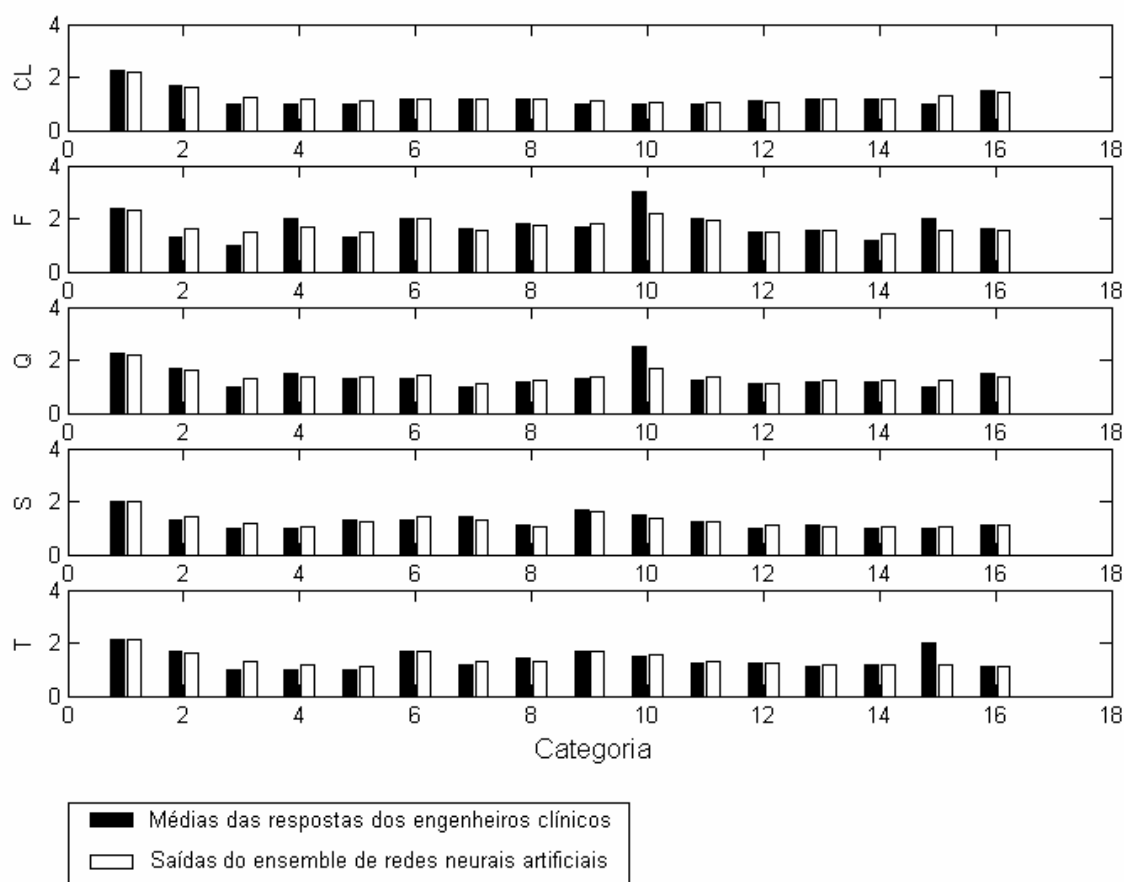


Figura 5.7 – Comparação das médias das respostas dos engenheiros clínicos para os fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) com as saídas da média de *ensemble* das RNA do modelo #29 (correlação média = 0,8646).

Prosseguindo-se a análise, como cada amostra era composta por três entradas¹ e cinco saídas², isto representava um hiperplano de decisão de oito (= 3 + 5) dimensões. Por isso, para poder visualizar parcialmente estes hiperplanos, em superfícies de três dimensões:

- foi fixada uma das três entradas em um dos níveis alto (+3), médio (+2) ou baixo (+1);
- as outras duas entradas assumiram valores entre os níveis baixo (+1) e alto (+3), e corresponderam aos eixos X e Y da superfície;
- foram plotados cinco gráficos, um para cada uma das saídas (CL, F, Q, S, T) representadas pelo eixo Z dos gráficos.

Algumas destas superfícies encontradas são mostradas na Figura 5.8. De maneira análoga à obtenção das superfícies mostradas nessa figura, foram traçados alguns gráficos mostrando o comportamento do modelo #29 para diversos valores das entradas risco, custo e importância estratégica. Entretanto, para facilitar a sua visualização não serão mostradas as superfícies inteiras, mas sim algumas secções destas (vide Figuras de 5.9 a 5.11).

¹ três entradas correspondentes à classificação de risco (R), custo (C) e importância estratégica (IE) do equipamento médico.

² cinco saídas referentes à importância dada aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T).

Importância dos fatores (CL, F, Q, S, T) para equipamentos de baixa importância estratégica

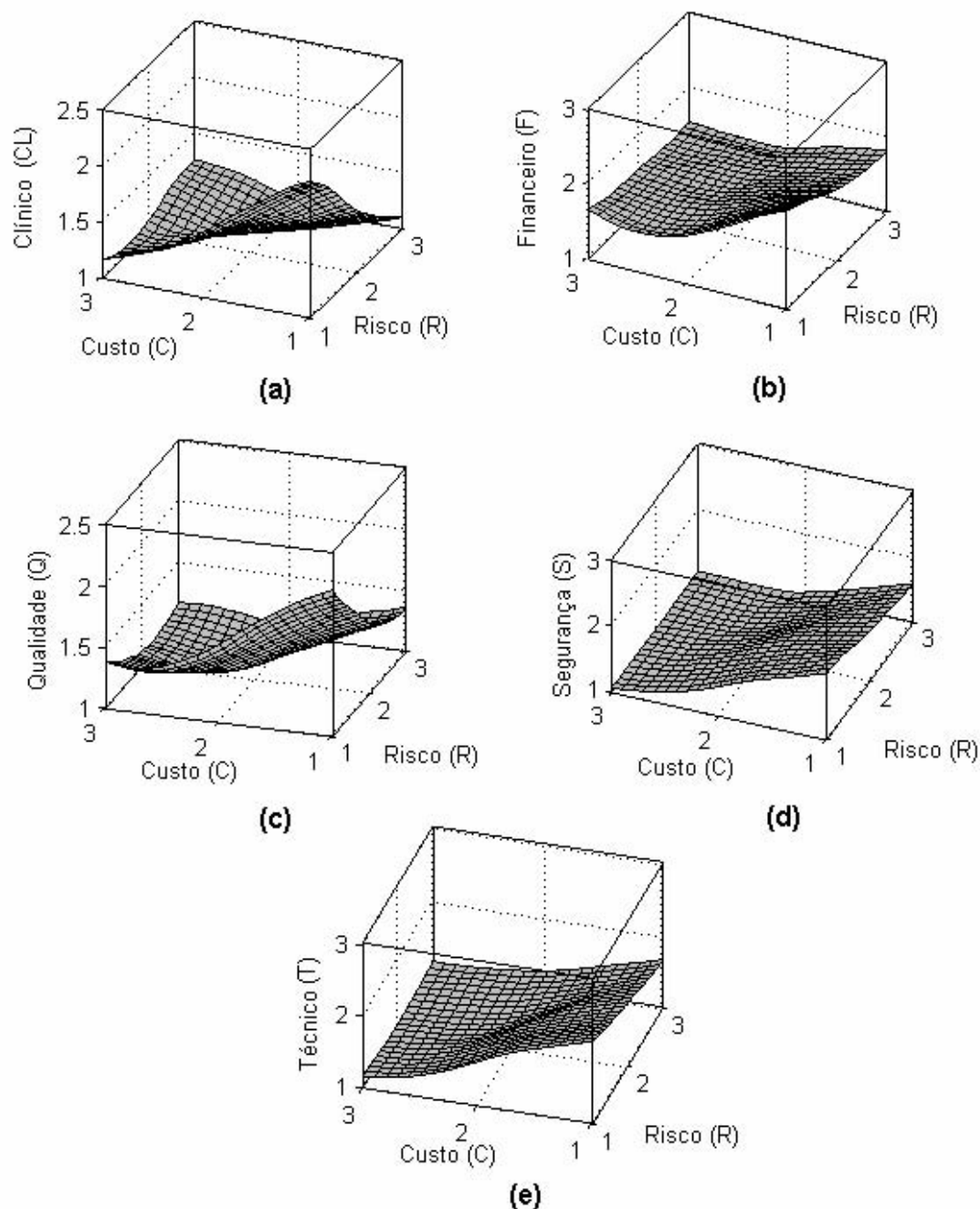


Figura 5.8 – Vistas parciais dos hiperplanos de decisão resultantes do *ensemble* com RNA do modelo #29, mostrando as saídas referentes aos fatores: (a) Clínico; (b) Financeiro; (c) Qualidade; (d) Segurança; e (e) Técnico, para equipamentos de baixa importância estratégica.

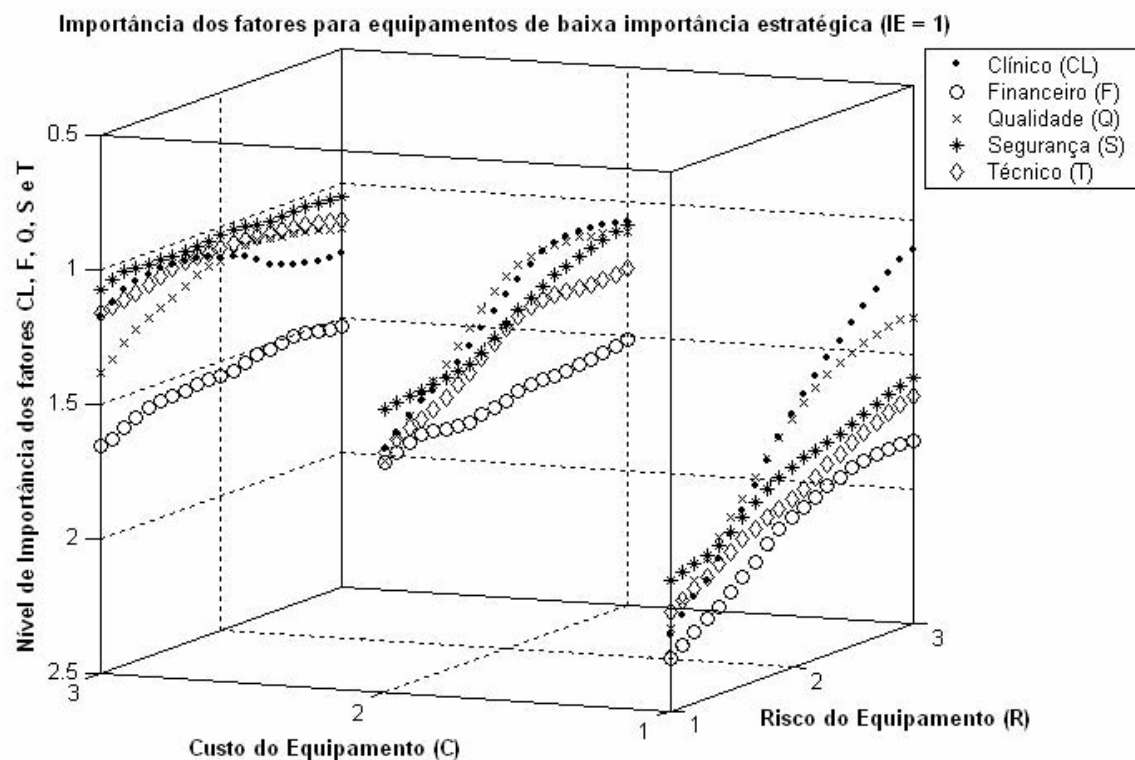


Figura 5.9 – Nível de importância atribuída pelo modelo #29 aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) para equipamentos médicos de baixa importância estratégica (entrada IE fixa em +1) e com diversas classificações de risco e custo (+1 = baixo; +2 = médio; +3 = alto). Observe que o eixo Z foi invertido, para facilitar a observação do gráfico (quanto maior a importância do critério na avaliação, menor será o valor do nível de importância).

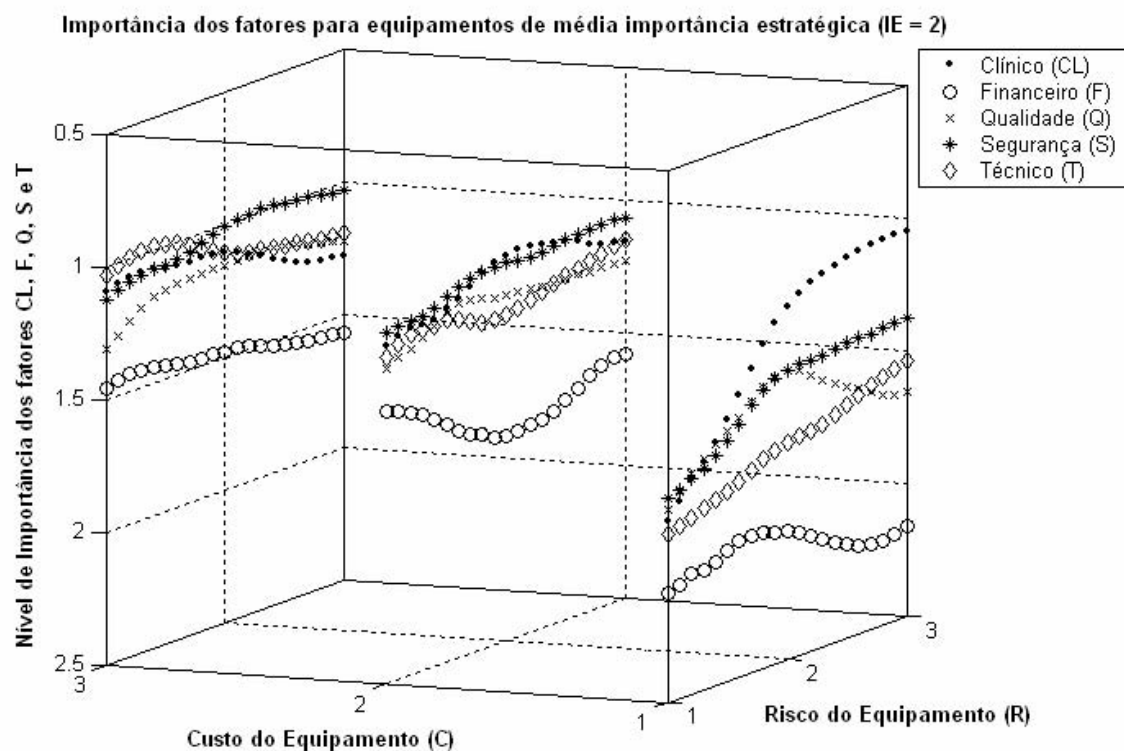


Figura 5.10 – Nível de importância atribuída pelo modelo #29 aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) para equipamentos médicos de média importância estratégica (entrada IE fixa em +2) e com diversas classificações de risco e custo (+1 = baixo; +2 = médio; +3 = alto). Observe que o eixo Z foi invertido, para facilitar a observação do gráfico (quanto maior a importância do critério na avaliação, menor será o valor do nível de importância).

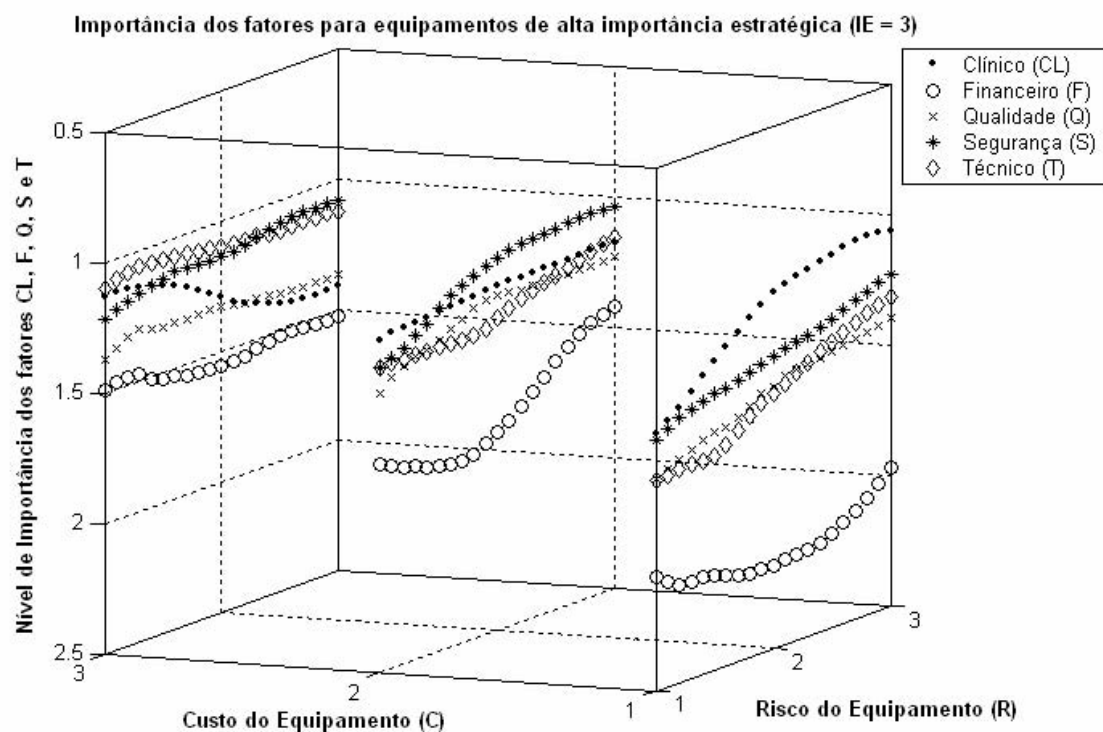


Figura 5.11 – Nível de importância atribuída pelo modelo #29 aos fatores clínico (CL), financeiro (F), qualidade (Q), segurança (S) e técnico (T) para equipamentos médicos de alta importância estratégica (entrada IE fixa em +3) e com diversas classificações de risco e custo (+1 = baixo; +2 = médio; +3 = alto). Observe que o eixo Z foi invertido, para facilitar a observação do gráfico (quanto maior a importância do critério na avaliação, menor será o valor do nível de importância).

A partir das Figuras de 5.9 a 5.11, onde está modelado o comportamento dos engenheiros clínicos consultados, pode-se fazer algumas constatações:

- a) o fator segurança está sempre relacionado positivamente com o risco do equipamento médico avaliado, independentemente do custo e/ou da importância estratégica desse equipamento. Isso significa que, quanto maior o risco que o equipamento apresentar na sua utilização, maior será o peso dos critérios relacionados com o fator segurança na avaliação do equipamento;
- b) todos os cinco fatores possuem aproximadamente a mesma importância, ou peso relativo, quando estão sendo avaliados equipamentos médicos que apresentam risco, custo e importância estratégica baixos;
- c) para equipamentos de custo alto, e com baixa ou média importância estratégica, diminui a importância dos critérios financeiros em relação aos demais critérios, ou seja, aumenta o peso relativo dos critérios pertencentes aos fatores clínico, qualidade, segurança e técnico.

Pode-se dizer que a constatação (a) é mais ou menos óbvia, pois por definição, o fator segurança está intimamente relacionado ao risco de utilização de um equipamento médico. A constatação (b) é coerente com os resultados encontrados na subseção 5.1.2 e refletidos na Equação 5.12 desta tese. Já a constatação (c) é coerente com o exposto no capítulo 2, pois para uma boa aquisição não se deve pensar apenas nos custos do equipamento. Além disso, esta última constatação reflete mais a visão específica de profissionais experientes, que, no caso de equipamentos de alto custo e média importância estratégica (tais como uma tomografia computadorizada ou uma ressonância magnética), existem poucas empresas fornecedoras, multinacionais na sua maioria, as quais oferecem

produtos de alta complexidade tecnológica a preços similares. Nesse caso, as diferenças entre as propostas serão devidas à qualidade e ao projeto do equipamento oferecido.

Com isso, conseguiu-se chegar em um modelo para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos. O modelo geral terá a forma mostrada na equação 4.4, na qual os pesos relativos dos cinco fatores propostos (clínico, financeiro, qualidade, segurança e técnico) irão variar de acordo com o custo, o risco e a importância estratégica do equipamento médico a ser avaliado. Esta variação de pesos pode ser modelada por um *ensemble* de 100 redes neurais artificiais do tipo perceptron de duas camadas escondidas com 15 neurônios em cada, cuja forma geral é mostrada na Figura 4.8 desta tese.

A partir dos resultados mostrados neste capítulo, pode-se tecer alguns comentários:

- como o tema deste trabalho é inédito, não é possível uma comparação dos resultados em relação ao que existe na literatura;
- a confiabilidade das respostas fornecidas pelo *ensemble* de redes neurais artificiais estará acima de 85%, pois o modelo escolhido apresentou correlação superior a 0,85 com as médias das respostas dos engenheiros clínicos.

Esta tese mostrou a viabilidade de se utilizar redes neurais artificiais para a representação do conhecimento de especialistas (engenheiros clínicos) durante um processo de avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos. Entretanto, para ser aplicada em problemas reais (o que facilitaria a sua validação através de estudos de caso), é necessário repetir os procedimentos mostrados nesta tese, aplicando-os desta vez nos

demais participantes típicos de comissões de planejamento e aquisição de equipamentos médicos, tais como: médicos, enfermeiras e administradores hospitalares, pois como mostrado em Ramírez e Calil (2004), a formação profissional irá influir nos pesos dos fatores de avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos.

Além disso, não foi possível implementar um estudo de caso para verificar, na prática, a validade das respostas das redes neurais artificiais, pois, ao invés de fazer uma consulta, composta por um grande número de questões, a apenas um ou dois engenheiros e comparar os resultados com algumas decisões reais dos mesmos, optou-se por fazer outra consulta que continha menos perguntas, de forma a envolver um número bem maior de engenheiros clínicos. Isto permitiu obter uma resposta de consenso sobre a variação dos pesos dos cinco fatores utilizados nesta pesquisa. Desta forma, o estudo de caso possível para o trabalho desenvolvido nesta tese levaria alguns anos para ser realizado, visto que seria necessária a validação dos pesos fornecidos pelas redes neurais artificiais através da aplicação destes pesos a um processo de aquisição real, com a posterior verificação (alguns anos mais tarde) do acerto das escolhas tomadas para essa aquisição.

6. Conclusões

Este trabalho deu uma nova contribuição para a área de Engenharia Elétrica, especificamente na parte de Engenharia Biomédica, através da inclusão de técnicas de inteligência artificial (IA) com abordagem conexionista em uma metodologia tradicional de Engenharia Clínica, a saber, o processo de tomada de decisão que envolve a avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos. Outros trabalhos de IA que envolvem este processo foram encontrados na literatura, mas todos eles se tratavam de sistemas especialistas utilizando apenas a abordagem simbólica, que é mais parecida com a linguagem humana e, talvez por isso mesmo, tenha sido escolhida pelos diversos autores consultados.

Neste capítulo são mostradas as conclusões da tese (seção 6.1) e algumas sugestões de trabalhos futuros (seção 6.2).

6.1. Conclusões do trabalho

A partir dos resultados desta tese, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- Durante a avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos, podem-se resumir os diversos critérios utilizados em cinco grupos (ou fatores): clínicos, financeiros, de qualidade, de segurança e técnicos;
- A nota final de uma determinada proposta, para aquisição de equipamentos médicos, poderá ser encontrada através de uma média ponderada dos cinco fatores citados anteriormente, cujos pesos dependerão do tipo de profissional consultado e do tipo de equipamento médico que está sendo avaliado;
- Devido às conclusões anteriores, o processo de tomada de decisão para avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos poderá ser representado – com pouca margem de erro final (correlações médias de 85% entre as respostas desejadas e as saídas das RNA) – por um *ensemble* de redes neurais artificiais; desde que se delimite adequadamente o problema e que sejam utilizados métodos apropriados de representação do conhecimento, os quais deverão harmonizar-se com a realidade dos especialistas envolvidos;
- A geração de exemplos para os conjuntos de treinamento e de teste é possível, pois a tomada de decisão geralmente envolve o uso de fórmulas (médias ponderadas) para atribuição de notas às propostas que estão sendo avaliadas. Isso facilita a criação de planilhas para simular esses processos de avaliação e, por conseguinte, também possibilita a obtenção do conjunto de exemplos para treinamento e teste das redes neurais artificiais;

- A maior dificuldade para a implementação deste trabalho consistiu em garantir que o conjunto de exemplos para treinamento e teste das redes neurais seja realmente representativo dos casos reais encontrados na prática da Engenharia Clínica no país. Por isso, é importante a aplicação de métodos estatísticos, tais como testes de variância e análises de correlação para selecionar as amostras que farão parte do conjunto de treinamento das redes neurais artificiais. Isto permite definir o perfil profissional dos especialistas consultados.

6.2. Sugestões de trabalhos futuros

Este trabalho adiciona novos conhecimentos através da proposta de uma metodologia para treinamento e teste de um módulo baseado em redes neurais, que posteriormente poderia ser conectado a uma interface simbólica para comunicação com os usuários, formando assim um sistema especialista híbrido (SEH) para auxílio na aquisição de equipamentos médicos. Nesse SEH, além das informações normalmente contidas em sistemas puramente simbólicos (tais como características técnicas e clínicas dos equipamentos), poderia ser fornecida aos usuários uma sugestão de pesos (os quais seriam determinados pelas redes neurais) para os fatores a serem utilizados na avaliação de propostas de aquisição.

Assim, em trabalhos futuros pretende-se:

- aprimorar a representação do conhecimento dos especialistas, através da aplicação de métodos para diminuir o número de redes neurais que compõem o ensemble, como o **clustering** proposto por Bakker e Heskes (2003), ou da utilização de novos modelos de neurônio (p. ex. neurônios baseados na lógica nebulosa);
- desenvolver um sistema especialista híbrido para auxílio na aquisição de equipamentos médicos, que seria composto por uma parte simbólica para servir de interface com o usuário e por um módulo de redes neurais inspirado neste trabalho.

Referências

- ALMEIDA, M.A.F. (1999), *Aprender Atividade Inteligente: e se Esta Inteligência for Parcialmente Artificial?* Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 102 p., set.
- ALTIERI, F. (2000), *Metodologia para Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares*. Monografia (Especialização em Engenharia Clínica) – Centro de Engenharia Biomédica da Universidade Estadual de Campinas (CEB/UNICAMP), Campinas, 30 p., jul.
- AMORIM, F.R.S. (1997), *Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares - Análise do Modelo Praticado no Hospital Universitário Lauro Wanderley e Sugestão de uma Metodologia de Aquisição*. Monografia (Especialização em Engenharia Clínica) – Núcleo de Estudos e Tecnologia em Engenharia Biomédica da Universidade Federal da Paraíba (NETEB/UFPB), João Pessoa, 29 p., out.
- ANTUNES, E; VALE, M.; MORDELET, P.; GRABOIS, V. (2002), *Gestão da Tecnologia Biomédica – Tecnovigilância e Engenharia Clínica*. Paris: Éditions Scientifiques ACODESS, 210 p.
- ANTÚNEZ, S. (2000), *Planejamento Estratégico para Substituição e Incorporação de Tecnologias na Área de Saúde*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 90 p., fev.
- ANTÚNEZ, S.; GARCIA, R. (2000), *Estabelecimento de Critérios de Avaliação Tecnológica*.

Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, Florianópolis, p. 392-395, 11-13 set.

ATALAYA, A.; PIÑEYRO, J.; YABAR, L. (2002), Procedimiento Utilizado por una Unidad de Ingenieria Clinica en la Adquisicion de Equipos Biomedicos. *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, São José dos Campos, Vol. 4/5, p. 115-119, 09-12 set.

BAKKER, B.; HESKES, T. (2003), Clustering Ensembles of Neural Network Models. *Neural Networks*, V. 16, p. 261-269.

BÄRMAN, F.; BIEGLER-KÖNIG, F. (1992), On a Class of Efficient Learning Algorithms for Neural Networks. *Neural Networks*, vol. 5, n. 01, p. 139-144.

BARRETO, J. M. (2001), *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*, 3ed., Florianópolis: *ppp* edições, 392p.

BARRETO, J.M. (2000), Inteligência Artificial e Engenharia Biomédica: Casamento Perfeito ou Amantes Eternos? *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Florianópolis, p. 59-66, 11-13 set.

BARRETO, J.M. (1995), Notas de Aulas da Disciplina Lógica Nebulosa. Mestrado em Engenharia Elétrica – GPEB – USFC.

BESKOW, W.B. (2001), *Sistema de Informação para o Gerenciamento de Tecnologia Médico-Hospitalar: Metodologia de Desenvolvimento e Implementação de Protótipo*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 229 p., mai.

BLANCHARD, S.M. (2000), Anatomy and Physiology *In*: J. ENDERLE; S.M. BLANCHARD; J.D. BRONZINO (Orgs.) – *Introduction to Biomedical Engineering*. San Diego: Academic Press, p. 29-78, 1062p.

- BLANCHARD, S.M.; LUCAS, C.; WRIGHT, S. (2000), Biosignal Processing *In*: J. ENDERLE; S.M. BLANCHARD; J.D. BRONZINO (Orgs.) – *Introduction to Biomedical Engineering*. San Diego: Academic Press, p. 233-278, 1062p.
- BLUMBERG, D.F. (1998), New Trends in High-Technology Health Care Support Services. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 32, n. 06, p. 592-604.
- BRASIL (2002a), Ministério da saúde. Boas Práticas de Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/produtossaude/auto/bo-as.htm>>. Acesso em: 29 de outubro de 2002.
- BRASIL (2002b), Ministério da saúde. Projeto Reforsus. Disponível em <<http://www.reforsus.saude.gov.br>>. Acesso em: 29 de outubro de 2002.
- BRASIL (2002c), Ministério da saúde. Regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos em estabelecimentos assistenciais de saúde. Resolução – RDC n. 50, de 21 de fevereiro de 2002. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/rdc%2050%202002%20assina-tura.doc>>. Acesso em: 29 de outubro de 2002.
- BRASIL (2001a), Ministério da saúde. Plano de Trabalho da Unidade de Tecnovigilância. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/tecnovigilancia/plano_tecno.htm>. Acesso em: 29 de outubro de 2002.
- BRASIL (2001b), Ministério da saúde. Projeto Hospitais Sentinela. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/tecnovigilancia/oficina_consolidada/tor_projeto_hospitais_sentinela.doc>. Acesso em: 29 de outubro de 2002.
- BRASIL (1999), Ministério da saúde. Resolução – RE n. 444, de 31 de agosto de 1999. *Diário Oficial da União*, Brasília, 01 de set. 1999. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/444_99re.htm>. Acesso em: 29 de outubro de 2002.

- BRASIL, L.M. (1994a), *Aquisição do Conhecimento Aplicado ao Diagnóstico de Epilepsia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 302 p., mai.
- BRASIL (1994b), Ministério da Saúde. Portaria n. 2.043, de 12 de dezembro de 1994. *Diário Oficial da União*, Brasília, 13 de dez. 1994. Seção 1, p. 19.314.
- BRASIL (1994c), Ministério da Saúde. *Equipamentos para estabelecimentos assistenciais de saúde*; planejamento e dimensionamento. Brasília, 239p.
- BRASIL (1993), Casa Civil. Lei n. 8.666, de 21 de junho de 1993. *Diário Oficial da União*, Brasília, 22 de jun. 1993. Disponível em <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm>. Acesso em: 01 de março de 2004.
- BREIMAN, L. (1996), *Arcing Classifiers*. Technical Report 460, Statistics Department, University of California, Berkeley. 23 p.
- BREIMAN, L. (1994), *Bagging Predictors*. Technical Report 421, Statistics Department, University of California, Berkeley. 19 p.
- BRONZINO, J.D. (1992), *Management of Medical Technology: a Primer for Clinical Engineers*. Stoneham: Butterworth-Heinemann, 452 p.
- BRONZINO, J.D. (2000a), Biomedical Engineering: a Historical Perspective *In*: J. ENDERLE; S.M. BLANCHARD; J.D. BRONZINO (Orgs.) – *Introduction to Biomedical Engineering*. San Diego: Academic Press, p. 01-28, 1062p.
- BRONZINO, J.D. (2000b), Clinical Engineering and Electrical Safety *In*: J. ENDERLE; S. BLANCHARD; J.D. BRONZINO (Orgs.) – *Introduction to Biomedical Engineering*. San Diego: Academic Press, p. 943-976, 1062p.
- CALIL, S.J. (2004), Notas de Aulas da Disciplina de Engenharia Clínica. Especialização em

Engenharia Clínica – UNICAMP.

- CALIL, S.J. (2001), Análise do Setor de Saúde no Brasil na Área de Equipamentos Médico-Hospitalares *In*: B. NEGRI; G. DI GIOVANNI (Orgs.) – *Brasil: Radiografia da Saúde*. Campinas, SP: UNICAMP. Instituto de Economia, p. 91-121, 588p.
- CALIL, S.J. (2000), Critérios para a Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Florianópolis, p. 38-45, 11-13 set.
- CALIL, S.J. (1994), The Medical Equipment Acquisition Problems in Brazil and most of Latin American Countries. *Medical Progress Through Technology*. V. 20, n. 1-2, p.111-114.
- CALIL, S.J.; GOMIDE, E.T. (2002), *Equipamento Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: Capacitação a distância/Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde, Projeto REFORSUS* – Brasília, DF: Ministério da Saúde. 720p.
- CALIL, S.J.; TEIXEIRA, M.S. (1998), *Série Saúde & Cidadania / Vol. 11: Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos Hospitalares*. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 108 p.
- CAPUANO, M. (1997), Technology Acquisition Strategies for Clinical Engineering. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 31, n. 04, p. 335-357.
- CHARNIAK, E.; McDERMOTT, D. (1985), *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Massachussets, USA.
- CICARELLI NETO, M. (2003), *Aplicação do Método de Custeio ABC na Manutenção de Equipamentos Médico-Hospitalares*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina (DEEL/CTU/UEL), Londrina, 61 p., dez.
- COELLI, F.C. (2002), *Avaliação de Desempenho de Aparelhos de Raios-X no Hospital Municipal Miguel Couto, Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –

Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ), Rio de Janeiro, 75 p., mai.

COHEN, M.D.; HAWES, D.R.; HUTCHINS, G.D.; McPHEE, W.D.; LaMASTERS, M.B.; FALLON, R.P. (2000), Activity-based Cost Analysis: A Method o Analizing the Financial and Operating Performance of Academic Radiology Departments. *Radiology*, V.215, n. 3, p.708-716.

CORNIALI, M.C.D.S.; LEITE, H.J.D. (2002), Engenharia Clínica e Arquitetura Hospitalar *In:* A.P.A. CARVALHO (Org.) – *Temas de Arquitetura de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde*. Salvador: Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Arquitetura, p. 105-121, 235 p.

CRAM, N. (1999), Using Medical Technology Assessment as a Tool for Strategic Planning. *Journal of Clinical Engineering*, V. 24, n. 2, p. 113-123.

CRAM, N.; GROVES, J.; FOSTER, L. (1997), Technology Assessment – a Survey of the Clinical Engineer's Role within the Hospital. *Journal of Clinical Engineering*, V. 22, n. 6, p. 373-382.

DAVID, Y. (1993), Technology Evaluation in a US Hospital: the Role of Clinical Engineering. *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, V.31, p. HTA28-HTA32.

DAVIS, C.E. (1992), Managing the Replacement of Laser Inventory. *Journal of Clinical Engineering*, v.17, n.5, p.399-404.

DAZZI, R.L.S. (1999), *Sistemas Especialistas Conexionistas: Implementação por Redes Diretas e Bidirecionais*. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 124 p., set.

DIETTERICH, T.G. (2000), Ensemble Methods in Machine Learning *in: Proc. International*

- Workshop on Multiple Classifier Systems (MCS)*, LNCS 1857, p. 1-15, Italy, Springer, 2000.
- DOMINGOS, J.C.; GARCIA OJEDA, R. (1998), Formulário para Especificação Técnica de Eletrocardiógrafo. *Anais do IV Fórum de Ciência e Tecnologia em Saúde*, p. 145-146, Curitiba, 18-22 out.
- DYRO, J.F. (1998), *Selection and Acquisition of Equipment*. Workshop de Gestão e Tecnologia em Saúde – São Paulo: Senac, out., 62 p.
- EMERGENCY CARE RESEARCH INSTITUTE – ECRI (2004), *Healthcare Product Comparison System*, CD-ROM, Plymouth Meeting, USA, jul.
- EDDY, D.M. (1991), Oregon's Methods: Did Cost-effectiveness Analysis Fail? *JAMA*, V. 266, n.15, p.2135-2141.
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. (1993), *An Introduction to the Bootstrap*. New York: Chapman & Hall. 436 p.
- ESPERANÇA, C.G.; VERGARA GALEANO, J.C.; GARCIA OJEDA, R. (1998), A Engenharia Clínica e o Processo de Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares. *Anais do IV Fórum de Ciência e Tecnologia em Saúde*, p. 143-144, Curitiba, 18-22 out.
- FERREIRA FILHO, J.A.; CALIL, S.J.; LIMA, P.C. (1996), O Custeio por Atividades no Departamento de Engenharia Clínica. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Campos do Jordão, Vol. 1, p. 165-166, 13-17 out.
- FERREIRA, A.B.H. (1999), *Novo Aurélio Século XXI: O Dicionário da Língua Portuguesa*. 3ª. Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 2128 p.
- FERREYRA RAMÍREZ, E.F. (1996), *Metodologia de Priorização de Equipamentos Médicos para Programas de Manutenção Preventiva em Hospitais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade

Estadual de Campinas (FEEC-UNICAMP), Campinas, 82 p., dez.

FERREYRA RAMÍREZ, E.F.; CALDAS, E.C.; SANTOS Jr., P.R. (2002), *Manual Hospitalar de Manutenção Preventiva*. Londrina: Editora da Universidade Estadual de Londrina (EDUEL), 180 p.

FISCHLER, M.A.; FIRSCHEIN, O. (1987), *Intelligence: The Eye, the Brain, and the Computer*. Reading, MA: Addison-Wesley.

FORREST, W. (1997), Don't Buy a Box. Buy a Solution... *Healthcare Technology Management*, V. 8, n. 2, p. 36-37.

FUGLESTAD, S. (1997), Clinical and Financial Decision-Support Software Help Measure Cost and Quality. *Healthcare Technology Management*, V. 08, n.11, p. 30-31.

FURTADO, A.T.; SOUZA, J.H. (2001), Evolução do Setor de Insumos e Equipamentos Médico-Hospitalares, Laboratoriais e Odontológicos no Brasil: a Década de 90 *In*: B. NEGRI; G. DI GIOVANNI (Orgs.) – *Brasil: Radiografia da Saúde*. Campinas, SP: UNICAMP. Instituto de Economia, p. 63-90, 588p.

FURTADO, J. (2001), A Indústria de Equipamentos Médico-Hospitalares: Elementos para uma Caracterização da sua Dimensão Internacional *In*: B. NEGRI; G. DI GIOVANNI (Orgs.) – *Brasil: Radiografia da Saúde*. Campinas, SP: UNICAMP. Instituto de Economia, p. 45-61, 588p.

GARCIA OJEDA, R. (1992), *Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Apoio à Decisão Médica na Especialidade de Anestesiologia*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 229 p., jul.

GOMES, A.C.; GOMES, A.C. (1998), Incorporação de Novas Tecnologias nos Sistemas de Atenção à Saúde. *Anais do IV Fórum de Ciência e Tecnologia em Saúde*, p. 123-124,

Curitiba, 18-22 out.

GRAY, J.E.; MORIN, R.L. (1989), Purchasing Medical Imaging Equipment. *Radiology*, V. 171, n. 01, p. 09-16.

GROENEVELD, P.W.; KWONG, J.L.; LIU, Y.; RODRIGUEZ, A.J.; JONES, M.P.; SANDERS, G.D.; GARBER, A.M. (2001), The Cost-Effectiveness of Automated External Defibrillators on U.S. Airlines. Technical Report, Center for Health Policy, Stanford University, Stanford, CA, USA. 26 p.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. (2002) *Tratado de Fisiologia Médica*. 10 ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 973p.

HANSEN, K.; HANSEN, L. (2003), A New Perspective on Clinical Technology Management. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 37, n. 3, p.181-189.

HAWKINS, F.G. (1992), A Review of Issues in Hospital Technology Acquisition. *Journal of Clinical Engineering*, V. 17, n. 01, p. 35-41.

HAYKIN, S., *Redes Neurais: Princípios e Prática* – trad. P.M. ENGEL, 2. ed., Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.

HECHT-NIELSEN, R. (1990), *Neurocomputing*. Addison-Wesley Publishing Company, New York.

IDEC - Instituto de Defesa do Consumidor (2003), *Pesquisa do Idec Mostra que Agências e Órgãos Reguladores Apresentam Desempenho Insatisfatório*. Website: <<http://www.idec.org.br/paginas>> visitado em 12 de Março de 2003.

KALES, D. (1998), Looking for a New Lease on Life-Cycle. *Healthcare Technology Management*, V. 9, n. 7, p. 24-29.

KATZ, Z. (1998), *Estudo de Metodologias Econômicas e Multiparamétricas Aplicadas à Decisão de Substituição de Equipamentos Médicos*. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Elétrica) – Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (CPG/FEEC/UNICAMP), Campinas, 102 p., dez.

KELLER, R. (1991), *Tecnologia de Sistemas Especialistas: Desenvolvimento e Aplicação*. São Paulo: Makron, McGraw-Hill. 292 p.

KOLZER, J.F.; VIEGAS, F.; ROCCO, E.; GARCIA OJEDA, R. (2002), Aquisição de Equipamentos de Ultra-Sonografia Diagnóstica. *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, V. 2/5, p. 13-18, São José dos Campos, 9-12 set.

KOVÁCS, Z.L. (1996), *Redes Neurais Artificiais: fundamentos e aplicações*. Edição Acadêmica, São Paulo, 163p.

LAUFMAN, H. (2002), Are Engineers Unsung Heroes of Medical Progress?: The Historic Bond Between Physics, Engineering, and Medicine. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 36, n. 5, p.325-334.

LECUN, Y. (1993), *Efficient Learning and Second-order Methods*. Tutorial no NIPS 93, Denver, USA.

LECUN, Y. (1989), *Generalization and Network Design Strategies*. Technical Report CRG-TR-89-4, Department of Computer Science, University of Toronto, Canada.

LEE, P.D. (1995), The Role of Appropriate Medical Technology Procurement and User Maintenance Instructions in Developing Countries. *Journal of Clinical Engineering*, V. 20, n. 05, p. 407-413.

LEITE, F. (2003), Hospitais de SP Agonizam, Revela Pesquisa. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 22 jun. 2003. Caderno cotidiano, p.01.

LIMA, C.A.M. (2004), *Comitê de Máquinas: Uma Abordagem Unificada Empregando Máquinas de Vetores-Suporte*. Tese (Doutorado em Engenharia de Computação) –

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (FEEC-UNICAMP), Campinas, 314 p., dez.

LOPES, A.F. (1993), *Avaliação do Processo de Aquisição de Equipamentos Médicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ), Rio de Janeiro, 95 p., mar.

LOPES, A.F.; VIEIRA, C.R.S. (1992), O Processo de Aquisição de Equipamentos Médicos. *Anais do I Fórum Nacional de Ciência e Tecnologia em Saúde*, p. 409-412.

LUCATELLI, M.V. (1998), *Estudo de Procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 143 p., fev.

McCULLOCH, W.; PITTS, W. (1943), A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, V. 5, p. 115-133.

MEIR, R.; RÄTSCH, G. (2003), An Introduction to Boosting and Leveraging. *Advanced Lectures on Machine Learning*, LNCS, p. 119-184. Springer. Disponível em <<http://www-ee.technion.ac.il>>. Acesso em 15 de Dezembro de 2004.

MINSKY, M.L.; PAPERT, S.A. (1969), *Perceptrons: an Introduction to Computational Geometry*. The MIT Press, Massachusetts, USA.

MOULAVI, D.; BUSHY, A.; PETERSON, J.; STULLENBARGER, E. (1999), Factors to Consider When Buying a Mobile Health Unit. *Journal of Nursing Administration*, V. 29, n. 02, p. 34-41.

MÜLLER Jr., E.L. (2000), *Sistema de Apoio ao Planejamento de Serviços Hospitalares e Especificação de Equipamentos Médicos*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) –

- Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas (CPG/FEEC/UNICAMP), Campinas, 174 p., ago.
- MÜLLER Jr., E.L.; PEDROSO, J.C.L. (2002), Aquisição de Equipamentos Médicos *In*: S.J. CALIL; E.T. GOMIDE (Orgs.), Equipamento Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: Capacitação a distância/Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde, Projeto REFORSUS – Brasília, DF: Ministério da Saúde. p. 153-180, 720 p.
- MUSCHLITZ, L. (1997), New Reasons to Share Risk on Equipment Ownership. *Healthcare Technology Management*, V. 8, n. 3, p. 24-27.
- NELSON, L. (1999), Step-by-step guide to selecting mobile wireless devices. *Nursing Management*, v.30, n.11, p.12-13.
- NELSON, R.E.; STEARS, J.G.; BARNES, G.T.; GRAY, J.E. (1992) Acceptance testing of radiological systems: experience in testing 129 imaging systems at two major medical facilities. *Radiology*. v.183, n.2, p.563-567.
- PANERAI, R.B.; MOHR, J.P. (1990), *Evaluación de Tecnologías en Salud, Metodologías para Países en Desarrollo*. Organización Panamericana de la Salud.
- PANOUSIS, S.G.; MALATARAS, P.; KOLITSIS, Z.; GLOUHOVA, M.; GUEORGUIEV, T.; KOLEVA, K.S.; STAVREV S.; PALLIKARAKIS, N. (1997), A Study on the Current Situation in the Biomedical Technology and Clinical Engineering Sector in Bulgaria - Advances, Trends and Needs. *Journal of Clinical Engineering*, V. 22, n. 6, p. 391-399.
- PENCO, M.C.C.; RAMIREZ, E.F.F. (2004), Proposta para Avaliação Quantitativa para Aquisição de Equipamentos Médicos. *Semina: Ci. Exatas Tecnol.* v.25, n.1, p. 107-112.
- PINKER, S. (2004), *Como a Mente Funciona*. 2 ed., São Paulo: Companhia das Letras, 1999. 666 p.

- RAMIREZ, E.F.F. (2002), Implantação de Serviços de Engenharia Clínica no HURNP/UEL. *Semina: Ci. Exatas Tecnol.* v.23, n.1, p. 67-76.
- RAMIREZ, E.F.F., JERONYMO NETO, O., JANNANI, J. (2001), Método para Avaliação de Propostas de Compra de Equipamentos Médicos. *Semina: Ci. Exatas Tecnol.* v.22, n.1, p. 3-11.
- RAMIREZ, E.F.F.; BARATTO, G., CALIL, S.J. (2004), Auxílio na Decisão para Aquisição de Equipamentos Médicos Utilizando Redes Neurais Artificiais. *Anais do III Congresso Latino Americano de Engenharia Biomédica / XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*. João Pessoa, Brasil, 22-25 set.
- RAMIREZ, E.F.F.; BARATTO, G., CALIL, S.J. (2003), Using Neural Networks to Select Medical Equipment Purchasing Proposals. *Proc. WC2003 - World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Sydney, Australia, 24-29 August.
- RAMIREZ, E.F.F.; CALIL, S.J. (2004), Análise da Aquisição de Equipamentos Médicos Utilizando Redes Neurais Artificiais. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*. Ribeirão Preto, Brasil, 07-10 nov.
- RAMÍREZ, E.F.F.; CALIL, S.J. (2000), Engenharia Clínica: Parte I – Origens (1942-1996). *Semina: Ci. Exatas/Tecnológicas*. Londrina, V. 21, n. 4, p. 27-33 dez.
- REFENES, A.P.N.; BURGESS, A.N.; BENTZ, Y. (1997), Neural Networks in Financial Engineering: A Study in Methodology. *IEEE Transactions on Neural Networks*, V. 8, n.6, p.1222-1267.
- RIBEIRO, H.C.S. (1987), *Introdução aos Sistemas Especialistas*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora. 142 p.
- RICH, E.; KNIGHT, K. (1994), *Inteligência Artificial*, 2ª ed., São Paulo: Makron Books.
- ROCHA, L.S.; BASSANI, J.W.M. (2002), Custeio Baseado em Atividades Aplicado à

- Engenharia Clínica. *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, São José dos Campos, Vol. 4/5, p. 78-82, 09-12 set.
- SAGE, A.P. (1990), *Concise Encyclopedia of Information Processing in Systems and Organizations*. New York: Pergamon.
- SANCHES, E.A. (2003), *Utilização do Método ABC para determinação da Relação Custo-Benefício para Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina (DEEL/CTU/UEL), Londrina, 71 p., dez.
- SANTOS, E.A.; ALMEIDA, R.M.V.R. (1996), Caracterização do Uso de uma Tecnologia Diagnóstica de Alto Custo (Tomografia Computadorizada) em Municípios do Estado do Rio de Janeiro. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Campos do Jordão, Vol. 1, p. 401-402, 13-17 out.
- SHANNON, C.; MCCARTHY, J. (1956), *Automata Studies*. New Jersey: Princeton University Press.
- SHORTLIFE, E.H. (1974), *MYCIN: a Rule-based Computer Program for Advising Physicians Regarding Antimicrobial Therapy Selection*. Tese (Doutorado em Ciências da Computação). Stanford University, California, USA.
- SILVA Jr., L.C. (2004), *Solicitmed: Software para Auxílio em Processos de Licitações de Equipamentos Médico-Hospitalares*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina (DEEL/CTU/UEL), Londrina, 74 p., dez.
- SIMMONS, D.A.; WEAR, J.O. (1988), *Clinical Engineering Manual*. 3. ed. Scientific Enterprises, North Little Rock, AR, USA.

- SIMON, H.A. (1969), The Architecture of Complexity In: H.A. SIMON (Org.) – The Sciences of the Artificial. Cambridge, Mass., MIT Press.
- SOUZA, M.C.D. (2001), *Estratégia para Elaboração da Nomenclatura de Produtos Médicos em Português*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, 135p., mar.
- SOUZA, M.C.D.; SILVEIRA, M.; SILVA, J.F. (2000), Análise do Processo de Aquisição de Equipamento Odonto-Médico-Hospitalar para a SESAB – Estudo de Caso: Projeto Reforsus. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, p. 418-422, Florianópolis, 11-13 set.
- STIEFEL, R. (1988), Equipment Acquisition. In: J.G. WEBSTER – *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, New York: John Wiley & Sons, 1988, 4 vols., p. 1215-1219.
- STIEFEL, R.; RISKALLA, E. (1995), The Elements of a Complete Product Evaluation. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 29, n. 6, p. 482-488.
- TAWFIK, B. (1994), Evaluating Medical Equipment Needs: a Simple Algorithm. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 28, n. 03, p. 187-194.
- TOLOSA FILHO, B. (2003), *Pregão: uma Nova Modalidade de Licitação*. Rio de Janeiro: Editora Forense, 194 p.
- TOMASELLO, M. (2003), *Origens Culturais da Aquisição do Conhecimento Humano*. São Paulo: Martins Fontes, 2003. 342 p.
- TOMASELLO, M.; KRUGER, A.C.; RATNER, H.H. (1993), Cultural Learning. *Behavioral and Brain Sciences*, V. 16, p. 495-552.
- TROTTA, L.T.F. (1998), *Estabelecimento de Prioridades em Saúde: uma Abordagem Multicritério*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ),

Rio de Janeiro, 158 p., dez.

TROTTA, L.T.F.; GOMES, L.F.A.; NOBRE, F.F. (1996), Priorização de Alternativas em Saúde com Múltiplos Critérios – Utilização do Apoio Multicritério à Decisão. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Campos do Jordão, Vol. 2, p. 733-734, 13-17 out.

UHR, A.P.; MAZZOLA, A.A.; BACELAR, A.; SANVITTO, P.C.; THIESEN, V.L.P. (1996), Testes de Aceitação em Equipamentos de Radiologia. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Campos do Jordão, Vol. 1, p. 397-398, 13-17 out.

VERGARA GALEANO, J.C. (1999), *Procedimentos de Aquisição de Equipamentos Médico-Assistenciais: uma Ferramenta Computadorizada de Apoio*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 166 p., abr.

VON ZUBEN, F.J. (2003), Uma Caricatura Funcional de Redes Neurais Artificiais. Curso A: *VI Congresso Brasileiro de Redes Neurais / VII Escola de Redes Neurais*, São Paulo, 2-5 jun. 11 p.

VON ZUBEN, F.J.; ANDRADE NETTO, M.L. (1995), Aprendizado Construtivo para Redes Neurais com uma Camada Intermediária. *Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, Curitiba, p. 283-288, 13-15 set.

WANG, B.; CALIL, S.J. (1991), Clinical Engineering in Brazil: Current Status. *Journal of Clinical Engineering*, V. 16, n. 2, p. 129-135.

ZADEH, L.A. (1965), Fuzzy Sets. *Information and Control*. V. 8, n. 1 (January, 1965), p. 338-353.

APÊNDICE A

**Texto completo de Ramírez; Baratto; Calil (2003) publicado no “World Congress on Biomedical Engineering”
(Sydney – Austrália)**

Using Neural Networks to Select Medical Equipment Purchasing Proposals

EFF Ramírez¹, G Baratto¹, SJ Calil²

¹Department of Electrical Engineering / State University of Londrina, Parana, Brazil

²Department of Biomedical Engineering / State University of Campinas, Sao Paulo, Brazil

Abstract – During the last years, due to the increasing financial pressures, the medical equipment acquisition process is becoming a critical problem for the management of healthcare technology inside modern hospitals, because questions as cost-effectiveness still challenge healthcare providers. Thus, systematization of this process will allow the hospital managers to establish a method for better evaluation of the equipment characteristics and a common basis to negotiate with the supplier. In this context, Artificial Neural Networks (ANN) represents a promising technology. Due to its learning capacity from input data with or without a teacher, it can be applied on several fields of knowledge as modeling and pattern recognition. It can also be used during a medical equipment acquisition process due to their heuristic nature and generalizing capability, that reminds the human thinking.

This work presents an ANN model that emulates the mode of reasoning used by clinical engineers during a medical equipment procurement process. The suggested model consisted of a 2-hidden-layer Perceptron, trained with the Back-propagation algorithm. In this ANN model, the inputs are graded values given for each one of 3 categories (1 input for the category Costs; 1 for Performance and 1 for Ergonomics). The outputs of the ANN consisted on grades obtained from an inquiry involving some Brazilian clinical engineering specialists. This model provided a mean quadratic error less than 0.1, when compared to the specialists' answers.

Additionally, it was studied the relationships between the ANN results with the categories Costs, Performance and Ergonomics, based on analysis of the ANN outcomes, varying the values of its inputs. This study showed a non-linear nature among the categories adopted. Therefore, it reveals that the current method to attribute fixed weights to the parameters for equipment evaluation during acquisition processes (which generates linear functions), may be not so satisfactory.

Keywords: Clinical Engineering; Equipment Acquisition; Neural Networks.

Introduction

The past half-century has seen a huge growth in the numbers and types of engineers who contribute to progress in virtually every aspect of healthcare (Laufman, 2002). Within these new professionals, there are Clinical Engineers, who are responsible for the management of the technical and administrative aspects involving a secure and efficient performance of medical equipment (Panousis *et al.*, 1997). One of the most important aspects and challenges in this area is the process of acquiring medical equipment, specially in Brazil and other Latin American countries, where the laws to protect the consumer are not fully implemented by the government regulatory agencies (IDEC, 2003).

In Brazilian literature there are some examples of rule-based expert systems that help the decision-making process during medical equipment acquisition (Vergara 1999; Müller Jr. and Calil, 2000). These symbolic-type artificial intelligence systems are very practical to implement because they are user-friendly and easy to understand by users. On the other hand, they have a limited capacity of learning and generalizing. In this context, Artificial Neural Networks (ANN) represents a promising technology. It can be applied on diverse fields of knowledge as modelling and pattern recognition due

to its learning capacity from input data with or without a teacher (Haykin, 1999). Therefore, it can be useful during a medical equipment acquisition process due to their heuristic nature and generalizing capability, that reminds the human thinking.

In this paper it will be showed a study that analyses the viability of using ANN to help the decision making process within a medical equipment procurement, specifically during the product evaluation phase.

Method

Initially, it was analyzed the results obtained by Ramírez et al. (2001), that applied the Product Evaluation (PE) method suggested by Stiefel and Riskalla (1995), to evaluate five different proposals for sale within an acquisition process of infusion pumps. Basically, this evaluation consisted on two phases: an eliminatory phase where equipment that not meet the requested technical requirements were excluded; and a classificatory phase to choose the best cost-benefit proposal. At that work, the final grade for each proposal was defined by the weighted average of the values attributed to Costs, Performance and Ergonomics categories (see table 1).

Table 1 - Summary of classificatory Evaluation of Infusion Pumps made by Ramírez et al. (2001). (*) The weights were 0.4, 0.4 and 0.2 for Costs, Performance and Ergonomics respectively. Note that Proposal C was considered the winner of the procurement process, followed by the Proposal A.

Categories	Proposal A	Proposal B	Proposal C	Proposal D	Proposal E
Costs	6.41	4.56	4.52	3.99	5.45
Performance	7.75	4.75	7.75	2.50	6.67
Ergonomics	5.04	2.88	9.08	4.14	4.44
Final Grade	6.67	4.56	6.73*	3.43	5.74

During that procurement process, as suggested by Stiefel and Riskalla (1995), the weight values were arbitrarily defined. This was done using an inquiring method involving nurses and physicians from the health unit where the evaluation was conducted. This arbitrarily weighting method do not take into consideration the interdependence among the parameters involved in the evaluation process.

To reduce such drawback, that is very common at procurement processes worldwide, it was performed a study to investigate, through neural networks, the decision-making way of thinking used by purchasers during the product evaluation phase.

In General, to perform good training and testing sessions of a neural network, it is necessary a large amount of data that must be greater than the number of neuron. This will avoid over-training, which could reduce the generalizing capability of the ANN. Then, the first problem that appeared was the insufficiency of data to train the ANN, since in Ramírez et al. (2001) there were only 5 samples (see table 1).

To collect data, it was simulated a classificatory evaluation using 20 proposals similar to table 1, without final grades. Each proposal consisted on 3 grades (one for category Costs, one for Performance and one for Ergonomics) that were randomly generated. The final grades of this simulated procurement were attributed by 3 Clinical Engineers from different regions of Brazil. The resulting 60 samples were randomly divided into two sets, one containing 48 (80%) and other with 12 (20%) samples to train and test the neural network respectively. The grades for Costs, Performance and Ergonomics categories were defined as the inputs for the ANN. The outputs consisted on the final grades attributed to each sample. The deviation in the graded values from the 3 clinical engineers was considered as a noise that is useful to obtain a more realistic training.

The used activation function for the Back-Propagation algorithm was the hyperbolic tangent. Two test series were performed into MATLAB technical computing and C languages. In the first test series, 1 and 2 hidden-layers Perceptrons, with 3 to 10 neurons at each hidden layer, were trained 10 times while their momentum and learning coefficients remained constant at 0.9 and 0.001 respectively. It was chosen the ANN architecture that presented the minimum averages of training epochs and the mean quadratic error in relation to the test samples. Afterwards during the second test series, this ANN's momentum and learning coefficients were varied, to achieve the least mean quadratic error in relation to the test samples.

Finally, it was investigated the nature of the relationship between the Costs, Performance and Ergonomics categories. Basically, it consisted on the observation of ANN outcomes plots of one input vs. another (e.g. Costs vs. Performance), while the remaining input (e.g. Ergonomics) was kept on constant.

Results

The ANN architecture, found after the first test series was the Perceptron 3-5-3-1, which means: 3 inputs (layer 0); 5 and 3 neurons on the first (layer 1) and second (layer 2) hidden layers respectively; and 1 output (layer 3). The values of ANN adjusting parameters found at the second test series were 0.5 and 0.01 as momentum and learning coefficients. Using these parameters, in less than 1000 epochs, the Perceptron 3-5-3-1 reached a minimum quadratic errors less than 0.3 during training session and a mean quadratic error less than 0.1 in relation to the test samples (see figure 1).

Here are also showed plots of Performance vs. Ergonomics when Costs are maintained with grade 5.0 (figure 2), and Performance vs. Costs when Ergonomics remains constant at 5.0 (figure 3). Note that grade 5 is mid range (0 to 10) of the evaluation.

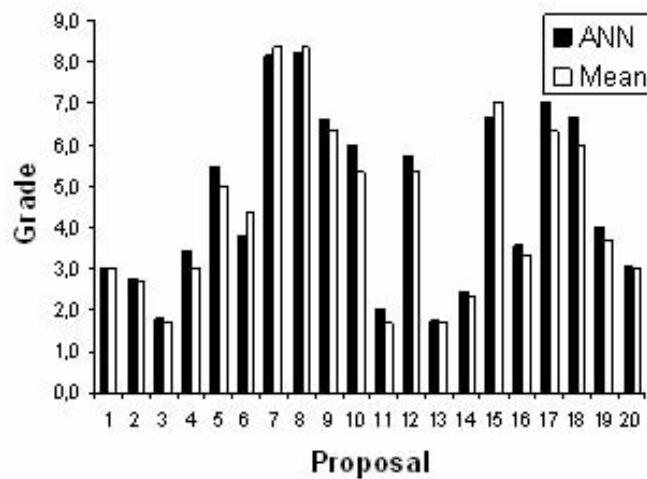


Figure 1 - Perceptron results and mean from specialists answers (mean quadratic error of 0.07).

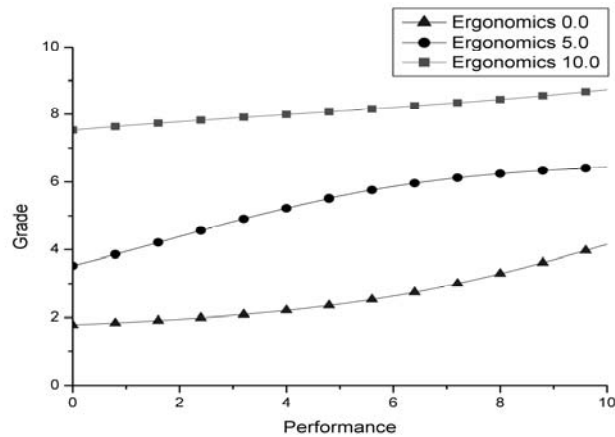


Figure 2 - Relationship between Performance vs. Ergonomics when Costs is constant at 5.0.

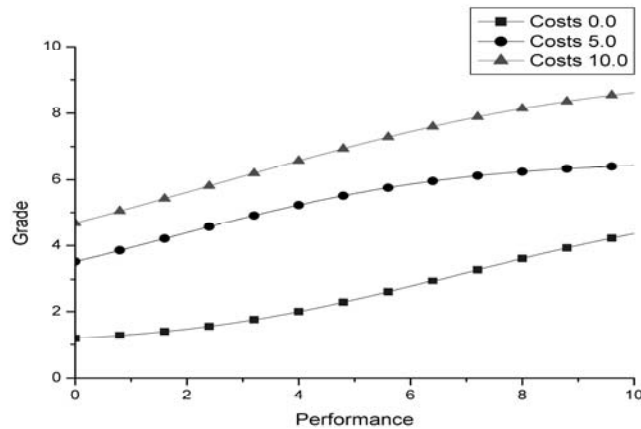


Figure 3 - Relationship between Performance vs. Costs, when Ergonomics is constant at 5.0

Discussion

Observing figures 2 and 3, one can say that the linearity among the analyzed categories is restricted to two ranges of values for each one of the two categories. In other words, the relationship between Performance and Ergonomics is approximately linear within two segments with different linear coefficients, one for performance smaller than 5.0 and another for performance higher than 5.0. The same fact can be observed when analyzing Performance vs. Costs (in this case the segments lie before and after performance equals 4.0). The gradient difference between the segments reflects subconscious limit-values from the human specialists. Therefore the ANN modeled from specialists' response, presents non-linear outcomes that are different from the commonly used method of weighted averages (which have a linear nature).

Conclusions

Artificial neural networks (ANN) proved to be a simple and effective way to help decision-makers during the selection process within medical equipment acquisitions. It was also showed that the commonly practiced method for evaluating proposals using weighted averages may present some imprecisions, due to the non-linear nature of the relationship among the categories (Costs, Performance and Ergonomics) involved in a medical equipment procurement process.

References

- Haykin, S. (1999), *Neural Networks: a comprehensive foundation*, Prentice-Hall. 900p.
- IDEC - Instituto de Defesa do Consumidor (2003), *Pesquisa do Idec Mostra que Agências e Órgãos Reguladores Apresentam Desempenho Insatisfatório*. Website: <<http://www.idec.org.br/paginas>> visited on: March, 12th, 2003.
- Laufman, H. (2002), Are Engineers Unsung Heroes of Medical Progress?: The Historic Bond Between Physics, Engineering, and Medicine. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 36, n. 5, p.325-334.
- Müller Jr., E.L.; Calil, S.J. (2000), Support System for Planning and Medical Equipment Specification aiming Hospital Services. *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*. p.163-167.
- Panousis, S.G.; Malataras, P.; Kolitsi, Z.; Glouhova, M.; Gueorguiev, T.; Koleva, K.S.; Stavrev S.; Pallikarakis, N. (1997), A Study on the Current Situation in the Biomedical Technology and Clinical Engineering Sector in Bulgaria - Advances, Trends and Needs. *Journal of Clinical Engineering*, V. 22, n. 6, p. 391-399.
- Ramírez, E.F.F.; Jeronymo Neto, O.; Jannani, J. (2001), Método para Avaliação de Propostas de Compra de Equipamentos Médicos. *Semina: Ci. Exatas Tecnol.* V.22, p.3-11.
- Stiefel, R.; Riskalla, E. (1995), The Elements of a Complete Product Evaluation. *Biomedical Instrumentation and Technology*, V. 29, n. 6, p.482-488.
- Vergara Galeano, J.C. (1999), *Procedimentos de Aquisição de Equipamentos Médico-Assistenciais: uma Ferramenta Computadorizada de Apoio*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 166 p.

APÊNDICE B

**Texto completo de Ramírez; Baratto; Calil (2004) publicado no “Congresso Latino-Americano de Engenharia Biomédica”
(João Pessoa – PB – Brasil)**

AUXÍLIO NA DECISÃO PARA AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Ernesto F. F. Ramírez*, Giovani Baratto* e Saide J. Calil**

* Universidade Estadual de Londrina/Departamento de Engenharia Elétrica, Londrina, Brasil

** Universidade Estadual de Campinas/Departamento de Engenharia Biomédica, Campinas, Brasil

e-mail: ferreyra@uel.br

Abstract: This paper shows an application of Artificial Neural Networks (ANN) to model the decision-making process during a medical equipment procurement. It was performed through an inquiry, to several clinical engineers from diverse regions of Brazil, that consisted on a simulated evaluation chart of purchasing proposals. After some correlation, regression and variance analysis, the answers were normalized and fed several models of ANN, which varied from a single Perceptron trained with the LMS algorithm to 2-hidden-layer Perceptrons. The final results showed that the decision-making process could be summarized, with an acceptable error, into a linear function, which will permit an easy explanation of the ANN answers.

Key-Words: Clinical Engineering; Purchase; Artificial Neural Networks.

Introdução

Na década de 90, um estudo feito em 500 hospitais norte-americanos mostrou, que nos hospitais de 300 a 400 leitos estudados, mais de 30% dos gastos hospitalares eram consumidos na aquisição e manutenção de equipamentos de alta tecnologia [1]. Na mesma década, no Brasil as importações de equipamentos médicos saltaram de US\$ 272 milhões em 1989 para US\$ 1,2 bilhão em 1998 [2]. Além disto, pode-se estimar gastos na ordem de US\$ 71 milhões anuais com mão-de-obra de manutenção de equipamentos [3]. Grande parte desses gastos com manutenção são gerados em consequência de processos de aquisição, desenvolvidos sem a participação de pessoal especializado na área e com conhecimento sobre os equipamentos a serem adquiridos. Por um outro lado, nem todos os hospitais, principalmente os de pequeno e médio porte, têm condições financeiras de manter uma estrutura com essa finalidade. Com isto, essas instituições correm o risco de adquirirem equipamentos e dispositivos de baixa qualidade e com alto custo operacional.

Percebendo essa necessidade, neste trabalho é proposto um modelo para auxílio na tomada de decisão, baseado em redes neurais artificiais (RN), que procure simular o processo de avaliação desenvolvido por um especialista, durante a análise de propostas em processos de aquisição de equipamentos médicos. Atualmente, as RN são aplicadas em diversas áreas do conhecimento, como modelamento e reconhecimento de padrões, por causa da sua capacidade de aprender a partir de exemplos [4]. Assim elas poderão ser úteis no processo de aquisição de equipamentos devido à sua natureza heurística e capacidade de generalização, que lembram o raciocínio humano.

Materiais e Métodos

Histórico do Estudo: Em trabalho anterior [5], foi apresentada uma planilha para avaliação de propostas de fornecimento de bombas infusoras durante uma licitação. Nesta planilha, todos os itens da especificação foram agrupados nos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia, que receberam arbitrariamente os pesos 4, 4 e 2 para o cálculo da nota final. Este trabalho mostrou a necessidade de estabelecer os valores reais dos pesos para cada um dos fatores, pois isto afetaria significativamente o resultado da avaliação. Assim, pensou-se em fazer uma pesquisa com diversos profissionais brasileiros, que estão envolvidos com aquisição de equipamentos, para estimar os valores desses pesos. Entretanto, surgiram algumas questões:

- Seria necessário a utilização de um maior número de fatores para avaliação das propostas de fornecimento de equipamentos médicos?
- Os valores dos pesos poderiam divergir de acordo com a experiência do profissional e o perfil da instituição onde este trabalha?

Para isso, realizou-se um estudo-piloto com apenas três engenheiros clínicos atuando em diferentes estados no país [6]. Nesse trabalho foi fornecida aos especialistas uma planilha de avaliação contendo 20 propostas imaginárias, compostas por notas de Custo, Desempenho e Ergonomia geradas aleatoriamente pelo MS-Excel®. Esses engenheiros clínicos tiveram que

atribuir uma única nota final para cada uma das vinte propostas. Observou-se que a correlação entre as respostas fornecidas foi sempre maior que 0,9. Com estes dados, foi treinada uma rede neural artificial (RN) com o algoritmo de Retro-Propagação (*Back-Propagation*), onde as notas de Custo, Desempenho e Ergonomia representaram as entradas e as notas finais atribuídas pelos especialistas foram as saídas. A melhor arquitetura encontrada foi um perceptron com 02 camadas escondidas, tendo 5 neurônios na primeira e 3 neurônios na segunda. O erro quadrático médio encontrado entre as respostas da RN e a média das respostas dos especialistas ficou em torno de 0,07.

Com os resultados do estudo-piloto, decidiu-se ampliá-lo através do mesmo sistema de consultas a um número maior de engenheiros clínicos brasileiros. Neste trabalho serão mostrados os resultados deste novo estudo.

Condução da Pesquisa: Foi enviado um arquivo através de e-mail contendo uma tabela no MS-Word® semelhante à planilha do estudo-piloto para 33 engenheiros clínicos brasileiros em atividade nas regiões Nordeste (03), Sudeste (16), Sul (12) e Centro-Oeste (02). As respostas obtidas (somente 15 engenheiros responderam) foram submetidas a análises de correlação, regressão e de variância para separar as respostas muito discordantes e diminuir o nível de ruído nas entradas da RN.

Treinamento da Rede Neural: Através de softwares desenvolvidos na ferramenta científica MATLAB® foram implementados: o algoritmo de mínimos quadrados (*LMS*) para um único perceptron com função de ativação linear; e o algoritmo de Retro-propagação utilizando neurônios com a função de ativação tangente hiperbólica. Foram treinados vários modelos de arquitetura de redes neurais (perceptron *LMS* e perceptron com 01 e 02 camadas escondidas) para diversos valores dos coeficientes de aprendizagem e de inércia. Para cada modelo, foram treinadas 100 redes neurais independentes com seleção aleatória e sem reposição, das amostras de treinamento (70% do total de amostras) e de teste (30% do total de amostras). Assim, o erro quadrático médio final (EQMF) para cada modelo representou a média dos menores erros quadráticos médios (EQM_{min}) encontrados durante o treinamento de cada uma das 100 redes neurais independentes. Tanto as entradas como as saídas foram normalizadas (divididas por 10) para garantir valores de entrada e saída entre -1 e 1, e evitar que a rede neural (RN) saturasse. Por isso, os erros quadráticos finais foram desnormalizados (multiplicados por 100). Para evitar super-treinamento da RN, os pesos sinápticos armazenados foram guardados no momento em que foi atingido o EQM_{min} de cada sessão de treinamento.

Escolha do Melhor Modelo: Foram escolhidos os modelos de perceptron *LMS*, perceptron com 01 camada e perceptron com 02 camadas escondidas que

melhor representassem as respostas dos especialistas consultados, ou seja, que apresentassem o menor EQMF com o menor desvio-padrão das 100 repetições de treinamento.

Estudo da Linearidade dos Modelos: A partir dos melhores modelos de perceptron *LMS*, perceptron com 01 camada e perceptron com 02 camadas escondidas, foram elaborados alguns gráficos tridimensionais (3-D) mostrando a resposta dos modelos (nota final) em função dos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia, que variaram de 0,0 a 10,0 em passos de aproximadamente 0,6. Os gráficos 3-D serviram para observar a natureza (linear ou não) dos diversos modelos de RN estudados e também para comparar as respostas destes modelos, através do cálculo do erro quadrático médio e dos seus coeficientes de correlação.

Resultados

Após análises de correlação e regressão, dos 15 especialistas iniciais sobraram 11, pois 04 deles interpretaram incorretamente a pontuação do fator Custo (aparecimento de correlações parciais negativas entre as notas atribuídas e o fator de Custo). Com isto, a variância média entre as respostas caiu de 3,23 para 0,95. Os coeficientes de correlação entre as respostas dos especialistas restantes e a média das respostas foram superiores a 0,88.

Assim, obteve-se o gráfico mostrado na Figura 1, que apesar de representar valores discretos, é apresentado na forma de curvas contínuas, para facilitar a visualização da correlação entre as respostas dos especialistas que responderam a pesquisa.

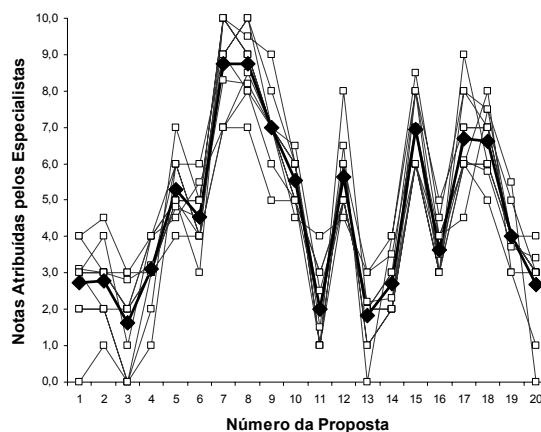


Figura 1: Respostas dos especialistas após análises de correlação, regressão e variância (a curva em destaque é a média das respostas).

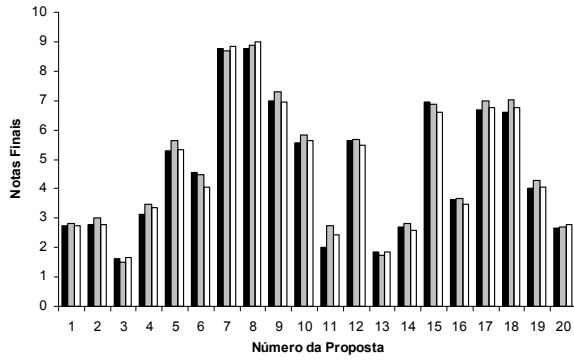


Figura 2: Comparação da Média das Respostas dos Especialistas (preto) com os resultados da RN-2 (cinza) e do Perceptron LMS (branco).

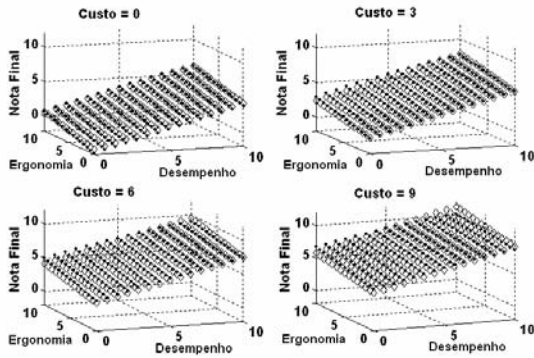


Figura 3: Comparação das respostas da RN-2 (pontos pretos) com o Perceptron LMS (pontos brancos) para valores fixos de custo.

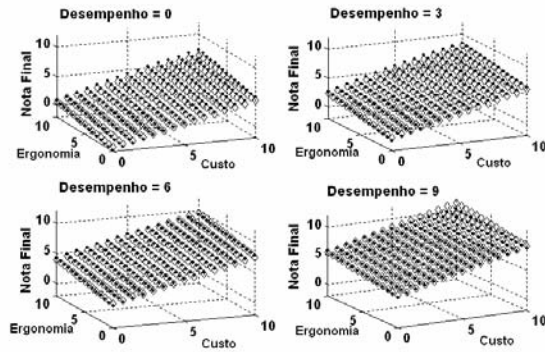


Figura 4: Comparação das respostas da RN-2 (pontos pretos) com o Perceptron LMS (pontos brancos) para valores fixos de desempenho.

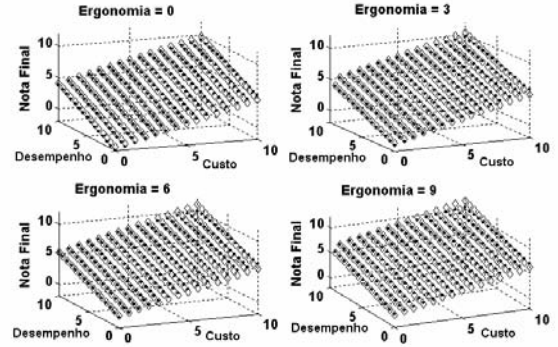


Figura 5: Comparação das respostas da RN-2 (pontos pretos) com o Perceptron LMS (pontos brancos) para valores fixos de ergonomia.

Para coeficientes de aprendizagem 0,01 e de inércia 0,5 os EQMF foram os menores, e se estabilizaram antes de 500 épocas de treinamento, para os melhores modelos de perceptron LMS, perceptron com 5 neurônios em uma camada escondida (RN-1), e perceptron com 5 neurônios na primeira e 3 neurônios na segunda camada escondida (RN-2).

Após o treinamento, ao aplicar testes de hipóteses, com nível de significância 0,01, observou-se que o EQMF da RN-2 era estatisticamente maior do que os EQMF do Perceptron LMS e da RN-1. Também verificou-se não haver diferença estatística entre os EQMF do perceptron LMS (0,4704), da RN-1 (0,4765) e da RN-2 (0,4797) em relação às respostas das amostras de teste da rede neural. Considerando agora a média das respostas dos especialistas, foram encontrados erros quadráticos médios:

- $EQM_{LMS} = 0,0253$ (Perceptron LMS);
- $EQM_{RN-1} = 0,0284$ (RN-1);
- $EQM_{RN-2} = 0,0367$ (RN-2).

Os testes de hipóteses mostraram que o EQM_{LMS} e o EQM_{RN-1} eram iguais, e que ambos eram menores que o EQM_{RN-2} . Por isso na Figura 2 são mostradas apenas as respostas do Perceptron LMS e da RN-2 em relação à média das respostas dos especialistas que aparece também na Figura 1. Os coeficientes de correlação das respostas do Perceptron LMS, da RN-1 e da RN-2 com a média das respostas dos especialistas foram todas superiores a 0,99, o que para 20 amostras (número de propostas da pesquisa), dará um intervalo de confiança aproximado de +0,95 a +1,00. Após desnormalização, encontrou-se a resposta média (desvios-padrão dos coeficientes em torno de 8% dos valores médios) do Perceptron LMS mostrada na Expressão 1.

$$Nota\ Final \cong -1,39 + 0,56 \times Custo + 0,55 \times Desempenho + 0,21 \times Ergonomia \quad (1)$$

Os testes de hipóteses, ao nível de significância 0,01, indicaram que na Expressão 1 a média do coeficiente do fator Custo era igual à média do coeficiente do fator Desempenho, que por sua vez era maior que o coeficiente de Ergonomia.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram comparações entre as respostas fornecidas pela RN-2 e pelo Perceptron LMS para diversos valores (200 valores entre 0,0 e 10,0) dos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia. Julgou-se redundante mostrar os resultados da RN-1, pois as suas respostas apresentaram erros quadráticos médios similares ao Perceptron LMS.

Discussão

Pelos resultados encontrados pode-se dizer que os EQMF dos 03 modelos estudados (perceptron LMS, RN-1 e RN-2), em relação às respostas de todos os especialistas, estão em um nível aceitável, visto que os valores encontrados são da mesma ordem que a metade da variância média das respostas dos especialistas.

Em relação à média das respostas dos especialistas, os erros quadráticos médios dos 03 modelos (EQM_{LMS} , EQM_{RN-1} e EQM_{RN-2}) são aproximadamente a metade daqueles encontrados em [6]. Também pode-se dizer que os modelos que mais se aproximam da média das respostas dos especialistas são o Perceptron LMS e a RN-1 (perceptron com 05 neurônios na primeira camada). Utilizar o Perceptron LMS se torna uma alternativa interessante devido à sua natureza linear (vide Expressão 1), que facilita a sua compreensão e posterior explicação da decisão tomada. O erro absoluto médio deste modelo ($erro_{LMS}$) pode ser calculado segundo a Expressão 2.

$$erro_{LMS} = \sqrt{2 \times EQM_{LMS}} = \sqrt{2 \times 0,0253} \cong 0,23 \quad (2)$$

Embora o EQM_{LMS} seja um pouco menor estatisticamente do que o EQM_{RN-2} , na prática isto vai representar um erro absoluto médio ($erro_{RN-2}$) que é calculado na Expressão 3.

$$erro_{RN-2} = \sqrt{2 \times EQM_{RN-2}} = \sqrt{2 \times 0,0367} \cong 0,27 \quad (3)$$

Em uma escala de 0 a 10 (valores das notas), os resultados das Expressões 2 e 3 não vão alterar significativamente a tomada de decisão, pois como também pode ser percebido através da Figura 2, as respostas da RN-2 e do perceptron LMS terão uma correlação muito forte com a média das respostas dos especialistas.

Ao observar as Figuras 3, 4 e 5 pode-se constatar que a resposta da RN-2 é muito parecida com a resposta do Perceptron LMS, que é linear, pois os gráficos 3-D representam planos com inclinações que dependem da importância do fator expresso em cada eixo. Nas Figuras 3 e 4, a variação total (de 0 a 10) do

fator Ergonomia não afetará significativamente o valor da nota final se os fatores Custo e Desempenho estiverem fixos. Já na Figura 5, verifica-se que não há muita diferença entre as curvas observadas para os diversos valores de Ergonomia.

Pela Expressão 1, que mostra a resposta desnormalizada do Perceptron LMS, constata-se que os fatores Custo e Desempenho terão um peso maior na nota final do modelo. Observa-se também uma constante negativa, que irá representar, juntamente com o erro absoluto médio da Expressão 2, a quantidade da nota final que não estará associada aos fatores Custo, Desempenho ou Ergonomia.

Assim, no caso dos especialistas pesquisados, pode-se dizer que:

- apesar de algumas flutuações nas notas finais, percebe-se que a maneira de pensar (refletida na “forma da onda” vista na Figura 1) é semelhante, sendo as variações na “amplitude” e nos “níveis DC”, provavelmente devidas às diferenças nos perfis pessoais e profissionais dos mesmos;
- a aproximação da função “Nota Final” por uma função linear (média ponderada) não introduz um erro significativo, que possa alterar a tomada de decisão do grupo de especialistas estudados;
- foi dada mais importância aos fatores Custo e Desempenho, deixando a Ergonomia do equipamento como fator secundário.

Resta agora minimizar a quantidade da nota final que não estará associada aos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia. Para isso, serão necessários mais estudos para definir melhor os fatores de avaliação dos equipamentos médico-hospitalares. Além disso, será interessante a extensão deste estudo para outros grupos de profissionais envolvidos com a aquisição de equipamentos médicos (administradores hospitalares e operadores dos equipamentos). Isto permitirá avaliar como a formação e a experiência do profissional influenciarão o processo de tomada de decisão para aquisição de equipamentos médicos.

Agradecimentos

Os autores são gratos aos profissionais de Engenharia Clínica que participaram da pesquisa.

Referências

- [1] BLUMBERG, D.F., “New Trends in High-Technology Health Care Support Services”, *Biomedical Instrumentation and Technology*, 32(6):592-604, 1998.
- [2] FURTADO, A.T., SOUZA, J.H., “Evolução do Setor de Insumos e Equipamentos Médico-Hospitalares, Laboratoriais e Odontológicos no Brasil: a Década de 90”, in NEGRI, B., DI GIOVANNI, G. (Orgs.): *Brasil: Radiografia da*

Saúde, Campinas, SP: UNICAMP. Instituto de Economia, pp. 63-90, 2001.

[3] CALIL, S.J., 'Fatores para a Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares', *Anais XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Florianópolis, Brasil, 2000, pp. 38-45, 2000.

[4] HAYKIN, S., *Redes Neurais: Princípios e Prática*, Porto Alegre: Bookman, 2001.

[5] RAMIREZ, E.F.F., JERONYMO NETO, O., JANNANI, J., "Método para Avaliação de Propostas de Compra de Equipamentos Médicos", *Semina: Ci. Exatas Tecnol.* 22(1):03-11, 2001.

[6] RAMIREZ, E.F.F., BARATTO, G., CALIL, S.J., 'Using Neural Networks to Select Medical Equipment Purchasing Proposals', *Proc. WC2003 - World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Sydney, Austrália, 2003.

APÊNDICE C

**Texto completo de Ramírez; Calil (2004) publicado no
“Congresso Brasileiro de Informática em Saúde”
(Ribeirão Preto – SP – Brasil)**

Análise da Aquisição de Equipamentos Médicos Utilizando Redes Neurais Artificiais

Ernesto F. F. Ramírez¹, Saide J. Calil²

¹Depto. de Engenharia Elétrica (DEEL), Centro de Tecnologia e Urbanismo (CTU),
Universidade Estadual de Londrina (UEL), Brasil

²Depto. de Engenharia Biomédica (DEB), Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil

Resumo - Este trabalho apresenta um método para determinar a importância dada aos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia por diversos profissionais (engenheiros clínicos, administradores hospitalares e usuários) que normalmente participam de um processo de aquisição de equipamentos médicos. Para isso, foram testadas várias arquiteturas de Redes Neurais Artificiais (RNA) para fazer a representação do conhecimento dos profissionais pesquisados. Como resultado obteve-se, com um erro aceitável, uma expressão linear que relacionou estes fatores com a nota final atribuída pelos especialistas a cada proposta de fornecimento de equipamentos médicos. Usando o método proposto, pode-se verificar que a importância dada aos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia mudou significativamente de acordo com a formação e experiência dos profissionais envolvidos.

Palavras-chave: Engenharia Clínica, Compra de Equipamentos, Redes Neurais Artificiais.

Abstract – This paper presents a method to determine the importance of Cost, Performance and Ergonomics factors to diverse professionals (clinical engineers, healthcare managers and users) that commonly participate in a process of medical equipment purchasing. The knowledge representation was done through the use of Artificial Neural Networks (ANN), that resulted in a linear expression which could establish a correspondence among those factors with the final grades of some purchasing proposals given by the professionals consulted. After using the proposed method, it was possible to verify that the importance given to the Cost, Performance and Ergonomics factors depended of the previous experience and graduation background of the involved professionals.

Key-words: Clinical Engineering, Equipment Purchase, Artificial Neural Networks.

Introdução

No Brasil, na década de 90 houve um aumento de quase quatro vezes nas importações de equipamentos médicos (de US\$ 272 milhões em 1989 para US\$ 1,2 bilhão em 1998) [1]. Adicionalmente, pode-se estimar gastos na ordem de US\$ 71 milhões anuais com mão-de-obra de manutenção de equipamentos [2]. Em pesquisa recente, elaborada pelo Conselho Regional de Medicina do Estado de São Paulo junto a 1.011 hospitais, pronto-socorros e prontos-atendimentos do estado, 56,5% das UTIs (Unidades de Terapia Intensiva) não tinham os equipamentos mínimos, como monitores cardíacos, oxímetros e aspiradores de secreções [3]. Na mesma pesquisa, ao avaliar salas de cirurgia, verificou-se que apenas 34,9% tinham mais de 91% dos equipamentos imprescindíveis nesses locais, tais como foco de luz, rede de gases medicinais e aspiradores de secreções. Esses dados mostram que há poucos

recursos financeiros para aumentar a disponibilidade de equipamentos médicos, que muitas vezes podem estar parados esperando por conserto. Segundo dados da década de 90, no Brasil pode-se ter em torno de 20% a 40% dos equipamentos médicos esperando conserto ou instalação [4]. Esses gastos com manutenção são gerados, na maioria das vezes, em consequência de processos de aquisição desenvolvidos por pessoas que não possuem especialização na área e que têm poucos conhecimentos sobre os equipamentos a serem adquiridos. Além disso, nem todos os hospitais, principalmente os de pequeno e médio porte, têm condições financeiras de manter uma estrutura com essa finalidade. Com isto, essas instituições ficam sujeitas a adquirirem equipamentos e dispositivos de baixa qualidade e com alto custo operacional.

Percebendo essa necessidade, neste trabalho é proposto um método de elicitação do conhecimento, baseado em redes neurais artificiais

(RNA), de profissionais experientes que normalmente participam de processos de aquisição de equipamentos médicos. O resultado é uma expressão linear que relaciona os fatores Custo, Desempenho e Ergonomia com a nota final atribuída pelos especialistas, após a análise das propostas de aquisição dos equipamentos.

A motivação para utilização do paradigma de Inteligência Artificial Conexionista (IAC) é a boa abordagem para problemas mal-definidos, nos quais o conhecimento é disponível através de exemplos e as inferências são feitas por analogia. Este é o caso do diagnóstico médico, que frequentemente é feito por semelhança com casos precedentes e onde a imprecisão é intrínseca [5]. Isto também ocorre em um processo de avaliação de propostas para aquisição de equipamentos médicos.

Metodologia

Em [6], foi mostrada uma planilha para avaliação de propostas de fornecimento durante um processo de aquisição de equipamentos médicos. Esta planilha foi adaptada e implementada em [7] durante um processo de aquisição de bombas infusoras, onde todos os itens das propostas foram agrupados nos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia, que receberam notas (entre 0,0 e 10,0) de acordo com a sua adequação aos itens da especificação do equipamento desejado. Isto mostrou a necessidade de determinar a importância real dos fatores envolvidos na avaliação das propostas de aquisição, que provavelmente iriam divergir de acordo com a experiência do profissional envolvido na avaliação e o perfil da instituição onde este trabalha. Para isso foram seguidos os passos:

- Geração dos exemplos: foi montada uma planilha simulando 20 propostas de fornecimento de equipamentos médicos, sendo cada proposta composta por números representando notas de Custo, Desempenho e Ergonomia do Equipamento a ser adquirido. As notas foram obtidas de 03 seqüências de 20 números aleatórios geradas anteriormente no MS-Excel® (correlação em torno de 0,3).
- Consulta aos especialistas: Essa planilha foi enviada no primeiro semestre de 2003, por correio eletrônico, a 33 engenheiros clínicos brasileiros em atividade nas regiões Nordeste (03), Sudeste (16), Sul (12) e Centro-Oeste (02). Destes, apenas 15 engenheiros responderam. No segundo semestre, a mesma planilha foi preenchida por 23 profissionais da área da saúde (administradores hospitalares, enfermeiras, médicos e dentistas), que estavam exercendo atividades administrativas nas Secretarias de Saúde de diversos municípios da Região Norte do Estado do Paraná, durante uma

aula de um curso de capacitação para Gestores Hospitalares financiado pelo Ministério da Saúde do Brasil. O objetivo da consulta foi atribuir uma nota final para cada uma das 20 propostas mostradas na planilha.

- Análise das respostas recebidas: as respostas obtidas foram divididas em 02 grupos, um com respostas dos Engenheiros Clínicos (grupo EC) e outro com respostas dos Gestores Hospitalares (grupo GS). Em seguida, as respostas de cada um dos grupos foram submetidas a análises de correlação, regressão e de variância para retirar as respostas muito discordantes dentro do mesmo grupo e diminuir o nível de ruído entre elas.

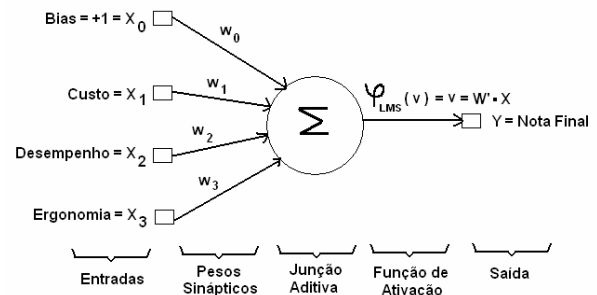


Figura 1 – Modelo de rede neural utilizando um único neurônio treinado com o algoritmo LMS.

- Definição das Redes Neurais: através de *softwares*, desenvolvidos pelos autores deste trabalho na ferramenta científica MATLAB®, foram implementados dois algoritmos de treinamento supervisionado de Redes Neurais Artificiais (RNA): o algoritmo de Mínimos Quadrados (*Least Mean Squares* ou LMS) e o algoritmo de Retro-Propagação (*Back-Propagation*). O algoritmo LMS foi implementado em um único neurônio com função de ativação linear (modelo LMS que é mostrado na Figura 1). Já o algoritmo de Retro-Propagação foi utilizado em duas configurações: perceptron com 01 camada escondida (RN-1) com 5 neurônios; e perceptron com 02 camadas escondidas (RN-2), sendo a primeira com 5 neurônios e a segunda com 3 neurônios. As entradas dos diversos modelos de redes neurais foram as seqüências de números aleatórios contidos na planilha da pesquisa com os especialistas, enquanto os valores da saída da RNA consistiram nas respostas (notas finais) fornecidas. Os coeficientes de aprendizagem e de inércia utilizados ficaram fixos em 0,01 e 0,5 respectivamente. Estas arquiteturas foram escolhidas para comparar os resultados com um trabalho anterior, onde encontrou-se os menores erros quadráticos médios utilizando estas configurações [8]. Para os neurônios treinados com

o algoritmo de Retro-Propagação foi utilizada a função de ativação sugerida em [9], que é mostrada na Equação (1).

$$\varphi(v) = 1,7159 \tanh\left(\frac{2}{3} v\right) \quad (1)$$

Onde:

- $\varphi(v)$ = função de ativação dos neurônios treinados com o algoritmo de retro-propagação;
- v = potencial de ativação do neurônio.

• **Treinamento das redes neurais:** para cada modelo (LMS, RN-1 e RN-2) e para cada grupo (EC e GS), foram treinadas 100 redes neurais independentes com seleção aleatória, e sem reposição, dos exemplos de treinamento e de teste (70% e 30% do total de exemplos respectivamente). O objetivo do treinamento de cada rede neural independente foi minimizar a função custo EQMF, que representou a metade do menor erro quadrático médio de uma época, conforme é mostrado na Equação (2).

$$EQMF = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^E (d_i - y_i)^2}{E} \quad (2)$$

Onde:

- EQMF = função custo;
- E = número de exemplos de uma época;
- d_i = saída desejada (resposta do especialista) correspondente ao exemplo i ;
- y_i = saída fornecida pela RNA referente ao exemplo i .

O tipo de treinamento foi seqüencial, onde os pesos sinápticos foram ajustados sempre que um novo exemplo era apresentado à RNA. Conforme recomendado em [9], a ordem de apresentação dos exemplos de treinamento foi aleatória. Estabeleceu-se um limite de 500 épocas para o treinamento do grupo EC e 393 épocas para o grupo GS para permitir que houvesse o mesmo número de exemplos (77.000) durante todo o treinamento das RNAs que iriam representar os dois grupos estudados. Tanto as entradas como as saídas foram normalizadas (divididas por 10) para garantir valores entre -1,0 e +1,0, evitando assim, a saturação da RNA. Por isso, os EQMFs foram desnormalizados (multiplicados por 100) antes de serem armazenados.

• **Escolha da melhor arquitetura:** entre os modelos estudados, utilizando testes de hipóteses foi escolhido aquele que melhor representou as respostas dos especialistas consultados, ou seja, cujo EQMF fosse o menor tanto em relação a todos os exemplos, como também em relação à média das respostas dos especialistas. Também foram elaborados alguns gráficos tridimensionais (3-D) mostrando a resposta dos modelos em função dos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia, que

variaram de 0,0 a 10,0. Os gráficos 3-D permitiram observar a natureza (linear ou não) dos diversos modelos de RNA estudados e também serviram para comparar as respostas destes modelos, através do cálculo do erro quadrático médio e dos seus coeficientes de correlação.

• **Comparação das respostas dos grupos:** foram comparadas as respostas apresentadas pelas RNAs que representaram os grupos de engenheiros (EC) e de gestores (GS). Isto permitiu observar qual a importância dada por cada grupo aos 03 fatores em estudo.

Resultados

• **Grupo EC:** após análises de correlação e regressão, dos 15 especialistas iniciais sobram 11, pois 4 deles interpretaram incorretamente a pontuação do fator Custo (aparecimento de correlações parciais negativas entre as notas atribuídas e o fator Custo). Com isto, a variância média entre as respostas caiu de 3,23 para 0,95. Os coeficientes de correlação entre as respostas dos especialistas restantes e a média das respostas foram superiores a 0,88. Com isto obteve-se o gráfico da Figura 2, que apesar de representar valores discretos, é apresentado na forma de curvas contínuas para facilitar a visualização da correlação entre as respostas dos 11 especialistas restantes no grupo EC.

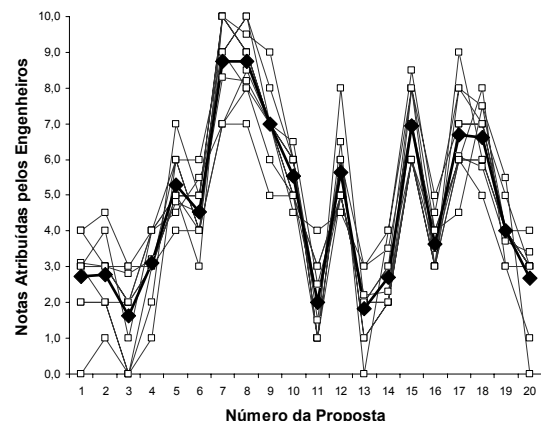


Figura 2 - Respostas dos engenheiros após as análises de correlação, regressão e variância (a curva em destaque é a média das respostas).

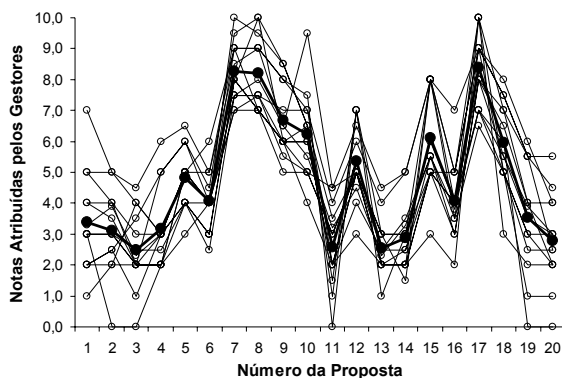


Figura 3 - Respostas dos gestores após as análises de correlação, regressão e variância (a curva em destaque é a média das respostas).

- **Grupo GS:** dos 23 especialistas iniciais houve 09 eliminados pois: 02 apresentaram correlações parciais negativas dos fatores Custo e Ergonomia em relação às notas finais (interpretação equivocada do questionário); 01 apresentou correlações parciais muito baixas (inferiores a 0,3) de todos os fatores em relação às notas finais (grande possibilidade de utilização do acaso para atribuir as notas finais); e 06 apresentaram correlações baixas (inferiores a 0,6) das suas respostas com a média das respostas dos demais especialistas. Isto possibilitou uma queda da variância média de 2,49 para 1,59. Os coeficientes de correlação entre as respostas dos especialistas restantes e a média das respostas foram superiores a 0,89. Com isto obteve-se o gráfico da Figura 3.

- **Treinamento das RNAs:** os valores médios dos EQMFs das 100 redes neurais independentes são mostrados nas Tabelas 1 e 2. Após aplicar testes de hipóteses com significância 0,01, observou-se que nos 2 grupos estudados não houve diferença estatística entre os EQMFs dos modelos RN-1 e RN-2 em relação às respostas, tanto dos exemplos de treinamento, como nos de teste.

Tabela 1 – EQMFs obtidos durante o treinamento das RNAs com os dados do Grupo EC.

	LMS	RN-1	RN-2
EQMF de Treinamento	0,4569	0,4629	0,4704
EQMF de Teste	0,4704	0,4765	0,4797
EQMF da Média do Grupo EC	0,0253	0,0284	0,0367

Tabela 2 – EQMFs obtidos durante o treinamento das RNAs com os dados do Grupo GS.

	LMS	RN-1	RN-2
EQMF de Treinamento	0,8056	0,8349	0,8389
EQMF de Teste	0,8234	0,8542	0,8622
EQMF da Média do Grupo GS	0,0664	0,0946	0,0986

- **Escolha do Melhor Modelo:** em relação às médias das respostas dos especialistas, observou-se que o modelo LMS apresentou os menores EQMFs tanto para o grupo EC (vide Tabela 1), como para o grupo GS (vide Tabela 2). Os coeficientes de correlação das respostas dos 03 modelos estudados com a média das respostas dos especialistas foram todas superiores a 0,98, o que para 20 amostras (número de propostas constantes na planilha que foi utilizada na consulta aos especialistas), fornece um intervalo de confiança aproximado de +0,95 a +1,00.

No grupo EC, após desnormalização, encontrou-se a resposta média (desvios-padrão dos coeficientes em torno de 8%) do modelo LMS que é mostrada na Equação (3).

$$\text{Nota Final (EC)} \cong -1,39 + 0,56 \times \text{Custo} + 0,55 \times \text{Desempenho} + 0,21 \times \text{Ergonomia} \quad (3)$$

Os testes de hipóteses a 0,01, indicaram que na Equação (3), o coeficiente do fator Custo não era menor que o coeficiente do fator Desempenho, e este último era maior que o coeficiente do fator Ergonomia.

A Figura 4 mostra as respostas do modelo LMS e da RN-2 em relação à média das respostas dos especialistas válidos do grupo EC.

A Figura 5 mostra comparações entre as respostas fornecidas pela RN-2 e pelo modelo LMS para diversos valores dos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia.

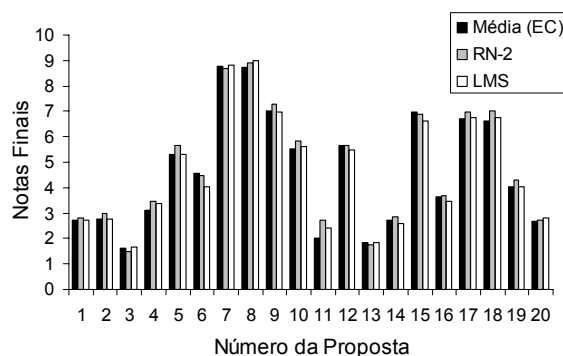


Figura 4 - Comparação da Média das Respostas dos Engenheiros Clínicos (EC) com os resultados dos modelos RN-2 e LMS.

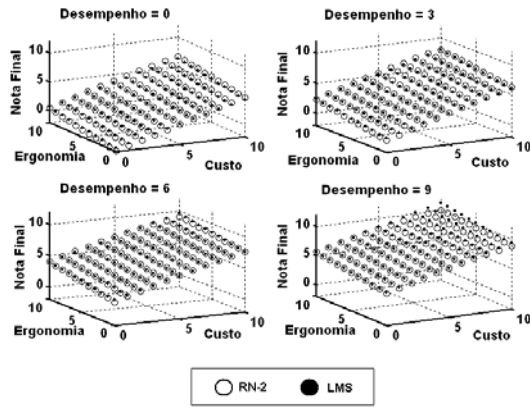


Figura 5 - Comparação das respostas dos modelos RN-2 e LMS treinados com as respostas do Grupo EC.

No grupo GS, após desnormalização, encontrou-se a resposta média (desvios-padrão dos coeficientes em torno de 8%) do modelo LMS que é mostrada na Equação (4).

$$\text{Nota Final (GS)} \cong -1,28 + 0,36 \times \text{Custo} + 0,58 \times \text{Desempenho} + 0,38 \times \text{Ergonomia} \quad (4)$$

Os testes de hipóteses a 0,01, indicaram que na Equação (4), a média do coeficiente do fator Custo era menor que a média do coeficiente do fator Ergonomia, que por sua vez era menor que o coeficiente do fator Desempenho.

A Figura 6 mostra as respostas do modelo LMS e da RN-2 em relação à média das respostas dos especialistas válidos do grupo GS. A Figura 7 mostra a comparação entre as respostas fornecidas pela RN-2 e pelo modelo LMS para diversos valores dos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia.

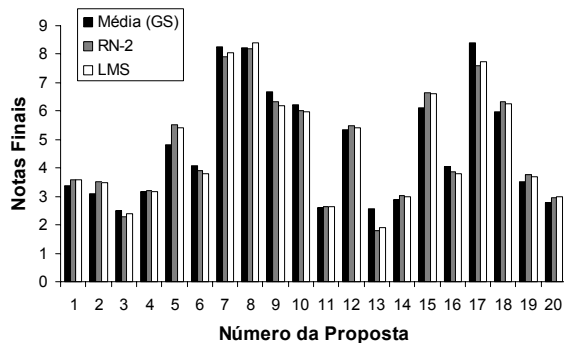


Figura 6 - Comparação da Média das Respostas dos Gestores de Saúde (GS) com os resultados dos modelos RN-2 e LMS.

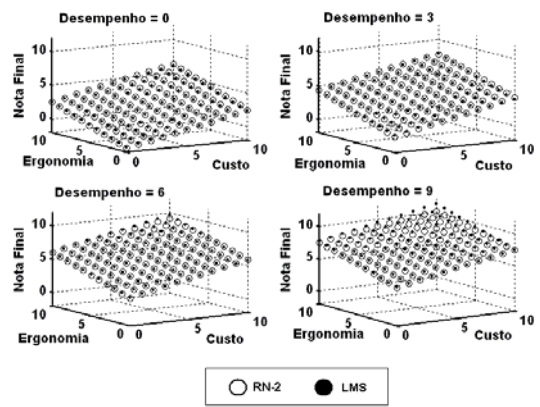


Figura 7 - Comparação das respostas dos modelos RN-2 e LMS treinados com as respostas do Grupo GS.

Discussão e Conclusões

A partir da Equação (1), pode-se calcular a função custo de um modelo de RNA em relação a todas as amostras de um mesmo grupo:

$$EQMF_{Tot} = \sum_{p=1}^{20} \frac{EQMF_p}{20} = \sum_{p=1}^{20} \sum_{j=1}^n \frac{(d_{pj} - y_p)^2}{20 \cdot 2 \cdot n} \quad (5)$$

Onde:

- $EQMF_{Tot}$ = função custo da RNA em relação a todas as amostras de um mesmo grupo;
- $EQMF_p$ = função custo da proposta p ;
- y_p = resposta da RNA para a proposta p ;
- d_{pj} = nota do especialista j para a proposta p ;
- n = número de especialistas válidos para treinar e testar a RNA.

Logo, o valor ideal da resposta da RNA, que minimiza o $EQMF_p$ mostrado na Equação (5), para cada uma das 20 propostas apresentadas na planilha será a média das notas atribuídas pelos especialistas para aquela proposta. Isto é fácil de comprovar ao derivar a Equação (5) em relação a y_p . Isto resultará na Equação (6), que ao ser derivada novamente fornecerá sempre um valor positivo, comprovando que a raiz da Equação (6) será um valor de mínimo do $EQMF_p$.

$$\frac{d(EQMF_p)}{d y_p} = - \sum_{j=1}^n \left(\frac{d_{pj} - y_p}{n} \right) = y_p - \sum_{j=1}^n \left(\frac{d_{pj}}{n} \right) \quad (6)$$

Então, o valor mínimo do $EQMF_{Tot}$ será dado pela Equação (7).

$$\min\{EQMF_{Tot}\} = \sum_{p=1}^{20} \min\left\{\frac{EQMF_p}{20}\right\} =$$

$$= \sum_{p=1}^{20} \sum_{j=1}^n \frac{\left(d_{pj} - \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{d_{pj}}{n}\right)}{20 \cdot 2 \cdot n}\right)^2}{20 \cdot 2 \cdot n} \quad (7)$$

Observando a Equação (7), pode-se perceber que o valor mínimo do $EQMF_{Tot}$ será aproximadamente a metade da variância média entre as respostas dos especialistas de um mesmo grupo. Então pode-se dizer que os EQMF de treinamento e teste das redes neurais estudadas em relação às respostas dos grupos EC e GS estão em níveis aceitáveis, pois os valores mostrados nas tabelas 1 e 2 são da mesma ordem que a metade da variância média das respostas dos especialistas válidos de cada um dos grupos.

Quanto aos EQMFs das RNAs em relação à média das respostas dos especialistas, estes resultados são melhores que os encontrados em [8], pois desta vez foram utilizados 25 especialistas válidos (8 vezes mais que no trabalho anterior), o que permitiu mais dados para treinamento das RNAs e melhor definição dos modelos encontrados. Também pode-se dizer que os modelos que apresentam o menor erro são as 100 redes treinadas com o algoritmo LMS, cujas respostas médias mostradas nas Equações (3) e (4) são de natureza linear. Isto pode ser reforçado ao analisar as Figuras 4 e 7, que mostram gráficos tridimensionais que se assemelham bastante com planos, cujas inclinações irão depender dos valores dos coeficientes dos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia nas Equações (3) e (4).

A partir da Equação (1), os erros absolutos médios dos modelos LMS para os grupos EC e GS poderão ser calculados segundo as Equações (8) e (9).

$$erro_{EC} = \sqrt{2 \cdot EQMF_{EC-LMS}} = \sqrt{2 \cdot 0,0253} \cong 0,23 \quad (8)$$

$$erro_{GS} = \sqrt{2 \cdot EQMF_{GS-LMS}} = \sqrt{2 \cdot 0,0664} \cong 0,36 \quad (9)$$

Em uma faixa de 0,0 a 10,0 de valores possíveis da Nota Final, os resultados das Equações (8) e (9) não irão alterar significativamente a decisão a ser tomada, pois a correlação entre as respostas dos especialistas de um mesmo grupo são altas, como pode ser verificado nas Figuras 2 e 3.

No caso dos especialistas pesquisados:

- apesar de algumas flutuações nas notas finais, percebe-se que a maneira de pensar (refletida nas correlações das respostas) é semelhante em

especialistas do mesmo grupo e com formação semelhante (no caso específico dos engenheiros clínicos), mas pode variar ligeiramente dependendo da formação e experiência dos especialistas pesquisados (vide ruído um pouco maior entre os especialistas do grupo GS, que possui profissionais com perfis mais diversificados);

- a aproximação da função “nota final” por uma função linear (média ponderada) não introduz um erro significativo, que possa alterar a tomada de decisão dos grupos de especialistas estudados;
- foi notória a variação do perfil dos profissionais envolvidos, principalmente quando comparada a diferença de ênfase que cada grupo deu aos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia, sendo os 02 primeiros fatores mais importantes para os engenheiros, e que os 02 últimos foram considerados mais importantes para os gestores. Isto é fácil de ser entendido devido ao grupo GS ter majoritariamente componentes que também são usuários dos equipamentos.

Assim, o método proposto utilizando redes neurais artificiais para determinação da importância dada aos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia por diversos profissionais envolvidos em um processo de aquisição de equipamentos médicos, mostrou ser bem simples de aplicar e com boas possibilidades de melhorias para ser utilizado futuramente em sistemas especialistas. Isto será possível pois a aproximação da resposta por uma expressão linear facilitará bastante o processo de explanação da decisão tomada pela RNA, o que poderá auxiliar a tomada de decisão para aquisição de equipamentos médicos. Entretanto, serão necessários mais estudos para verificar a suficiência dos fatores Custo, Desempenho e Ergonomia durante a avaliação de propostas de aquisição de equipamentos médicos, para se necessário, criar modelos mais abrangentes e realistas.

Agradecimentos

Os autores são gratos aos profissionais que responderam a pesquisa.

Referências

- [1] FURTADO, A.T., SOUZA, J.H. (2001), “Evolução do Setor de Insumos e Equipamentos Médico-Hospitalares, Laboratoriais e Odontológicos no Brasil: a Década de 90”, in NEGRI, B., DI GIOVANNI, G. (Orgs.): *Brasil: Radiografia da*

Saúde, Campinas, SP: UNICAMP. Instituto de Economia, p. 63-90.

- [2] CALIL, S.J. (2000), "Fatores para a Aquisição de Equipamentos Médico-Hospitalares", *Anais XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, Florianópolis, Brasil, p.38-45. 11-13 Setembro.
- [3] LEITE, F. (2003), "Hospitais de SP Agonizam, Revela Pesquisa", *Folha de São Paulo*, São Paulo, 22 jun. 2003. Caderno cotidiano, p.01.
- [4] WANG, B.; CALIL, S.J. (1991), "Clinical Engineering in Brazil: current status", *Journal of Clinical Engineering*, v.16, n.2, p.129-135.
- [5] BARRETO, J. M. (2001), *Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI*, 3ed., Florianópolis: ppp edições, 392p.
- [6] STIEFEL, R.; RISKALLA, E. (1995), "The Elements of a Complete Product Evaluation".

Biomedical Instrumentation and Technology, v. 29, n.6, p.482-488.

- [7] RAMIREZ, E.F.F., JERONYMO NETO, O., JANNANI, J. (2001), "Método para Avaliação de Propostas de Compra de Equipamentos Médicos", *Semina: Ci. Exatas Tecnol.* v.22, n.1, p. 3-11.
- [8] RAMIREZ, E.F.F., BARATTO, G., CALIL, S.J. (2003), "Using Neural Networks to Select Medical Equipment Purchasing Proposals", *Proc. WC2003 - World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Sydney, Australia, 24-29 August.
- [9] HAYKIN, S. (2001), *Redes Neurais: Princípios e Prática*, 2ed., Porto Alegre: Bookman, 900p.

Contato

Prof. Ernesto F. F. Ramírez (ferreyra@uel.br)
Prof. Saide J. Calil (calil@ceb.unicamp.br)

APÊNDICE D

- Planilha utilizada para os trabalhos mostrados nos apêndices A, B e C;
 - Versões iniciais do questionário para consulta aos especialistas.
-

Pesquisa # 1

Suponha que você é um(a) Engenheiro(a) Clínico(a) de um Hospital qualquer e precisa dar um parecer sobre uma licitação de um equipamento fictício. Para isso você precisará dar uma nota de 0,0 a 10,0 para cada uma das 20 (vinte) propostas a seguir segundo o **seu** ponto-de-vista. Então, o seu objetivo será classificar as propostas por ordem de preferência, ou seja, a proposta vencedora terá a nota mais alta (não necessariamente precisará ser 10), e a pior proposta ficará com a nota mais baixa (não necessariamente precisará ser 0). Poderá haver também propostas que fiquem empatadas, ou seja, tenham a mesma nota, ok?!

Instruções para preenchimento:

- 1) Por favor seja sincero(a) e tente ser coerente em todas as suas repostas;
- 2) Responda através do que você acha/sente e não utilize critérios numéricos (como a média das notas dos 3 critérios: custo, desempenho e ergonomia) - você não precisa ficar "amarrado(a)" à modalidade de menor preço (suponha que você pode escolher a opção de melhor custo-benefício);
- 3) Primeiro atribua conceitos (A = Excelente, B = Bom, C = Regular, D = Fraco ou E = Muito Fraco) às propostas;
- 4) Depois transforme os conceitos em notas com números inteiros, neste caso você pode fazer um "ajuste fino" para desempatar as propostas com conceitos iguais - não valem valores "quebrados";
- 5) A nota 5,0 atribuída a cada critério (custo, desempenho e ergonomia) significa que o equipamento está no padrão do que foi especificado (por exemplo um custo nota 5,0 significa que o custo da proposta está no limite da licitação. Uma nota de custo maior que 5,0 significa que a proposta possui custo abaixo do valor limite da licitação. Um custo menor que 5,0 significa que a proposta tem custo acima do valor limite da licitação).

OBRIGADO PELA SUA COLABORAÇÃO!!!

Proposta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Notas de:										
Custos	1.1	2.2	0.3	3.2	4.6	5.2	9.4	10.0	8.2	3.6
Desempenho	4.4	3.0	3.9	4.8	5.6	3.0	6.9	5.8	5.1	7.3
Ergonomia	5.1	5.9	3.4	1.4	4.8	3.9	5.2	7.2	4.2	4.6
Conceito										
Nota Final										

Proposta	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Notas de:										
Custos	3.6	4.2	1.8	2.8	5.8	2.8	4.1	6.9	4.4	1.4
Desempenho	1.3	7.0	3.5	2.5	6.5	4.3	7.2	6.3	4.6	5.6
Ergonomia	4.9	3.0	1.3	4.8	5.4	4.2	8.9	3.7	1.9	1.4
Conceito										
Nota Final										

Figura D.1 – Planilha utilizada para os trabalhos mostrados nos apêndices A, B e C.

Preencha o formulário abaixo:

a)Nome: _____ b)Tempo de Experiência na área de Engenharia Clínica: _____ anos

c)Formação superior: ()Engenharia _____ ()Enfermagem
()Administração Hospitalar ()Medicina ()Outra: _____

d)Última instituição de Trabalho: _____ e)Permanência na última instituição de trabalho: _____ meses

f)Tipo de instituição: ()Hospital ()Empresa prestadora de serviços de Engenharia Clínica ()Outro: _____

g)Natureza da instituição: ()Pública ()Privada ()Mista

h)Atuação na última instituição de trabalho: ()Manutenção ()Especificação de Equipamentos
()Treinamento ()Outras Atividades: _____

i)Especifique o porte da sua última instituição de trabalho:

- Número de leitos: total = _____ / UTI = _____ / Centro Cirúrgico = _____
- Equipamentos atendidos: total = _____ (itens) e/ou _____ (US\$)
sendo _____ (% dos itens) e/ou _____ (US\$) de alta complexidade tecnológica (Med. Nuclear, CT, RMN, ultra-som).
- Outra informação que você ache relevante: _____

Figura D.2 – Versão inicial da parte 1 do questionário para consulta aos especialistas.

Parte 2 de 3:

Em um processo fictício de aquisição de um equipamento médico foram apresentadas 10 propostas de fornecimento para a comissão de licitação do Hospital. Esta comissão analisou todas as propostas e atribuiu notas para cada uma delas segundo os critérios desempenho técnico, clínico e financeiro. Assim, pede-se que você dê as notas finais das 10 propostas de fornecimento de equipamentos médico-hospitalares (obs: a média é 5,0).

Itens considerados pela comissão de licitação do hospital para atribuir as notas de Desempenho técnico, clínico e financeiro das propostas:											
Critérios Clínicos		Critérios Técnicos		Critérios Financeiros		Critérios de Segurança		Critérios de Qualidade			
<ul style="list-style-type: none">Facilidade de operação do equipamento: peso, clareza dos manuais, disposição/visualização dos botões e displays, altura, presença (ou não) de alças de transporte e/ou rodízios;Eficácia do equipamento para o tratamento do paciente;Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos operacionais e qualidade do treinamento oferecido;		<ul style="list-style-type: none">Princípio de funcionamento;Exatidão;Precisão;Confiabilidade (requer pouca manutenção);Facilidade de manutenção;Facilidade de obtenção de manuais técnicos e de peças de reposição;Rapidez e eficiência da assistência técnica;		<ul style="list-style-type: none">Custos de aquisição, operação e manutenção;Custos da infra-estrutura necessária (pessoal, predial e material) para a instalação e o funcionamento adequado do equipamento;Forma de pagamento;		<ul style="list-style-type: none">Risco envolvido com o uso do equipamento;Obediência às normas de segurança;Fornecimento de todas as informações necessárias para um bom funcionamento do equipamento;		<ul style="list-style-type: none">Familiaridade com o fornecedor;Reputação e referências do fornecedor;Duração e condições da garantia;Cumprimento das cláusulas especiais;			

Notas Atribuídas pela Comissão de Licitação após análise dos Critérios	Propostas										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Clínicos	4,2	7,7	6,2	4,7	3,8	4,2	5,4	7,9	7,2	7,3
	Técnicos	5,6	5,4	4,5	5,1	3,3	5,6	6,5	3,8	6,6	1,8
	Financeiros	7,2	5,2	5,5	2,4	5,7	7,4	2,0	6,3	4,8	4,5
	de Segurança	7,3	5,1	1,5	2,6	4,6	2,5	4,9	2,6	4,3	5,1
	de Qualidade	3,5	5,9	3,7	2,4	3,9	5,1	6,0	7,3	1,2	2,4
NOTAS FINAIS											

Figura D.3 - Versão inicial da parte 2 do questionário para consulta aos especialistas.

Parte 2 de 3:

Dentre os critérios abaixo marque aqueles que forem mais importantes para você. Depois atribua um peso na escolha final de um equipamento para os critérios que você marcou.

CRITÉRIOS	PESO
<input type="checkbox"/> Facilidade de operação do equipamento: peso, clareza dos manuais, disposição/visualização dos botões e displays, altura, presença (ou não) de alças de transporte e/ou rodízios;	
<input type="checkbox"/> Eficácia do equipamento para o tratamento do paciente;	
<input type="checkbox"/> Disponibilidade do fornecedor para oferecer treinamentos operacionais e qualidade do treinamento oferecido;	
<input type="checkbox"/> Princípio de funcionamento;	
<input type="checkbox"/> Exatidão;	
<input type="checkbox"/> Precisão;	
<input type="checkbox"/> Confiabilidade (requer pouca manutenção);	
<input type="checkbox"/> Facilidade de manutenção;	
<input type="checkbox"/> Facilidade de obtenção de manuais técnicos e de peças de reposição;	
<input type="checkbox"/> Rapidez e eficiência da assistência técnica;	
<input type="checkbox"/> Custos de aquisição, operação e manutenção;	
<input type="checkbox"/> Custos da infra-estrutura necessária (pessoal, predial e material) para a instalação e o funcionamento adequado do equipamento;	
<input type="checkbox"/> Forma de pagamento;	
<input type="checkbox"/> Risco envolvido com o uso do equipamento;	
<input type="checkbox"/> Obediência às normas de segurança;	
<input type="checkbox"/> Fornecimento de todas as informações necessárias para um bom funcionamento do equipamento;	
<input type="checkbox"/> Familiaridade com o fornecedor;	
<input type="checkbox"/> Reputação e referências do fornecedor;	
<input type="checkbox"/> Duração e condições da garantia oferecida;	
<input type="checkbox"/> Cumprimento das cláusulas especiais (prazos e condições para recebimento do equipamento).	

Figura D.4 - Segunda versão da parte 2 do questionário para consulta aos especialistas.

Parte 3 de 3: Na planilha a seguir, dê notas entre 0,0 e 10,0 para as propostas apresentadas. Primeiro, atribua notas para os grupos de itens da planilha quando for indicado, e em seguida, atribua as notas finais para as propostas apresentadas com base nas notas atribuídas aos grupos de itens.

Planilha # 0102030405- Monitor multiparamétrico para utilização em centro cirúrgico

Itens da Especificação	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3	Proposta 4	Proposta 5
1) Frequência cardíaca: 20 a 250 bpm	0-300	30-250	15-300	15-300	20-250
2) Banda Mínima: 0,5 a 40 Hz	0,05-40	0,05-100	0,05-45	0,05-40	0,5-40
3) Fornecimento de cópia do manual de treinamento operacional?	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
4) Fornecedor se comprometeu a agendar, por escrito, o treinamento operacional de maneira que este aconteça durante a entrega do equipamento ao hospital	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
5) Localização do fornecedor	cidade	cidade	Outro estado	estado	Outra região
6) Software em português?	Não	Sim	Sim	Sim	Não
7) Display: LCD colorido (preferencialmente)	LCD mono	LCD color	CRT color	CRT mono	LCD color
8) Equipamento existente no hospital?	Sim	Não	Sim	Sim	Não
NOTA PARA OS ITENS 1 A 8					
9) Preço: menor que R\$14.000,00 (preferencialmente)	13.300,00	15.600,00	18.500,00	14.400,00	10.000,00
10) Instalação por conta do fornecedor?	Sim	Sim	Sim	Não	Não
11) No-break incluído na proposta?	Não	Não	Sim	Sim	Não
12) Consumo [watts]	300	630	700	430	300
13) Atualizações de software são grátis?	Não	Sim	Sim	Não	Não
14) Preço dos sensores de dedo (spO2) em R\$	700,00	730,00	1.000,00	750,00	800,00
15) Custo anual do contrato de manutenção corretiva e preventiva? Além da mão-de-obra inclui peças?	900,00 Não	1.200,00 Sim	1.500,00 Sim	1.000,00 Não	600,00 Não
NOTA PARA OS ITENS 9 A 15					
16) Garantia mínima	12 meses	18 meses	24 meses	12 meses	12 meses
17) Saída digital para interface RS-232?	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
18) Possibilidade de ligação em rede?	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
19) Quantidade de sensores de oximetria acompanhantes	01	01	03	02	01
20) Quantidade de cabos de ECG acompanhantes	03	02	06	03	02
21) Fornecedor apresentou carta de representação técnica e comercial da fábrica no Brasil?	Sim	Não	Sim	Sim	Não
22) Assistência técnica permanente no Brasil?	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
23) N° de documentos apresentados atestando a boa capacidade técnica do fornecedor	03	02	05	03	01
NOTA PARA OS ITENS 16 A 23					
24) Possui alarmes de taquicardia (T), bradicardia (B), apnéia (A) e/ou eletrodo solto (ES)?	T, B, ES	T, B	T, B, A, ES	T, B	T, B
25) Reconhecimento de pulso de marcapasso (M), eletrodo solto (ES) e/ou tremor muscular (TM)?	ES	M, ES	M, ES, TM	ES, TM	ES, TM
26) Ajuste de limites de alarmes para todos os parâmetros?	Sim	Não	Sim	Sim	Não
27) Equipamento possui registro no Ministério da Saúde do Brasil?	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
NOTA PARA OS ITENS 24 A 27					
28) Erro máximo (% do fundo de escala)	5 %	5 %	2 %	3 %	3 %
29) Fornecedor lista de peças de reposição?	Sim	Não	Sim	Sim	Não
30) Qual a periodicidade mínima sugerida para troca das peças de reposição e dos sensores?	12 meses	?	18 meses	12 meses	?
31) Fornecedor se comprometeu a agendar o treinamento em manutenção no prazo máximo de 30 dias após a entrega do equipamento?	Sim	Não	Não	Sim	Não
32) Fornecedor cópia do manual de serviço?	Sim	Sim	Sim	Não	Não
33) Equipamento utiliza componentes comerciais (que não sejam exclusivos e sejam fáceis de encontrar no mercado)?	Sim	Não	Não	?	?
NOTA PARA OS ITENS 28 A 33					
NOTA FINAL PARA AS PROPOSTAS 1 A 5					

OBS: “ ? ” Significa informação omitida pelo fornecedor.

Figura D.5 – Versão inicial da parte 3 do questionário para consulta aos especialistas.

APÊNDICE E

**Regras de Classificação de Risco de Equipamentos Médicos segundo
Brasil (1994b).**

Regras de Classificação de Risco de Equipamentos Médicos segundo Brasil (1994b)

• Produtos Médicos da Classe 1 (Baixo Risco)

São os produtos médicos que, por dispensarem o emprego de procedimentos e técnicas especiais de produção e cuidados ou precauções em seu uso ou aplicação, representam baixo risco intrínseco à saúde de seus usuários, seja paciente ou operador. As seguintes regras aplicam-se aos produtos dessa Classe:

Regra 1 - Todos produtos médicos não-invasivos, exceto aqueles aos quais aplicam-se as regras 4, 5, 6, 19 e 20.

Regra 2 - Todos equipamentos de diagnóstico ou terapia, exceto aqueles aos quais aplicam-se as regras 8, 9, 10, 11, 12, 21, 22 e 23.

Regra 3 - Todos materiais, artigos e equipamentos de apoio médico-hospitalar, exceto aqueles aos quais aplicam-se as regras 13, 14 e 24.

• Produtos Médicos da Classe 2 (Médio Risco)

São os produtos médicos que apesar de dispensarem o emprego de procedimentos e técnicas especiais de produção, necessitam de cuidados ou precauções em seu uso ou aplicação, representando médio risco intrínseco à saúde de seus usuários, seja paciente ou operador. As seguintes regras aplicam-se aos produtos dessa Classe:

Regra 4 - Todos produtos médicos não invasivos destinados a conduzir, transportar, armazenar ou filtrar sangue, fluídos, gases ou tecidos orgânicos destinados a infusão ou introdução no organismo humano.

Regra 5 - Todos produtos médicos não-invasivos destinados ao tratamento ou alívio de queimaduras ou ferimentos da derme.

Regra 6 - Todos produtos médicos estéreis, invasivos ou não, exceto aqueles aos quais aplicam-se as regras 16, 17, 18, 19, 20 e 25.

Regra 7 - Todos produtos médicos invasivos destinados a uso transitório ou de curto prazo, exceto aqueles aos quais aplicam-se as regras 16, 17, 18, 19 e 25.

Regra 8 - Todos equipamentos de diagnóstico destinados à detecção de informações de sinais fisiológicos vitais, exceto aqueles aos quais aplica-se a regra 21.

Regra 9 - Todos equipamentos de diagnóstico cujo princípio de funcionamento prevê a emissão de energias que podem ser absorvidas pelo organismo humano, exceto os equipamentos para iluminar o corpo do paciente na faixa do espectro visível.

Regra 10 - Todos equipamentos de diagnóstico destinados a fornecer imagens "in-vivo" da distribuição de radiofármacos.

Regra 11 - Todos equipamentos de diagnóstico ou terapia destinados a administrar ou trocar energias com o corpo humano, exceto aqueles aos quais aplica-se a regra 22.

Regra 12 - Todos equipamentos de diagnóstico ou terapia destinados a administrar ou remover gases, medicamentos, fluídos ou outras substâncias do corpo humano, exceto aqueles aos quais aplica-se a regra 23.

Regra 13 - Todos equipamentos de apoio médico-hospitalar utilizados para esterilização de outros produtos médicos.

Regra 14 - Todos equipamentos de apoio médico-hospitalar destinados ao registro de imagens diagnósticas.

Regra 15 - Todos materiais e artigos implantáveis destinados a serem fixados exclusivamente nos dentes.

- **Produtos Médicos da Classe 3 (Alto Risco)**

São os produtos que por necessitarem do emprego de procedimentos e técnicas especiais de produção, bem como de cuidados ou precauções em seu uso ou aplicação, representam alto risco intrínseco à saúde de seus usuários, seja paciente ou operador. As seguintes regras aplicam-se aos produtos dessa Classe:

Regra 16 - Todos produtos médicos invasivos de longo prazo.

Regra 17 - Todos produtos médicos invasivos destinados a contato direto com o coração, sistema circulatório central ou sistema nervoso cerebral.

Regra 18 - Todos produtos médicos invasivos que utilizam tecidos humanos, tecidos animais ou seus derivados.

Regra 19 - Todos produtos médicos usados na contracepção ou prevenção de doenças sexualmente transmissíveis.

Regra 20 - Todos materiais e artigos não-invasivos estéreis destinados exclusivamente na desinfecção, limpeza ou hidratação de lentes de contato.

Regra 21 - Todos equipamentos de diagnósticos destinados a detecção de informações de sinais fisiológicos vitais em procedimentos ou condições de risco imediato à vida do paciente.

Regra 22 - Todos equipamentos de diagnóstico ou terapia destinados a administrar tipos ou níveis de energia intrinsecamente perigosa ao organismo humano, considerado a parte do corpo a absorver a energia e a densidade de energia.

Regra 23 - Todos equipamentos de diagnóstico ou terapia destinados a administrar ou remover gases, medicamentos, fluidos ou outras substâncias de forma intrinsecamente perigosa, considerando a natureza da substância e a parte do organismo envolvida no processo, bem como as condições de aplicação ou remoção.

Regra 24 - Todos materiais, artigos ou equipamentos de apoio médico-hospitalar destinados a controlar, monitorar ou que influem diretamente no desempenho dos equipamentos de diagnóstico ou terapia enquadrados na classe 3.

Regra 25 - Todos materiais e artigos implantáveis.

Implementação das Regras

1. Os produtos médicos e seus acessórios enquadrados em classes distintas, quando integrados ou conectados, terão seu conjunto enquadrado na classe mais crítica.
2. O produto médico destinado a diferentes usos ou aplicações no organismo humano, deverá ser classificado segundo seu uso ou aplicação mais crítica.
3. Caso duas regras sejam aplicadas a um mesmo produto médico, com base nas especificações fornecidas pelo fornecedor, este produto deverá adotar a regra que o enquadra na classe mais crítica.

APÊNDICE F

Programa “listeq2.m” desenvolvido para esta tese (vide Capítulo 4) no MatLab© para gerar aleatoriamente, a partir de uma lista de 55 elementos, 55 conjuntos com 5 elementos cada.

Programa listeq2.m

```
clear all

disp('Programa ListEq # 2');

%Definição (atraves de sorteio) dos Conjuntos de Equipamentos
%para a Pesquisa#02 - (05/12/04)

nEq = 55 %Numero de equipamentos
tCj = 5  %Tamanho de cada conjunto
nCj = 55 %Numero total de conjuntos

k = 1;
while k < (nCj+1),

%---Sorteio sem reposição da sequencia usando random e "bubble sort"---
    for j = 1:nEq,
        lis1(j) = random('norm',0,0.05);
        lis2(j) = j;
    end

    for j = 1:(nEq-1),
        for i = (j+1):nEq,
            if lis1(j) > lis1(i);
                temp = lis1(i); lis1(i) = lis1(j); lis1(j) = temp;
                temp = lis2(i); lis2(i) = lis2(j); lis2(j) = temp;
            end
        end
    end

%---Geração da linha das matrizes Cj e Cj2---
    for p = 1:round(nEq/tCj),
        Cj(k,1:tCj) = lis2(((p-1)*tCj+1):(p*tCj));
        Cj2(k,1) = k;
        Cj2(k,2:tCj+1)=Cj(k,1:tCj);
        disp(Cj2(k,:));
        k = k + 1;
    end

end
```

Tabela F.1 – 55 grupos sorteados pelo programa “listeq2.m”

Grupo	Equipamentos incluídos				
1	21	35	55	42	45
2	33	22	48	31	7
3	12	50	40	26	30
4	54	2	16	29	39
5	52	37	47	27	38
6	15	24	18	44	34
7	5	10	41	14	25
8	23	11	3	36	20
9	9	49	6	8	46
10	43	32	17	28	4
11	1	19	51	13	53
12	9	22	42	38	39
13	21	25	34	46	3
14	27	2	55	1	28
15	49	53	16	33	30
16	51	41	17	13	47
17	12	19	24	5	54
18	8	45	20	11	31
19	40	7	26	18	23
20	10	14	52	6	35
21	44	36	32	37	50
22	48	15	43	29	4
23	26	9	40	12	53
24	11	32	44	50	21
25	15	33	16	30	46
26	24	55	51	18	19
27	13	31	1	41	28
28	14	54	37	39	27
29	45	34	7	17	20
30	38	36	4	23	29
31	6	2	43	48	52
32	10	5	47	49	35
33	22	8	25	42	3
34	23	38	26	51	11
35	17	30	55	18	21
36	22	1	6	15	10
37	25	20	37	44	7
38	53	14	16	27	41
39	5	2	52	4	54
40	49	28	50	40	24
41	9	48	31	47	34
42	39	29	12	42	43
43	3	36	46	8	33
44	32	45	13	35	19
45	26	7	16	15	54
46	12	45	1	3	41
47	40	51	32	14	20
48	27	18	38	49	19
49	28	50	44	6	37
50	10	21	2	5	29
51	47	23	8	9	46
52	55	22	42	33	4
53	35	24	52	13	30
54	25	53	17	48	36
55	34	43	39	11	31

APÊNDICE G

Conjunto de exemplos utilizados para treinamento e teste das redes neurais artificiais.

Tabela G.1 - Conjunto de exemplos utilizados para treinamento e teste das redes neurais artificiais.

Entradas			Saídas				
R	C	IE	CL	F	Q	S	T
-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1
-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1
+1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	0	-1	-1	0	-1
+1	0	+1	-1	-1	-1	-1	-1
0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
0	0	+1	-1	0	-1	-1	-1
0	-1	0	-1	0	-1	-1	-1
0	0	+1	-1	0	-1	-1	-1
0	0	+1	-1	0	-1	-1	-1
+1	-1	0	-1	+1	+1	-1	0
+1	0	0	-1	0	-1	-1	-1
+1	0	+1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	0	0	-1	0	-1	-1	-1
-1	0	-1	-1	0	-1	-1	-1
-1	-1	-1	0	+1	-1	-1	-1
0	-1	0	-1	0	-1	-1	-1
+1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	+1	+1	+1	0	-1	-1	-1
-1	-1	-1	0	+1	0	0	-1
+1	-1	+1	-1	0	-1	-1	-1
-1	-1	-1	+1	+1	0	0	0
+1	0	0	-1	0	-1	-1	-1
+1	0	-1	-1	0	-1	-1	-1
-1	-1	-1	+1	+1	0	-1	-1
-1	+1	+1	-1	-1	-1	0	-1
0	-1	0	0	+1	-1	+1	-1
0	0	-1	-1	0	-1	0	-1
0	0	+1	0	0	-1	-1	-1
-1	0	-1	-1	-1	0	-1	+1
0	0	+1	-1	0	0	-1	0
0	-1	0	-1	-1	0	-1	+1
+1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0
+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1
+1	0	0	0	-1	0	-1	-1
+1	0	-1	-1	0	-1	-1	-1
-1	-1	-1	+1	-1	+1	0	+1
+1	+1	0	-1	0	-1	-1	0
-1	-1	-1	+1	0	+1	+1	0
+1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	-1

Entradas			Saídas				
R	C	IE	CL	F	Q	S	T
+1	-1	-1	-1	0	-1	0	0
+1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
+1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
+1	0	0	-1	0	-1	-1	-1
+1	0	+1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1
+1	+1	+1	-1	0	0	-1	-1
+1	+1	+1	0	0	0	-1	-1
+1	-1	+1	-1	0	0	-1	0
+1	-1	0	-1	+1	0	0	-1
0	0	+1	0	0	-1	-1	-1
+1	+1	+1	-1	0	0	0	-1
+1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1
+1	-1	-1	-1	0	-1	+1	+1
-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
-1	0	-1	+1	-1	0	0	-1
0	-1	0	-1	0	-1	-1	0
-1	-1	-1	+1	+1	0	0	0
+1	-1	-1	-1	0	0	-1	0
-1	+1	-1	-1	0	0	-1	-1
-1	+1	+1	-1	0	0	-1	-1
0	-1	0	-1	0	0	-1	0
-1	-1	-1	0	+1	+1	0	0
+1	-1	+1	-1	+1	0	0	-1
+1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
+1	0	+1	0	0	-1	-1	0
+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	+1	+1	0	+1
+1	0	-1	-1	0	-1	-1	-1
0	0	+1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	+1	+1	-1	0	-1	-1	-1
0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
+1	0	+1	-1	-1	0	-1	-1
+1	0	-1	-1	0	-1	-1	0
0	0	+1	-1	0	0	-1	0
-1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1
0	0	-1	-1	0	-1	-1	0
+1	+1	+1	-1	0	0	-1	0

APÊNDICE H

Principais programas desenvolvidos nesta tese no MatLab© para treinar as RNA dos modelos LMS, RN1, e RN2.

Programa decis0.m

```
disp('Programa Decis#0'); %Unico perceptron treinado com algoritmo LMS (Adaline).
                        %Sorteio dos conjuntos de treinamento e teste
                        %acontece a cada treinamento, e a sequencia eh
                        %diferente para cada epoca.

eta0 = 0.02           %coeficiente de aprendizagem
ne = size(Xi,1);      %numero de entradas (sem contar o bias)
ns = size(Di,1);      %numero de saidas
rep = 100             %numero de repeticoes do treinamento
if reposicao == 1,
    nBoot = 25        %numero de Bootstraps
end
epMax0 = 1000         %numero maximo de epocas para o treinamento

clear Y W0 W0min W0mint Yt W0d e et veqm veqmt epmed0 eqmed0 epmedt0 eqmedt0 duracao0

hold off; clf;

tic                  %Inicio da contagem de tempo

for r = 1:rep,

    geracjs;

    if reposicao == 1,
        for rB = 1:nBoot, %Inicio do loop de Bootstraps
            gerabts;
            atribcjs;
            gerapesos0;
            lote0;
            sequencial0;
        end          %Fim do loop de Bootstraps
    end

    if reposicao == 0,
        rB = 1;
        atribcjs;
        gerapesos0;
        lote0;
        sequencial0;
    end

    disp('----Repetição ='); disp(r);
    disp('Epoca (estimativa) = '); disp(mean(epmed0(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (estimativa) ='); disp(mean(eqmed0(:,r),1));

    disp('Epoca (validação) = '); disp(mean(epmedV0(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (validação) ='); disp(mean(eqmedV0(:,r),1));

    disp('Epoca (teste) = '); disp(mean(epmedT0(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (teste) ='); disp(mean(eqmedT0(:,r),1));

end %Fim do loop de repeticoes

%---Plotagem do Grafico dos EQMs durante o Treinamento e o Teste
p = 1:epMax0;
pcm; %sub-programa "plota curva media"

duracao0 = toc;
disp('*****Resultados Finais do Perceptron LMS*****');
disp('Duração (segundos) ='); disp(duracao0);
disp('-----Medias-----')
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Estimativa)=');
disp([mean(mean(epmed0,1)) std(mean(epmed0,1)) mean(mean(eqmed0,1)) std(mean(eqmed0,1))]);
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Validação)=');
disp([mean(mean(epmedV0,1)) std(mean(epmedV0,1)) mean(mean(eqmedV0,1)) std(mean(eqmedV0,1))]);
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Teste)=');
disp([mean(mean(epmedT0,1)) std(mean(epmedT0,1)) mean(mean(eqmedT0,1)) std(mean(eqmedT0,1))]);
disp('*****');
```


Programa sequencial0.m

```
clear Y Yt W0d e et

if (r == 1)&&((rB == 1)||((reposicao == 0))),
    disp('Sub-Programa Sequencial#0'); %Unico perceptron treinado com algoritmo LMS.
end

%Inicialização de valores

ep = 0;

sorteio;

%Preparação das entradas da Rede Neural
for q = 1:nEst, Xe(:,q) = [1 XEst(:,q)]'; end
for q = 1:nVal, Xv(:,q) = [1 XVal(:,q)]'; end
for q = 1:nTes, Xt(:,q) = [1 XTes(:,q)]'; end

%Programa Principal (treinamento por lote)
while ep < epMax0 %eqm > 0.1,

    ep = ep + 1;

    %---Estimativa---
    for q = 1:nEst,
        Y = W0*Xe(:,q);
        %---Calculo do erro---
        e(:,q) = DEst(:,q)-Y;
        %---Atualização dos pesos---
        W0d = W0 + eta0*Xe(:,q)*e(:,q);
        W0a = W0; W0 = W0d;
    end
    %---Calculo e armazenamento do erro quadratico medio da Estimativa
    eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*nEst);
    eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO
    if ep == 1; eqmin = eqm; epmin = ep; end
    veqm(r,ep,rB) = eqm;
    if eqmin > eqm; eqmin = eqm; epmin = ep; end;

    %---Validação---
    clear Y e
    Y = W0a*Xv;
    %---Calculo do erro---
    e = DVal-Y;
    %---Calculo e armazenamento do erro quadratico medio do Teste
    eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*nVal);
    eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO
    if ep == 1; eqminV = eqm; epminV = ep; end
    veqmV(r,ep,rB) = eqm;
    if eqminV > eqm; eqminV = eqm; epminV = ep; W0min(:,r,rB) = W0a; end;

    %---Teste---
    clear Y e
    Y = W0a*Xt;
    %---Calculo do erro---
    e = DTes-Y;
    %---Calculo e armazenamento do erro quadratico medio do Teste
    eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*nTes);
    eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO
    if ep == 1; eqminT = eqm; epminT = ep; end
    veqmT(r,ep,rB) = eqm;
    if eqminT > eqm; eqminT = eqm; epminT = ep; end;
end %Fim do While das Epocas

%Armazenamento dos erros quadraticos da Estimativa
epmed0(rB,r) = epmin; eqmed0(rB,r) = eqmin;

%Armazenamento dos erros quadraticos da Validação
epmedV0(rB,r) = epminV; eqmedV0(rB,r) = eqminV;

%Armazenamento dos erros quadraticos do Teste
epmedT0(rB,r) = epminT; eqmedT0(rB,r) = eqminT;
```

Programa calc0.m

```
disp('Programa Calc#0'); %Calculo da resposta do Perceptron LMS
                        %Eh necessario executar o Decis0 antes!!!
clear w Rlms erroqm0 corr0 erro0 corre0 Did curva0 vetor
hold off; clf;

Rlms = frn(0,clas,Xi,W0min,0,0);
%---Desnormaliza respostas---
for j=1:size(Di,2),
    for i = 1:size(Di,1),
        Did(i,j)=fns*Di(i,j)+ks;
        curva0(i,j)=fns*Rlms(i,j)+ks;
    end
end

if clas == 0,
    for r = 1:size(W0min,3),
        %---Calculo dos erros quadraticos medios desnormalizados---
        %---e dos Coeficientes de correlação---
        vetor = frn(0,clas,Xi,W0min(:,r,:),0,0);
        for j=1:size(Di,2),
            for i = 1:size(Di,1),
                vetor(i,j)=fns*vetor(i,j)+ks;
            end
        end
        [erroqm0(:,r) corr0(:,r)] = fcomp(Did,vetor);
    end
    disp('---Dispersao do Ensemble---');
    disp(' EQM   DP =');disp([mean(erroqm0,2) std(erroqm0,0,2)]);
    disp(' Corr   DP =');disp([mean(corr0,2) std(corr0,0,2)]);
end

[erro0 corre0] = fcomp(Did,curva0);
disp('---Resposta Final do Ensemble---');
disp(' EQM = Corr =');disp([erro0 corre0]);
disp('Medias e dp (EQM e Corr) =');
disp([mean(erro0) std(erro0) mean(corre0) std(corre0)]);
%Calculo da porcentagem de acertos (so faz sentido para clas=1)
acertos = 100*(1-numel(find(Did-curva0))/numel(Did-curva0));
if clas == 1; disp(' Acertos(%) =');disp(acertos); end

%---Barras Verticais---
%title('Respostas: Desejadas(preto) e Perceptron LMS(branco)');
for i = 1:size(curva0,1),
    subplot(5,1,i);colormap(summer);bar([Did(i,:); curva0(i,:)]); %axis([0 42.5 0 3]);
    if size(curva0,1) == size(Dtemp,1),
        if i == 1; ylabel('CL'); end
        if i == 2; ylabel('F'); end
        if i == 3; ylabel('Q'); end
        if i == 4; ylabel('S'); end
        if i == 5; ylabel('T'); end
    end
    if size(curva0,1) == 3,
        if i == 1; ylabel('R'); end
        if i == 2; ylabel('C'); end
        if i == 3; ylabel('IE'); end
    end
end
xlabel('Exemplo');
```

Programa decis1.m

```
disp('Programa Decis#1'); %perceptron backpropagation com "m11"
                        %neuronios na camada escondida.
                        %Sorteo dos conjuntos de treinamento e teste
                        %acontece a cada treinamento, e a sequencia eh
                        %diferente para cada epoca.

alfa1 = 0.9           %coeficiente de inercia
eta1 = 0.0005         %coeficiente de aprendizado
ne = size(Xi,1);      %numero de entradas (sem contar o bias)
m11 = 80              %numero de neuronios na camada oculta#1
ns = size(Di,1);      %numero de neuronios na camada de saida
rep = 100             %numero de repeticoes do treinamento
if reposicao == 1,
    nBoot = 25        %numero de Bootstraps
end
epMax1 = 1000         %numero maximo de epocas para o treinamento

clear W1 W1d W2 W2d Y1 Y2 V1 V2 e veqm delta1 delta2
clear Y1t Y2t V1t V2t et veqmt epmed1 eqmed1 epmedt1 eqmedt1 W1min1 W1min2
clear W1min1t W1min2t duracao1

hold off; clf;

tic                  %Inicio da contagem de tempo

for r = 1:rep,

    geracjs;
    if reposicao == 1,
        for rB = 1:nBoot, %Inicio do loop de Bootstraps
            gerabts;
            atribcjs;
            gerapesos1;
            lote1;
            sequencial1;
        end          %Fim do loop de Bootstraps
    end

    if reposicao == 0,
        rB = 1;
        atribcjs;
        gerapesos1;
        lote1;
        sequencial1;
    end

    disp('----Repetição ='); disp(r);
    disp('Epoca (estimativa) = '); disp(mean(epmed1(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (estimativa) ='); disp(mean(eqmed1(:,r),1));
    disp('Epoca (validação) = '); disp(mean(epmedV1(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (validação) ='); disp(mean(eqmedV1(:,r),1));
    disp('Epoca (teste) = '); disp(mean(epmedT1(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (teste) ='); disp(mean(eqmedT1(:,r),1));
end %Fim do loop de repeticoes

%---Plotagem do Grafico dos EQMs durante o Treinamento e o Teste
p = 1:epMax1;
pcm; %sub-programa "plota curva media"

duracao1 = toc;
disp('*****Resultados Finais do Perceptron LMS*****');
disp('Duração (segundos) ='); disp(duracao1);
disp('-----Medias-----')
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Estimativa)=');
disp([mean(mean(epmed1,1)) std(mean(epmed1,1)) mean(mean(eqmed1,1)) std(mean(eqmed1,1))]);
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Validação)=');
disp([mean(mean(epmedV1,1)) std(mean(epmedV1,1)) mean(mean(eqmedV1,1)) std(mean(eqmedV1,1))]);
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Teste)=');
disp([mean(mean(epmedT1,1)) std(mean(epmedT1,1)) mean(mean(eqmedT1,1)) std(mean(eqmedT1,1))]);
disp('*****');

```

Programa sequencial1.m

```
clear W1d W2d Y1 Y1temp Y2 V1 V2 e delta1 delta2 Y1t Y2t V1t V2t et

if (r == 1)&&((rB == 1)||((reposicao == 0)),
    disp('Sub-Programa Sequencial#1'); %perceptron backpropagation com "m11"
    %neuronios na camada escondida.
end

%Inicialização de valores
W1 = W1i1; W2 = W1i2;

ep = 0;

sorteio;

%Preparação das entradas da Rede Neural
for q = 1:nEst, Xe(:,q) = [1 XEst(:,q)]'; end
for q = 1:nVal, Xv(:,q) = [1 XVal(:,q)]'; end
for q = 1:nTes, Xt(:,q) = [1 XTes(:,q)]'; end

%Programa Principal
while ep < epMax1 %eqm > 0.1,

    ep = ep + 1;

    %---Estimativa---
    for q = 1:nEst,
        %Calculos para a frente (propagação)
        %---Camada 1---
        V1 = W1*Xe(:,q);
        Y1temp = 1.7159*tanh(0.6667*V1);
        %---Camada 2---
        Y1 = [1 Y1temp]';
        V2 = W2*Y1;
        Y2 = 1.7159*tanh(0.6667*V2);
        %---Calculo do erro---
        e(:,q) = DEst(:,q)-Y2;

        %Calculos para tras (retro-propagação)
        %---Gradientes da Camada de saida---
        clear delta2
        for i = 1:size(Y2,1),
            for j = 1:size(Y2,2),
                delta2(i,j) = e(i,q)*0.3885*(1.7159-Y2(i,j))*(1.7159+Y2(i,j));
            end
        end
        %---Gradientes da Camada oculta 1---
        clear delta1
        somatoria = W2*delta2;
        for i = 1:size(V1,1),
            for j = 1:size(V1,2),
                delta1(i,j) = somatoria(i,j)*0.3885*(1.7159-Y1(i,j))*(1.7159+Y1(i,j));
            end
        end
        %---Atualização dos pesos da Camada de saida---
        W2d = W2 + alfa1*(W2-W1a2) + eta1*Y1*delta2';
        W1a2 = W2; W2 = W2d;
        %---Atualização dos pesos da Camada oculta 1---
        W1d = W1 + alfa1*(W1-W1a1) + eta1*Xe(:,q)*delta1';
        W1a1 = W1; W1 = W1d;
    end

    %Calculo e armazenamento do erro quadratico medio da Estimativa
    eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*nEst);
    eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO
    if ep == 1; eqmin = eqm; epmin = ep; end
    veqm(r,ep,rB) = eqm;
    if eqmin > eqm, eqmin = eqm; epmin = ep; end
end
```

```

%---Validação---
%Calculos para a frente (propagação)
%---Camada 1---
V1 = W1a1*Xv;
Y1temp = 1.7159*tanh(0.6667*V1);
%---Camada 2---
clear Y1
for q = 1:size(V1,2),
    Y1(:,q) = [1 Y1temp(:,q)]';
end
V2 = W1a2*Y1;
Y2 = 1.7159*tanh(0.6667*V2);
%---Calculo do erro---
e = DVal-Y2;

%Calculo e armazenamento do erro quadratico medio da Validação
eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*(nVal));
eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO
if ep == 1; eqminV = eqm; epminV = ep; end
veqmV(r,ep,rB) = eqm;
if eqminV > eqm,
    eqminV = eqm; epminV = ep; W1min1(:,r,rB) = W1a1; W1min2(:,r,rB) = W1a2;
end

%---Teste---
%Calculos para a frente (propagação)
%---Camada 1---
V1 = W1a1*Xt;
Y1temp = 1.7159*tanh(0.6667*V1);
%---Camada 2---
clear Y1
for q = 1:size(V1,2),
    Y1(:,q) = [1 Y1temp(:,q)]';
end
V2 = W1a2*Y1;
Y2 = 1.7159*tanh(0.6667*V2);
%---Calculo do erro---
e = DTes-Y2;

%Calculo e armazenamento do erro quadratico medio do Teste
eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*(nTes));
eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO
if ep == 1; eqminT = eqm; epminT = ep; end
veqmT(r,ep,rB) = eqm;
if eqminT > eqm, eqminT = eqm; epminT = ep; end

end %Fim do While das Epocas

%Armazenamento dos erros quadraticos da Estimativa
epmed1(rB,r) = epmin; eqmed1(rB,r) = eqmin;

%Armazenamento dos erros quadraticos da Validação
epmedV1(rB,r) = epminV; eqmedV1(rB,r) = eqminV;

%Armazenamento dos erros quadraticos do Teste
epmedT1(rB,r) = epminT; eqmedT1(rB,r) = eqminT;

```

Programa calc1.m

```
disp('Programa Calc#1'); %Calculo da resposta da RN-1
                        %Eh necessario executar o Decis1 antes!!!
clear w Rrn1 erroqm1 corr1 Did curva1 vetor erro1 corre1
hold off; clf;

Rrn1 = frn(1,clas,Xi,W1min1,W1min2,0);
%---Desnormaliza respostas---
for j=1:size(Di,2),
    for i = 1:size(Di,1),
        Did(i,j)=fns*Di(i,j)+ks;
        curva1(i,j)=fns*Rrn1(i,j)+ks;
    end
end

if clas==0,
    for r = 1:size(W1min2,3),
        %---Calculo dos erros quadraticos medios desnormalizados---
        %---e dos Coeficientes de correlação---
        vetor = frn(1,clas,Xi,W1min1(:,r,:),W1min2(:,r,:),0);
        for j=1:size(Di,2),
            for i = 1:size(Di,1),
                vetor(i,j)=fns*vetor(i,j)+ks;
            end
        end
        [erroqm1(:,r) corr1(:,r)] = fcomp(Did,vetor);
    end
    disp('---Dispersao do Ensemble---');
    disp(' EQM   DP =');disp([mean(erroqm1,2) std(erroqm1,0,2)]);
    disp(' Corr   DP =');disp([mean(corr1,2) std(corr1,0,2)]);
end

[erro1 corre1] = fcomp(Did,curva1);

disp('---Resposta Final do Ensemble---');
disp(' EQM = Corr =');disp([erro1 corre1]);
disp('Medias e dp (EQM e Corr) =');
disp([mean(erro1) std(erro1) mean(corre1) std(corre1)]);
%Calculo da porcentagem de acertos (so faz sentido para clas=1)
acertos = 100*(1-numel(find(Did-curva1))/numel(Did-curva1));
if clas == 1; disp(' Acertos(%) =');disp(acertos); end

%---Barras Verticais---
%title('Respostas: Desejadas(preto) e Perceptron LMS(branco)');
for i = 1:size(curva1,1),
    subplot(5,1,i); colormap(summer); bar([Did(i,:); curva1(i,:)]); %axis([0 42.5 0 3]);
    ylabel('Classif. ');xlabel('Exemplo');
end
for i = 1:size(curva1,1),
    subplot(5,1,i);
    bar([Did(i,:); curva1(i,:)]); %axis([0 42.5 0 3]);
    if size(curva1,1) == 5,
        if i == 1; ylabel('CL'); end
        if i == 2; ylabel('F'); end
        if i == 3; ylabel('Q'); end
        if i == 4; ylabel('S'); end
        if i == 5; ylabel('T'); end
    end
    if size(curva1,1) == 3,
        if i == 1; ylabel('R'); end
        if i == 2; ylabel('C'); end
        if i == 3; ylabel('IE'); end
    end
end
xlabel('Exemplo');
```

Programa decis2.m

```

disp('Programa Decis#2'); %perceptron backpropagation com "m21 e m22"
    %neuronios nas camadas escondidas.
    %Sorteio dos conjuntos de treinamento e teste
    %acontece a cada treinamento, e a sequencia eh
    %diferente para cada epoca.

alfa2 = 0.9      %coeficiente de inercia
eta2 = 0.0001    %coeficiente de aprendizado
ne = size(Xi,1); %numero de entradas (sem contar o bias)
m21 = 30         %numero de neuronios na camada oculta#1
m22 = 30         %numero de neuronios na camada oculta#2
ns = size(Di,1); %numero de neuronios na camada de saida
rep = 100        %numero de repeticoes do treinamento
if reposicao == 1,
    nBoot = 25    %numero de Bootstraps
end
epMax2 = 1000    %numero maximo de epocas para o treinamento

clear W1 W1d W2 W2d W3 W3d delta1 delta2 W2min1 W2min2 W2min3
clear Y1 Y2 Y3 V1 V2 V3 e veqm duracao2
clear Y1t Y2t Y3t V1t V2t V3t et veqmt epmed2 eqmed2 epmedt2 eqmedt2
clear W2min1t W2min2t W2min3t

hold off; clf;

tic          %Inicio da contagem de tempo

for r = 1:rep,

    geracjs;
    if reposicao == 1,
        for rB = 1:nBoot, %Inicio do loop de Bootstraps
            gerabts;
            atribcjs;
            gerapesos2;
        %    lote2;
        %    sequencial2;
        end          %Fim do loop de Bootstraps
    end

    if reposicao == 0,
        rB = 1;
        atribcjs;
        gerapesos2;
    %    lote2;
    %    sequencial2;
    end

    disp('----Repetição ='); disp(r);
    disp('Epoca (estimativa) = '); disp(mean(epmed2(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (estimativa) ='); disp(mean(eqmed2(:,r),1));
    disp('Epoca (validação) = '); disp(mean(epmedV2(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (validação) ='); disp(mean(eqmedV2(:,r),1));
    disp('Epoca (teste) = '); disp(mean(epmedT2(:,r),1));
    disp('Erro Quadratico Minimo (teste) ='); disp(mean(eqmedT2(:,r),1));
end %Fim do loop de repeticoes

%---Plotagem do Grafico dos EQMs durante o Treinamento e o Teste
p = 1:epMax2;
pcm; %sub-programa "plota curva media"
duracao2 = toc;
disp('*****Resultados Finais do Perceptron LMS*****');
disp('Duração (segundos) ='); disp(duracao2);
disp('-----Medias-----')
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Estimativa)=');
disp([mean(mean(epmed2,1)) std(mean(epmed2,1)) mean(mean(eqmed2,1)) std(mean(eqmed2,1))]);
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Validação)=');
disp([mean(mean(epmedV2,1)) std(mean(epmedV2,1)) mean(mean(eqmedV2,1)) std(mean(eqmedV2,1))]);
disp(' Epoca dpEpoca EQM dpEQM (Teste)=');
disp([mean(mean(epmedT2,1)) std(mean(epmedT2,1)) mean(mean(eqmedT2,1)) std(mean(eqmedT2,1))]);
disp('*****');

```

Programa sequencial2.m

```
clear W1d W2d W3d Y1 Y2 Y3 V1 V2 V3 e delta1 delta2 Y1t Y2t Y3t V1t V2t V3t et

%perceptron backpropagation com "m21 e m22" neuronios nas camadas escondidas.

if (r == 1)&&((rB == 1)||((reposicao == 0))), disp('Sub-Programa Sequencial#2'); end

%Inicialização de valores
W1 = W2i1; W2 = W2i2; W3 = W2i3; ep = 0;
sorteio;
%Preparação das entradas da Rede Neural
for q = 1:nEst, Xe(:,q) = [1 XEst(:,q)]'; end
for q = 1:nVal, Xv(:,q) = [1 XVal(:,q)]'; end
for q = 1:nTes, Xt(:,q) = [1 XTes(:,q)]'; end

%Programa Principal
while ep < epMax2 %eqm > 0.1,
    ep = ep + 1;
    %---Estimativa---
    for q = 1:nEst,
        %Calculos para a frente (propagação)
        %---Camada 1---
        V1 = W1*Xe(:,q);
        Y1temp = 1.7159*tanh(0.6667*V1);
        %---Camada 2---
        Y1 = [1 Y1temp]';
        V2 = W2*Y1;
        Y2temp = 1.7159*tanh(0.6667*V2);
        %---Camada 3---
        Y2 = [1 Y2temp]';
        V3 = W3*Y2;
        Y3 = 1.7159*tanh(0.6667*V3);
        %---Calculo do erro---
        e(:,q) = DEst(:,q)-Y3;
        %Calculos para tras (retro-propagação)
        %---Gradientes da Camada de saída---
        clear delta3
        for i = 1:size(Y3,1),
            for j = 1:size(Y3,2),
                delta3(i,j) = e(i,q)*0.3885*(1.7159-Y3(i,j))*(1.7159+Y3(i,j));
            end
        end
        %---Gradientes da Camada oculta 2---
        clear delta2
        somatoria2 = W3*delta3;
        for i = 1:size(V2,1),
            for j = 1:size(V2,2),
                delta2(i,j) = somatoria2(i,j)*0.3885*(1.7159-Y2(i,j))*(1.7159+Y2(i,j));
            end
        end
        %---Gradientes da Camada oculta 1---
        clear delta1
        somatoria = W2*delta2;
        for i = 1:size(V1,1),
            for j = 1:size(V1,2),
                delta1(i,j) = somatoria(i,j)*0.3885*(1.7159-Y1(i,j))*(1.7159+Y1(i,j));
            end
        end
        %---Atualização dos pesos da Camada de saída---
        W3d = W3 + alfa2*(W3-W2a3) + eta2*Y2*delta3';
        W2a3 = W3; W3 = W3d;
        %---Atualização dos pesos da Camada oculta 1---
        W2d = W2 + alfa2*(W2-W2a2) + eta2*Y1*delta2';
        W2a2 = W2; W2 = W2d;
        %---Atualização dos pesos da Camada oculta 1---
        W1d = W1 + alfa2*(W1-W2a1) + eta2*Xe(:,q)*delta1';
        W2a1 = W1; W1 = W1d;
    end
    %Calculo e armazenamento do erro quadratico medio do Treinamento
    eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*nEst);
    eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO
    if ep == 1; eqmin = eqm; epmin = ep; end
```



```

veqm(r,ep,rB) = eqm;
if eqmin > eqm, eqmin = eqm; epmin = ep; end

%---Validacao---
%Calculos para a frente (propagação)
%---Camada 1---
V1 = W2a1*Xv;
Y1temp = 1.7159*tanh(0.6667*V1);
%---Camada 2---
clear Y1
for q = 1:size(V1,2),
    Y1(:,q) = [1 Y1temp(:,q)]';
end
V2 = W2a2*Y1;
Y2temp = 1.7159*tanh(0.6667*V2);
%---Camada 3---
clear Y2
for q = 1:size(V2,2),
    Y2(:,q) = [1 Y2temp(:,q)]';
end
V3 = W2a3*Y2;
Y3 = 1.7159*tanh(0.6667*V3);
%---Calculo do erro---
e = DVal-Y3;
%Calculo e armazenamento do erro quadratico medio da Validacao
eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*(nVal));
eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO;
if ep == 1; eqminV = eqm; epminV = ep; end
veqmV(r,ep,rB) = eqm;
if eqminV > eqm;
    eqminV = eqm;
    epminV = ep;
    W2min1(:,r,rB) = W2a1;
    W2min2(:,r,rB) = W2a2;
    W2min3(:,r,rB) = W2a3;
end

%---Teste---
%Calculos para a frente (propagação)
%---Camada 1---
V1 = W2a1*Xt;
Y1temp = 1.7159*tanh(0.6667*V1);
%---Camada 2---
clear Y1
for q = 1:size(V1,2),
    Y1(:,q) = [1 Y1temp(:,q)]';
end
V2 = W2a2*Y1;
Y2temp = 1.7159*tanh(0.6667*V2);
%---Camada 3---
clear Y2
for q = 1:size(V2,2),
    Y2(:,q) = [1 Y2temp(:,q)]';
end
V3 = W2a3*Y2;
Y3 = 1.7159*tanh(0.6667*V3);
%---Calculo do erro---
e = DTes-Y3;

%Calculo e armazenamento do erro quadratico medio do Teste
eqm = mean(diag(e*e',0))/(2*(nTes));
eqm = fns*fns*eqm; %DESNORMALIZAÇÃO;
if ep == 1; eqminT = eqm; epminT = ep; end
veqmT(r,ep,rB) = eqm;
if eqminT > eqm, eqminT = eqm; epminT = ep; end
end %Fim do While das Epocas

%Armazenamento dos erros quadraticos da Estimativa
epmed2(rB,r) = epmin; eqmed2(rB,r) = eqmin;
%Armazenamento dos erros quadraticos da Validacao
epmedV2(rB,r) = epminV; eqmedV2(rB,r) = eqminV;
%Armazenamento dos erros quadraticos do Teste
epmedT2(rB,r) = epminT; eqmedT2(rB,r) = eqminT;

```

Programa calc2.m

```
disp('Programa Calc#2'); %Calculo da resposta da RN-2
                        %Eh necessario executar o Decis2 antes!!!
clear w Rrn2 erroqm2 corr2 erro2 corre2 Did curva2 vetor
hold off; clf;

Rrn2 = frn(2,clas,Xi,W2min1,W2min2,W2min3);
%---Desnormaliza respostas---
for j=1:size(Di,2),
    for i = 1:size(Di,1),
        Did(i,j)=fns*Di(i,j)+ks;
        curva2(i,j)=fns*Rrn2(i,j)+ks;
    end
end

if clas == 0,
    for r = 1:size(W2min3,3),
        %---Calculo dos erros quadraticos medios desnormalizados---
        %---e dos Coeficientes de correlação---
        vetor = frn(2,clas,Xi,W2min1(:,r),W2min2(:,r,:),W2min3(:,r,:));
        for j=1:size(Di,2),
            for i = 1:size(Di,1),
                vetor(i,j)=fns*vetor(i,j)+ks;
            end
        end
        [erroqm2(:,r) corr2(:,r)] = fcomp(Did,vetor);
    end
    disp('---Dispersao do Ensemble---');
    disp(' EQM   DP =');disp([mean(erroqm2,2) std(erroqm2,0,2)]);
    disp(' Corr   DP =');disp([mean(corr2,2) std(corr2,0,2)]);
end

[erro2 corre2] = fcomp(Did,curva2);
disp('---Resposta Final do Ensemble---');
disp(' EQM = Corr =');disp([erro2 corre2]);
disp('Medias e dp (EQM e Corr) =');
disp([mean(erro2) std(erro2) mean(corre2) std(corre2)]);
%Calculo da porcentagem de acertos (so faz sentido para clas=1)
acertos = 100*(1-numel(find(Did-curva2))/numel(Did-curva2));
if clas == 1; disp(' Acertos(%) =');disp(acertos); end

%---Barras Verticais---
%title('Respostas: Desejadas(preto) e Perceptron LMS(branco)');
for i = 1:size(curva2,1),
    subplot(5,1,i);colormap(summer);bar([Did(i,:); curva2(i,:)]); %axis([0 42.5 0 3]);
    if size(curva2,1) == size(Dtemp,1),
        if i == 1; ylabel('CL'); end
        if i == 2; ylabel('F'); end
        if i == 3; ylabel('Q'); end
        if i == 4; ylabel('S'); end
        if i == 5; ylabel('T'); end
    end
    if size(curva2,1) == 3,
        if i == 1; ylabel('R'); end
        if i == 2; ylabel('C'); end
        if i == 3; ylabel('IE'); end
    end
end
xlabel('Exemplo');
```

APÊNDICE I

Resultados do treinamento das RNA para todos os modelos.

Tabela I.1 – Significado das siglas que são utilizadas nas tabelas contidas neste apêndice.

SIGLA	SIGNIFICADO
Modelo #	Número do Modelo que identifica a RNA
Tipo de RNA	Arquitetura da Rede Neural, que pode ser: linear treinada com o algoritmo LMS (código LMS); perceptrons com 1 camada (código RN1) ou 2 camadas (código RN2) escondidas treinadas com o algoritmo Back-propagation
α	Coefficiente de inércia (ou momento) utilizado no algoritmo Back-propagation (RNA tipo RN1 ou RN2)
η	Coefficiente de aprendizagem utilizado no algoritmo LMS (RNA tipo LMS) ou Back-propagation (nos casos da RNA ser do tipo RN1 ou RN2)
m1	Número de neurônios não-lineares utilizados na única camada escondida de RN1 ou na primeira camada escondida de RN2
m2	Número de neurônios não-lineares utilizados na segunda camada escondida de RN2
epMáx	Limite máximo de épocas utilizado para interromper o treinamento
Duração (s)	Duração (em segundos) do treinamento da RNA
Ep_E	Época em que ocorreu o erro quadrático mínimo de estimação durante o treinamento da RNA
dpEpE	Desvio-padrão de "Ep_E"
EQM_E	Erro quadrático mínimo de estimação durante o treinamento da RNA
dpE	Desvio-Padrão de "EQM_E"
Ep_V	Época em que ocorreu o erro quadrático mínimo de validação durante o treinamento da RNA
dpEpV	Desvio-padrão de "Ep_V"
EQMTr	Erro quadrático de estimação na época em que ocorreu o erro quadrático mínimo de validação da RNA
dpTr	Desvio-Padrão de "EQMTr"
EQMVal	Erro quadrático mínimo de validação durante o treinamento da RNA
dpVal	Desvio-padrão de "EQMVal"
EQMTe	Erro quadrático de teste na época em que ocorreu o erro quadrático mínimo de validação da RNA
dpTe	Desvio-padrão de "EQMTe"
Ep_T	Época em que ocorreu o erro quadrático mínimo de teste durante o treinamento da RNA
dpEpT	Desvio-padrão de "Ep_T"
EQM_T	Erro quadrático mínimo de teste durante o treinamento da RNA
dpT	Desvio-padrão de "EQM_T"
EQM_C	Média do erro quadrático entre as respostas do ensemble de 100 RNA com a média das respostas dos engenheiros clínicos
dpC	Desvio-Padrão de "EQM_C"
Corr	Média da correlação das respostas do ensemble de 100 RNA com a média das respostas dos engenheiros clínicos
dpCorr	Desvio-Padrão de "Corr"

Tabela I.2 – Resultados do treinamento de diversas RNA do tipo *Adaline* treinadas com o algoritmo LMS. Todos os resultados são a média de um *ensemble* de 100 redes neurais.

Modelo #	01*	02	03	04	05*	06*
Tipo de RNA	LMS	LMS	LMS	LMS	LMS	LMS
Parâm	α	---	---	---	---	---
	η	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,05
	m1	---	---	---	---	---
	m2	---	---	---	---	---
	epMáx	500	500	1.000	2.000	500
Duração (s)		100	100	164	303	103
Estim.	Ep_E	9,5	133,2	782,6	2000,0	20,1
	dpEpE	10,0	109,7	247,3	0,0	22,4
	EQM_E	0,2250	0,1786	0,1742	0,1722	0,2029
	dpE	0,0200	0,0171	0,0146	0,0166	0,0197
Validação	Ep_V	6,3	70,5	296,2	1.040,3	13,8
	dpEpV	9,9	111,0	391,9	678,2	22,0
	EQMTr	0,2416	0,1862	0,1788	0,1771	0,2259
	dpTr	0,0200	0,0185	0,0129	0,0159	0,0276
	EQMVal	0,2204	0,2014	0,2010	0,2040	0,2039
	dpVal	0,0369	0,0317	0,0308	0,0368	0,0356
	EQMTe	0,2186	0,2084	0,2040	0,2075	0,2100
	dpTe	0,0282	0,0281	0,0229	0,0256	0,0332
Teste	Ep_T	6,9	68,5	302,14	992,9	15,6
	dpEpT	10,5	107,1	393,74	661,4	22,9
	EQM_T	0,2177	0,2024	0,2001	0,2028	0,2068
	dpT	0,0282	0,0269	0,0220	0,0247	0,0317
Calc	EQM_C	0,1670	0,0763	0,0740	0,0725	0,1222
	dpC	0,0374	0,0276	0,0272	0,0271	0,0230
	Corr	0,4110	0,3711	0,3811	0,3749	0,4050
	dpCorr	0,1430	0,1351	0,1357	0,1302	0,1435

(*) Nota: O treinamento dos modelos # 01, 05 e 06 não foi bem sucedido, pois as curvas de aprendizagem ficaram muito instáveis.

Tabela I.3 – Resultados do treinamento de diversas RNA do tipo Perceptron com 1 camada escondida, treinadas com o algoritmo *Back-Propagation*. Todos os resultados são a média de um *ensemble* de 100 redes neurais.

Modelo #	07*	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tipo de RNA	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1	RN1
α	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
η	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
m_1	1	1	5	5	10	15	20	20	20	20	10	5	30	50
m_2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ep Máx	500	1.000	2.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000
Duração (s)	432	816	1.585	3.902	4.337	4.676	4.972	4.997	5.063	3.064	2.632	2.371	3.437	7.506
Ep_E	32,7	439,2	1.631,9	3.345,2	4.129,2	4.516,3	4.405,0	4.454,2	547,4	1.635,0	1.761,7	1.093,5	1.011,9	761,0
dpEpE	40,2	151,4	561,7	1.465,9	1.219,3	1.053,4	1.125,7	720,9	721,2	826,9	844,9	863,0	662,9	492,3
EQM_E	0,1761	0,1703	0,1647	0,1683	0,1624	0,1506	0,1534	0,1442	0,1738	0,1485	0,1466	0,1577	0,1576	0,1647
dpE	0,0171	0,0151	0,0179	0,0176	0,0174	0,0169	0,0168	0,0148	0,0233	0,0187	0,0176	0,0180	0,0201	0,0276
Ep_V	43,7	276,5	743,8	1.785,3	1.646,6	1.652,8	1.832,9	1.498,6	203,3	329,4	646,6	787,7	311,1	502,7
dpEpV	84,7	274,8	795,4	1.880,9	1.895,1	1.949,8	1.981,5	1.370,9	570,3	488,4	854,8	932,9	544,5	904,4
EQMTr	0,1858	0,1790	0,1752	0,1721	0,1731	0,1694	0,1702	0,1638	0,1925	0,1693	0,1641	0,1686	0,1773	0,1868
dpTr	0,0212	0,0167	0,0216	0,0216	0,0224	0,0209	0,0217	0,0194	0,0236	0,0216	0,0205	0,0209	0,0222	0,0383
EQMVA	0,1907	0,1879	0,1818	0,1815	0,1848	0,1833	0,1848	0,1835	0,2086	0,1927	0,1917	0,1843	0,2016	0,2154
dpVA	0,0374	0,0312	0,0337	0,0367	0,0328	0,0360	0,0342	0,0299	0,0386	0,0323	0,0382	0,0373	0,0388	0,0490
EQMTe	0,2020	0,2022	0,1960	0,2024	0,1987	0,2010	0,1965	0,2022	0,2197	0,2116	0,2140	0,2010	0,2211	0,2353
dpTe	0,0263	0,0285	0,0300	0,0315	0,0300	0,0285	0,0260	0,0269	0,0391	0,0319	0,0337	0,0302	0,0394	0,0347
Ep_T	26,39	310,1	811,2	1.733,9	1.786,4	1.968,0	2.044,0	1.377,0	174,3	425,8	715,1	735,6	316,4	275,9
dpEpT	31,42	258,9	796,9	1.720,4	1.888,9	1.885,3	1.987,3	1.181,6	488,1	535,4	821,6	844,8	592,6	324,1
EQM_T	0,1947	0,1940	0,1893	0,1898	0,1888	0,1918	0,1890	0,1914	0,2058	0,1982	0,1986	0,1884	0,2075	0,2203
dpT	0,0255	0,0269	0,0306	0,0290	0,0291	0,0270	0,0255	0,0242	0,0297	0,0299	0,0292	0,0293	0,0364	0,0316
EQM_C	0,0678	0,0633	0,0668	0,0628	0,0623	0,0518	0,0520	0,0451	0,0363	0,0322	0,0357	0,0429	0,0284	0,0230
dpC	0,0328	0,0327	0,0312	0,0302	0,0304	0,0318	0,0322	0,0300	0,0254	0,0241	0,0243	0,0278	0,0201	0,0172
Corr	0,3848	0,4146	0,5056	0,5531	0,5621	0,5846	0,5810	0,6432	0,7326	0,7720	0,7392	0,6647	0,8054	0,8517
dpCorr	0,1847	0,1861	0,1720	0,1659	0,1673	0,1808	0,1863	0,1710	0,1360	0,1267	0,1260	0,1454	0,1109	0,0867

(*) Nota: O treinamento do modelo #07 não foi bem sucedido, pois as curvas de aprendizagem ficaram muito instáveis.

Tabela I.4 – Resultados do treinamento de diversas RNA do tipo Perceptron com 2 camadas escondidas, treinadas com o algoritmo *Back-Propagation*. Todos os resultados são a média de um *ensemble* de 100 redes neurais.

Modelo #	21	22	23	24	25	26	27	28
Tipo de RNA	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2
Parâm	α	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,7	0,9
	η	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,00005
	m1	1	5	10	5	10	10	10
	m2	1	5	10	5	10	10	10
	epMáx	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	7.500
Duração (s)		6.113	6.025	6.792	6.020	6.826	6.880	10.412
Estim.	Ep_E	1.081,7	3.788,7	4.279,2	3.594,4	4.357,3	3.526,8	3.449,9
	dpEpE	406,2	1.042,2	792,5	1.120,7	663,0	1.191,0	1.230,6
	EQM_E	0,1738	0,1547	0,1478	0,1487	0,1477	0,1425	0,1394
	dpE	0,0155	0,0158	0,0151	0,0155	0,0137	0,0147	0,0159
Validação	Ep_V	715,7	1.751,8	1.572,9	1.877,5	1.650,4	1.508,8	1.796,7
	dpEpV	936,8	1.538,7	1.457,8	1.580,4	1.577,6	1.512,7	1.376,9
	EQMTr	0,1837	0,1744	0,1687	0,1686	0,1694	0,1628	0,1570
	dpTr	0,0225	0,0232	0,0218	0,0235	0,0244	0,0205	0,0186
	EQMVal	0,1893	0,1763	0,1776	0,1814	0,1839	0,1847	0,1903
	dpVal	0,0348	0,0339	0,0318	0,0331	0,0329	0,0351	0,0343
	EQMTe	0,1980	0,1898	0,1958	0,1966	0,1954	0,1998	0,2112
	dpTe	0,0266	0,0324	0,0321	0,0315	0,0299	0,0287	0,0319
Teste	Ep_T	858,2	2.021,5	1.624,9	2.022,8	1.397,2	1.227,4	2.079,3
	dpEpT	784,0	1.438,5	1.316,5	1.615,8	1.357,1	1.303,7	1.429,7
	EQM_T	0,1904	0,1733	0,1826	0,1822	0,1781	0,1834	0,1927
	dpT	0,0261	0,0263	0,0269	0,0284	0,0267	0,0278	0,0307
Calc	EQM_C	0,0636	0,0458	0,0453	0,0451	0,0437	0,0371	0,0304
	dpC	0,0326	0,0306	0,0309	0,0309	0,0292	0,0276	0,0225
	Corr	0,4037	0,6375	0,6439	0,6447	0,6682	0,7341	0,7926
	dpCorr	0,1824	0,1646	0,1705	0,1718	0,1583	0,1449	0,1136

Tabela I.4 (cont...) – Resultados do treinamento de diversas RNA do tipo Perceptron com 2 camadas escondidas, treinadas com o algoritmo *Back-Propagation*. Todos os resultados são a média de um *ensemble* de 100 redes neurais.

Modelo #	29	30	31	32	33	34	35	36
Tipo de RNA	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2	RN2
Parâm	α	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	η	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	m1	15	10	5	10	20	30	50
	m2	15	10	10	5	20	30	50
	epMáx	5.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	12.000
Duração (s)		7.747	9.546	9.079	9.066	11.922	14.413	21.936
Estim.	Ep_E	3.298,6	4.366,2	4.462,1	4.022,3	4.561,9	5.389,1	6.318,3
	dpEpE	1.309,1	1.803,0	1.831,1	1.950,7	1.754,5	1.465,7	1.108,1
	EQM_E	0,1383	0,1417	0,1430	0,1447	0,1357	0,1327	0,4050
	dpE	0,0167	0,0160	0,0150	0,0156	0,0152	0,0154	0,5454
Validação	Ep_V	2.346,1	2.850,6	2.589,5	2.977,2	3.010,2	3.684,0	5.073,1
	dpEpV	1.505,9	2.203,8	2.234,5	2.157,7	2.113,1	1.845,3	1.911,8
	EQMTr	0,1539	0,1609	0,1616	0,1632	0,1542	0,1465	0,4181
	dpTr	0,0139	0,0182	0,0186	0,0201	0,0204	0,0204	0,5458
	EQMVal	0,1943	0,1831	0,1822	0,1768	0,1931	0,2179	0,4731
	dpVal	0,0363	0,0320	0,0296	0,0298	0,0360	0,0489	0,5006
	EQMTe	0,2160	0,2075	0,2032	0,2061	0,2259	0,2383	0,5123
	dpTe	0,0360	0,0334	0,0307	0,0338	0,0359	0,0488	0,4682
Teste	Ep_T	2.580,7	2.748,6	2.322,4	2.818,8	2.866,3	3.448,2	5.329,3
	dpEpT	1.527,8	1.976,8	2.049,1	2.071,3	2.103,9	1.866,4	1.561,4
	EQM_T	0,1975	0,1887	0,1846	0,1890	0,2034	0,2163	0,4909
	dpT	0,0297	0,0276	0,0284	0,0254	0,0301	0,0400	0,4712
Calc	EQM_C	0,0220	0,0281	0,0305	0,0365	0,0191	0,0084	0,0255
	dpC	0,0169	0,0202	0,0239	0,0269	0,0146	0,0067	0,0086
	Corr	0,8646	0,8174	0,7979	0,7404	0,8842	0,9525	0,8231
	dpCorr	0,0820	0,1038	0,1203	0,1360	0,0708	0,0479	0,1153

Tabela I.5 – Resultados do treinamento das RNA do modelo#29 (vide Tabela I.4) com a utilização da técnica *bagging* e do treinamento por Lote.

Modelo		Bag29a	Bag29b	Bag29c	Lote29
Tipo de RNA		RN2	RN2	RN2	RN2
Parâm	α	0,9	0,9	0,9	0,9
	η	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	m1	15	15	15	15
	m2	15	15	15	15
	epMáx	5.000	5.000	5.000	5.000
Duração (s)		2.007	8.095	76.539	3.028
Estim.	Ep_E	3.765,8	3.606,9	4.530,1	3.378,9
	dpEpE	---	1.067,6	159,5	1.208,9
	EQM_E	0,1123	0,1085	0,1142	0,1315
	dpE	---	0,0238	0,0140	0,0145
Validação	Ep_V	1.323,6	1.901,0	1.053,5	2.177,2
	dpEpV	---	1.421,9	789,8	1.560,0
	EQMTr	0,1392	0,1375	0,1605	0,1547
	dpTr	---	0,0383	0,0242	0,0257
	EQMVal	0,2127	0,2128	0,1911	0,1929
	dpVal	---	0,0456	0,0324	0,0345
	EQMTe	0,2584	0,2528	0,2133	0,2204
	dpTe	--	0,0426	0,0314	0,0367
Teste	Ep_T	1.356,9	1.962,0	964,7	2.070,1
	dpEpT	---	1.474,9	660,2	1.408,2
	EQM_T	0,2431	0,2286	0,1978	0,2001
	dpT	---	0,0335	0,0283	0,0285
Calc	EQM_C	0,0411	0,0291	0,0479	0,0211
	dpC	0,0264	0,0217	0,0308	0,0168
	Corr	0,7203	0,8064	0,6140	0,8739
	dpCorr	0,1436	0,0930	0,1713	0,0759

Nota: condições de treinamento dos modelos:

- Bag29a: treinamento seqüencial de uma única RNA, cujas saída é a média de 25 *bootstraps*;
- Bag29b: treinamento seqüencial de 100 RNA, sendo cada uma treinada com apenas 1 *bootstrap*;
- Bag29c: treinamento por lote de 100 RNA, sendo a saída de cada uma a média de 25 *bootstraps*;
- Lote29: treinamento por lote de 100 RNA sem a utilização de *bootstraps*.