

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

MARLY MONTEIRO DE CARVALHO

**QFD - UMA FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO
EM PROJETO**



0.272.579-3



UFSC-BU

Tese apresentada ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia de Produção

Orientador:
Prof. Ricardo Miranda Barcia, PhD

Florianópolis
1997

04/11/97
ga

QFD: UMA FERRAMENTA DE TOMADA DE DECISÃO EM PROJETO

MARLY MONTEIRO DE CARVALHO

Esta tese foi julgada adequada para obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

PROF. RICARDO MIRANDA BARCIA, PHD.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

BANCA EXAMINADORA :

PROF. RICARDO M. BARCIA, PhD.
Orientador

PROF. PEDRO LUIZ DE O. COSTA NETO, Dr.
Examinador Externo

PROF. JOSÉ CARLOS TOLEDO, Dr.
Examinador Externo

PROF. ALEJANDRO M. RODRIGUEZ, Dr.
Examinador

PROF. ROBERTO C.S. PACHECO, Dr.
Examinador

PROF. LUIZ F. MAIA, Dr.
Moderador

Dedico esta tese ao meu esposo Alexandre e ao meu filho Lucas, que têm sido a fonte de energia e incentivo de meu aperfeiçoamento técnico e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Desejo externar meu reconhecimento a todos que, das mais variadas formas, contribuíram para elaboração deste trabalho:

- ao professor Ricardo Miranda Bárcia, pela orientação, fechando o ciclo de mestrado e doutorado;
- ao professor Alejandro Martins, pelas sugestões que muito contribuíram para o desenvolvimento do trabalho, bem como pela atenção despendida a todas as demandas;
- aos colegas do IPT e da Escola Politécnica da USP, pelo apoio no decorrer deste trabalho e compreensão nas minhas ausências;
- a Edna, pelas incansáveis buscas por informações e pelo apoio na elaboração da bibliografia;
- a minha família, pelo apoio incondicional, incentivo e energia transmitidos.

SUMÁRIO

Lista de Figuras
Lista de Tabelas
Resumo
“Abstract”

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	2
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Estrutura do Trabalho	7

PARTE I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2. QFD - DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE	10
2.1 Introdução	11
2.2 QFD - Conceito	13
2.2.1 Modelo de AKAO	15
2.2.2 Modelo de KING - GOAL/QC	18
2.2.3 Modelo do ASI	20
2.2.3.1 Modelo do QFD Estendido - CLAUSING e PUGH ...	23
2.3 Matriz de Planejamento do Produto - Casa da Qualidade	25
2.3.1 A Voz do Consumidor	28
2.3.1.1 Análise Competitiva Externa	30
2.3.1.2 Peso dos Requisitos do Consumidor	31
2.3.2 As Características da Qualidade	32
2.3.2.1 Matriz de Relacionamentos	32
2.3.2.2 Matriz de Correlação Triangular	33
2.3.2.3 Análise Competitiva Interna	34
2.3.2.4 Peso das Características da Qualidade.....	34
2.3.2.5 Metas Quantitativas	35
2.4 Análise Crítica DO QFD	37
2.4.1 Benefícios relacionados ao QFD	37
2.4.2 Organização do Trabalho em Times	38
2.4.3 Múltiplas Fontes de Informação	40

2.4.4	Processo de Tomada de Decisão	42
2.4.4.1	Atores Envolvidos no Processo Decisório	44
2.4.4.2	Estrutura Hierarquizada	47
2.4.4.3	Variáveis Lingüísticas.....	48
3.	MODELOS DE TOMADA DE DECISÃO UTILIZANDO O QFD	50
3.1	Introdução	51
3.1.1	Representação Matemática da QFD.....	51
3.1.2	Procedimentos de Normalização da QFD.....	53
3.2	Modelo utilizando Programação Linear	57
3.2.1	Exemplo ilustrativo	58
3.3	Modelo utilizando AHP.....	60
3.4	Modelos utilizando Conjuntos Difusos.....	63
3.4.1	Modelo de MASUD e DEAN.....	63
3.4.1.1	Variáveis Linguísticas.....	63
3.4.1.2	Exemplo Ilustrativo	65
3.4.2	Modelo de KIM et al.....	69
3.4.2.1	Exemplo Ilustrativo	72

PARTE II - DESENVOLVIMENTO DA TESE

4.	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	75
4.1	Introdução.....	76
4.2	Comparação dos Modelos.....	76
4.3	Análise dos Diferentes Enfoques	79
4.3.1	Estabelecimento da Ordenação dos Requisitos do Consumidor...	79
4.3.2	Estabelecimento da Ordenação das Características da Qualidade e das Metas.....	80
4.4	Formulação do Problema da Tese.....	84
5.	MODELO 1 - O ENFOQUE DIFUSO.....	85
5.1	Introdução.....	86
5.2	Descrição do Modelo.....	86
5.2.1	Variáveis Lingüísticas.....	86
5.2.2	A Voz do Consumidor.....	89

5.2.2.1	Análise Competitiva Externa	90
5.2.2.2	Peso dos Requisitos do Consumidor.....	91
5.2.3	As Características da Qualidade.....	92
5.2.3.1	Matriz de Relacionamento e de Correlação.....	92
5.2.3.2	Peso das Características da Qualidade.....	93
5.2.3.3	Análise Competitiva Interna e Metas Quantitativas.....	94
5.3	Aplicação do Modelo 1.....	96
5.3.1	Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1.....	97
5.3.2	Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2	102
6.	MODELO 2 - AHP E DIFUSO	106
6.1	Introdução.....	107
6.2	Descrição do Modelo.....	107
6.2.1	A Voz do Consumidor.....	108
6.2.2	As Características da Qualidade e Metas Quantitativas.....	112
6.3	Exemplo Ilustrativo.....	113
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	119
7.1	Introdução.....	120
7.2	Conclusões	120
7.3	Contribuição Original.....	124
7.4	Recomendações	124
ANEXO A	ESCALA DAS VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS	126
ANEXO B	MEMORIAL DE CÁLCULO: MODELO 1 - FASE 1	127
ANEXO C	MEMORIAL DE CÁLCULO: MODELO 1 - FASE 2	136
ANEXO D	MEMORIAL DE CÁLCULO: MODELO 2.....	146
ANEXO E	MEMORIAL DE CÁLCULO: CONCLUSÃO.....	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		157
APÊNDICE I	EXEMPLOS DAS MATRIZES DO QFD	
APÊNDICE II	EXEMPLOS DE QUESTIONÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DA VOZ DO CONSUMIDOR	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Estrutura do Trabalho.....	9
FIGURA 2.1 - Modelo Completo de AKAO.....	16
FIGURA 2.2 - Modelo de AKAO - Desdobramento da Qualidade.....	17
FIGURA 2.3 - Modelo de KING.....	19
FIGURA 2.4 - Modelo do ASI	21
FIGURA 2.5 - Matriz de Seleção de Conceitos de PUGH.....	24
FIGURA 2.6 - QFD Estendido.....	25
FIGURA 2.7 - Matriz de Planejamento do Produto ou Casa da Qualidade.....	27
FIGURA 2.8 - Exemplo de Matriz de Planejamento do Produto.....	36
FIGURA 2.9 - Representação Gráfica dos Padrões de Comunicação.....	39
FIGURA 2.10 - Múltiplas Fontes de Informação.....	40
FIGURA 2.11 - Presença dos Atores na Casa da Qualidade.....	46
FIGURA 3.1 - Representação Matemática do QFD.....	52
FIGURA 3.2 - Matriz de Planejamento para um Instrumento de Escrita Hipotético	
FIGURA 3.2.a - Normalização pelo procedimento de LYMAN	
FIGURA 3.2.b - Normalização pelo procedimento de WASSERMAN.....	56
FIGURA 3.3 - Hierarquia da Aplicação.....	60
FIGURA 3.4 - Pesos dos Requisitos do Consumidor pela AHP.....	61
FIGURA 3.5 - QFD e AHP.....	62
FIGURA 3.6 - QFD difuso para o <i>Mini Moon Rover</i>	69
FIGURA 3.7 - Casa da Qualidade - Exemplo da Porta de Automóvel.....	72
FIGURA 4.1 - Ferramentas por Região da Casa da Qualidade.....	83
FIGURA 5.1 - Variável Lingüística “Relacionamento”.....	88
FIGURA 5.2 - Escala das Variáveis de Decisão.....	95
FIGURA 5.3 - Modelo 1: Exemplo do <i>Mini Moon Rover</i> - Fase 1.....	99
FIGURA 5.4 - QFD Tradicional: Exemplo do <i>Mini Moon Rover</i> - Fase 1.....	100
FIGURA 5.5 - Modelo 1: Exemplo do <i>Mini Moon Rover</i> - Fase 2.....	102
FIGURA 5.6 - QFD Tradicional: Exemplo do <i>Mini Moon Rover</i> - Fase 2.....	103

FIGURA 6.1 - Hierarquia da Aplicação	109
FIGURA 6.2 - Matrizes de Comparação.....	110
FIGURA 6.3 - Grau de importância dos Requisitos do Consumidor.....	114
FIGURA 6.4 - Avaliação Competitiva Externa Inicial.....	115
FIGURA 6.5 - Exemplo do <i>Mini Moon Rover</i> - Modelo 2	117
FIGURA 7.1 - Hierarquia dos Modelos	122

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Diferenças entre a QFD e o Desenvolvimento de Produtos Tradicional.....	12
TABELA 3.1 - Nomenclatura.....	53
TABELA 3.2 - Priorização das Características da Qualidade.....	59
TABELA 3.3 - Alocação de Recursos segundo Critério do Índice Único.....	59
TABELA 3.4 - Escala da Variável - Relacionamentos.....	66
TABELA 3.5 - Escala do Grau de Importância.....	66
TABELA 3.6 - Ordenação das Funções do <i>Rover</i>	68
TABELA 3.7 - Definição dos Modelos.....	71
TABELA 3.8 - Resultados Obtidos.....	73
TABELA 4.1 - Comparação dos Modelos.....	78
TABELA 5.1 - Ordenação das Características da Qualidade - Fase 1.....	101
TABELA 5.2 - Ordenação das Características da Qualidade - Fase 2.....	104
TABELA 5.3 - Ordenação dos Requisitos do Consumidor - Fase 2.....	105
TABELA 5.3 - Ordenação dos Requisitos do Consumidor	114
TABELA 6.1 - Ordenação dos Requisitos do Consumidor.....	114
TABELA 6.2 - Ordenação das Características da Qualidade.....	118
TABELA 7.1 - Comparação dos Modelos.....	123

RESUMO

O método *Quality Function Deployment (QFD)*, conhecido no Brasil pela mesma sigla e traduzido por Desdobramento da Função Qualidade, tem sido largamente utilizado pelas empresas japonesas e americanas para auxiliar os times de desenvolvimento de produto a planejar e estruturar seu trabalho. Este método trabalha as informações necessárias ao processo de tomada de decisão em projeto de uma maneira visual e compacta, as quais são arranjadas numa série de matrizes interrelacionadas.

As críticas mais contundentes a este método estão relacionadas à natureza qualitativa da informação e à falta de rigor matemático na tomada de decisão, no que concerne à priorização das características da qualidade do produto e no estabelecimento das metas.

Com o objetivo de integrar o QFD a ferramentas que permitam estabelecer maior rigor matemático, mantendo o compromisso de não descaracterizar o método quanto à facilidade de utilização e poder de tomada de decisão do time, foram desenvolvidos dois modelos. O primeiro modelo trabalha todas as variáveis lingüísticas segundo a teoria dos "Conjuntos Difusos". Utiliza uma extensão do procedimento de normalização advogado por WASSERMAN (1993) para números difusos, como forma de tratar a correlação entre as características da qualidade, bem como programação linear inteira para o estabelecimento das metas. O segundo modelo diferencia-se do primeiro apenas na obtenção do grau de importância dos requisitos do consumidor e na avaliação competitiva externa, que são estabelecidos utilizando-se o "Método da Análise Hierárquica" (AHP).

Ambos os modelos são aplicados e comparados segundo a classificação dos requisitos do consumidor e das características da qualidade. Posteriormente, os dois modelos são comparados com os disponíveis na literatura técnica segundo três critérios, quais sejam: abrangência, tratamento das variáveis lingüísticas e fronteira de atuação do time.

ABSTRACT

The Quality Function Deployment (QFD) method had been widely used in American and Japanese companies to assist product development teams to plan and organize their tasks. Companies' teams use a series of interaction matrices which put together all data required to product decision process in a highly visual and compact form.

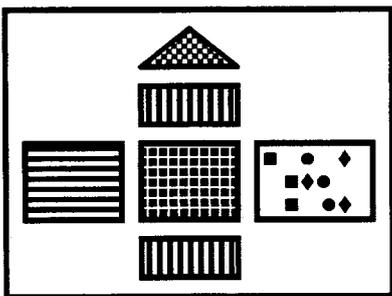
Major criticisms addressed to this method refer to the qualitative nature of the input information and lack of accuracy in the decision process as it regards to priority setting to quality characteristics and their goals.

As a product of this research, two models are developed based on the QFD method. These models take linguistic variables that are currently used as input information in the QFD method and organize them mathematically in order to get more accurate results. It is expected that both these models will be either helpful to companies or team's decision-making regarding product development since they will enable to plan their goal and tasks more efficiently.

The first model takes all QFD's linguistic input variables and work them out according to the Fuzzy Sets Theory. To provide the means for properly account for correlation among the quality characteristics, this model use a normalization procedure. This model also allows the use of linear programming in order to find quality characteristics goals according to cost constraint.

The second model differs from the first one by the way in which both the degree of importance to customers' requirements and the external competitive assessment are obtained. The mathematical tool used to deal with these two variables is the Analytical Hierarchic Process (AHP).

In this thesis, these two models are applied and their results as well as customers' requirement ranking and quality characteristics ranking, are all compared. In addition, these two models are compared to other models discussed in the QFD's literature, taking as a reference criteria for comparison attributes such as: (i) the degree of models comprehensiveness, (ii) level of treatment of their linguistic variable, and (iii) team's decision-making frontier.



CAPÍTULO 1º - INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A Função Qualidade já foi abordada sob diversos prismas pelas empresas. Na sua origem, Inspeção, possuía um escopo restrito em que a postura predominante era reativa. Paulatinamente, esta Função foi sendo considerada em um contexto mais abrangente, adquirindo visão sistêmica, ao que se chama de Controle Total da Qualidade (TQC-*Total Quality Control*).

Cabe ressaltar que a Função Qualidade assumiu uma perspectiva estratégica, sendo então considerada uma arma competitiva, com a qual as empresas que melhor equacionam as necessidades dos clientes, bem como os pontos fortes e fracos das concorrentes e delas próprias, têm maiores chances de sucesso (GARVIN;1992). Portanto, a postura é proativa.

Esta mudança de perspectiva provocou alguns reflexos na Engenharia da Qualidade. A ênfase, que era praticamente exclusiva do controle da qualidade *on-line*, foi gradualmente cedendo espaço para o controle da qualidade *off-line*¹.

Embora sejam inúmeros os benefícios obtidos na aplicação do controle da qualidade *on-line*, é na fase de projeto e desenvolvimento de produtos e processos, *off-line*, que se encontra o maior desafio da “Função Qualidade”: identificar as necessidades reais dos consumidores e focar todos os estágios, desde o projeto até a comercialização, para satisfazê-las.

¹TAGUCHI (1986) separa o Controle da Qualidade em *on-line* e *off-line*. O primeiro refere-se às ferramentas utilizadas no monitoramento da variabilidade durante a produção (falha humana, falha de máquina ...). O segundo diz respeito às ferramentas destinadas ao projeto.

Partindo-se do pressuposto de que a "qualidade está nos olhos do consumidor", ou seja, de uma abordagem baseada no usuário, (GARVIN,1984), um produto de boa qualidade é aquele que melhor atende às necessidades dos consumidores. Entretanto, neste caso, para o projetista, surge a dificuldade de agregar as diferentes preferências dos consumidores e distinguir entre elas quais as que maximizam a sua satisfação.

A principal dificuldade a ser enfrentada no controle da qualidade *off-line* é o tratamento da imprecisão inerente à fase de desenvolvimento. Neste caso, pode-se exemplificar a imprecisão através das seguintes frases:

- Como interpretar as necessidades dos consumidores expressas por variáveis lingüísticas?
- Como selecionar aquelas que maximizam a satisfação do consumidor?
- Como conciliar os diferentes enfoques do pessoal de *marketing*, engenharia, produção etc.?
- Quais são os pontos em que se deve concentrar os esforços de engenharia, e nos quais não se deve investir nem tempo nem dinheiro?
- Segundo a visão do cliente, nosso produto é melhor ou pior que o produto dos concorrentes?

O método QFD-*Quality Function Deployment*, (traduzido por Desdobramento da Função Qualidade), vem, em vários aspectos, responder a estas perguntas. De fato, o QFD trouxe uma inversão no processo de desenvolvimento de produtos; o qual é desencadeado pelas necessidades reais do consumidor, orientando ("puxando") as atividades de desenvolvimento, as quais são executadas por "times multifuncionais"

que desenvolvem o projeto do produto e do processo, contemplando os diferentes enfoques.

O QFD foi originalmente proposto por Yoji AKAO em 1966, e implementado nos estaleiros KOBE da *Mitsubishi Heavy Industries* em 1972, (KOGURE;AKAO,1983). Na década de 70, este método se difundiu no Japão, destacando-se as aplicações na montadora de veículos *Toyota Autobody* e em seus fornecedores, (HAUSER;CLAUSING;1988). Só na década de 80 as empresas americanas começaram a implementar o QFD. Hoje, estima-se que tenha sido adotada por mais de cem empresas americanas (GRIFFIN;HAUSER;1992).

A utilização do QFD, no Brasil, ainda é incipiente. Contudo, alguns setores, como o de autopeças, começam a implementar este método. Estima-se que 68% das empresas deste setor conhecem e 31% estão implementando o QFD. Nas empresas com mais de 1000 empregados estes índices sobem para 94% e 56% para conhecimento e utilização deste método, respectivamente, (IPT;1994).²

Não obstante, este método utiliza informações de natureza qualitativa, expressas por variáveis lingüísticas, que são trabalhadas através do consenso dos membros do time. Se, por um lado, a aparente facilidade de utilização do método, associada à adoção de símbolos visuais, é um fator positivo, por outro lado, a ausência de mecanismos formais de tomada de decisão que promovam maior rigor matemático resulta no questionamento dos resultados obtidos. Portanto, é possível afirmar que a deficiência mais significativa do QFD está no processo de tomada de decisão.

² Pesquisa realizada pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo em parceria com o SINDIPEÇAS com 323 empresas deste setor; (IPT;1994).

O QFD não propõe qualquer estrutura formal de tomada de decisão, nem no que concerne à priorização dos parâmetros críticos do projeto nem ao estabelecimento de metas para tais parâmetros. O processo de priorização dos parâmetros críticos do projeto está restrito ao índice de importância relativa (Capítulo 2º). As metas são estabelecidas, em geral, pelo confronto entre os dados disponíveis na análise competitiva interna. Este confronto é feito de forma subjetiva, sem estrutura formal nem rigor matemático; conseqüentemente, informações como dependência entre os parâmetros são desprezadas, podendo levar ao estabelecimento de metas impossíveis.

Devido a esta lacuna no processo de decisão, o time de projeto acaba adotando procedimentos *ad-hoc* para assisti-lo, buscando o consenso através de exaustivas discussões entre os membros do time.

Cabe ainda ressaltar que as matrizes do método QFD³ podem conter muitas linhas e colunas, o que torna bastante complexo e longo o processo de tomada de decisão por consenso e de difícil otimização.

É interessante observar que, embora existam várias publicações sobre o QFD, principalmente estudos de caso, ainda é incipiente a preocupação quanto ao desenvolvimento de modelos que promovam maior rigor matemático ao QFD. Esta lacuna motivou a escolha deste tema, a ser desenvolvido no trabalho ora proposto.

³A QFD mais difundida possui 4 matrizes: Casa da Qualidade, Desdobramento dos Componentes, Planejamento do Processo e Planejamento da Produção.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é formular o QFD como uma ferramenta de tomada de decisão em projeto, para suporte à decisão ao time. Tal formulação deve ter o compromisso de não descaracterizar o QFD, mantendo suas características visuais e de trabalho em times. Partindo deste pressuposto, pretende-se tornar o método mais robusto, aliando ferramentas de tomada de decisão de forma a imprimir maior rigor matemático na priorização dos parâmetros e no estabelecimento de metas.

A formulação proposta deve manter a autonomia e o campo de atuação do time, servindo como apoio, não devendo, em hipótese alguma, sobrepujá-lo. Esta advertência é importante, uma vez que, dependendo da modelagem, o QFD pode-se tornar uma caixa-preta.

Dado o contexto apresentado, espera-se que este trabalho venha contribuir nos seguintes aspectos específicos:

- compilar os modelos de QFD e a aplicação de ferramentas de tomada de decisão focadas neste método;
- tratar adequadamente as variáveis lingüísticas adotadas no QFD, utilizando a teoria dos Conjuntos Difusos;
- utilizar todos os campos disponíveis na matriz para a tomada de decisão, quais sejam: grau de importância, matriz de relacionamentos, matriz de correlações e as matrizes de *benchmarking* interno e externo;
- integrar o QFD a métodos encontrados nas áreas de quantificação de preferências, análise de decisões e otimização.

Este trabalho se destina preferencialmente a aplicações de QFD elaboradas em parceria com o cliente; mais restritamente, a projetos em que o cliente faz parte do time de projeto.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em sete capítulos. Excetuando este capítulo e o sétimo, os demais foram divididos em duas partes: a primeira, relativa à fundamentação teórica; e a segunda, ao desenvolvimento do projeto de tese de doutorado. A FIGURA 1.1 ilustra a estrutura do trabalho.

Neste capítulo, apresenta-se uma visão geral da tese, destacando-se os objetivos, a justificativa e a estrutura do trabalho.

A Parte I - Fundamentação Teórica é composta de dois capítulos, nos quais abordam-se os aspectos mais relevantes para a compreensão do problema da tese e para a construção dos modelos propostos, quais sejam:

- Capítulo 2º: fornece uma visão sucinta do QFD bem como uma análise crítica deste método;
- Capítulo 3º: apresenta os principais modelos de tomada de decisão aplicados ao QFD disponíveis na literatura técnica.

A Parte II - Desenvolvimento da Tese é composta de três capítulos, nos quais se definiram o problema da tese e a forma de equacioná-lo, assim divididos:

- Capítulo 4º: compara os modelos existentes na literatura técnica, enfatizando os pontos fortes e fracos de cada um deles, e apresenta o problema da tese;
- Capítulo 5º: apresenta o Modelo 1 - Enfoque Difuso, para aplicações em projetos em parceria com o cliente, no qual todas as variáveis de entrada são tratadas como difusas;
- Capítulo 6º: apresentamos o Modelo 2 - AHP e Difuso, para aplicações em projetos em parceria com o cliente, que se diferencia do modelo anterior pela utilização do Método da Análise Hierárquica (AHP) para a obtenção do grau de importância dos requisitos do consumidor e da avaliação competitiva externa;

O sétimo e último capítulo traz as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

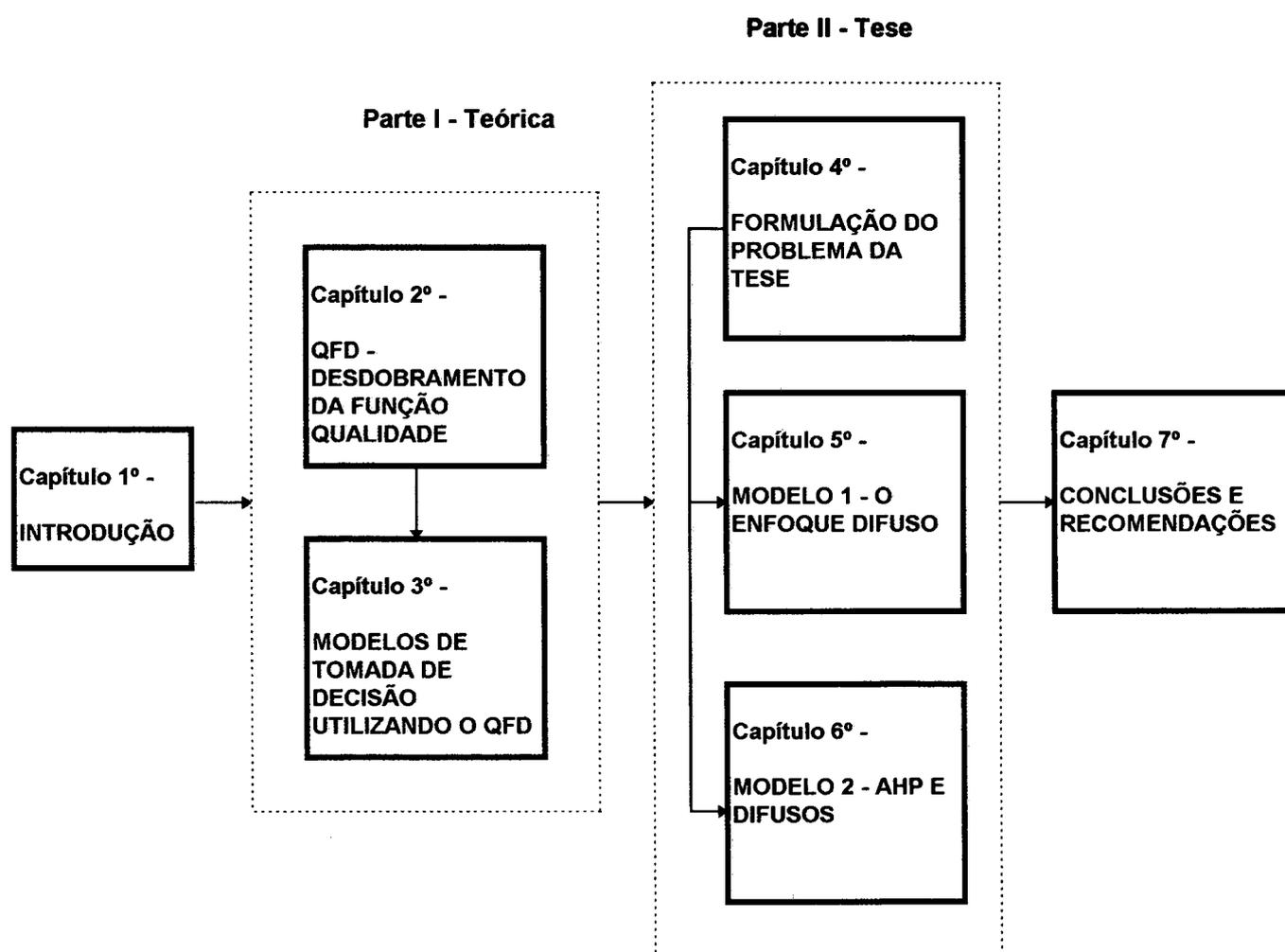
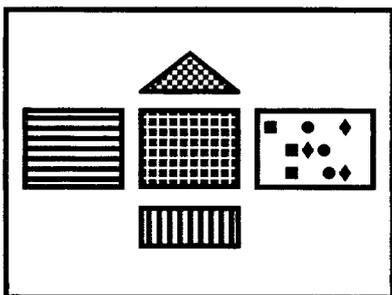


FIGURA 1.1 - Estrutura do Trabalho

Fonte: Elaborada pela autora

PARTE I -

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



CAPÍTULO 2º - QFD
DESDOBRAMENTO DA
FUNÇÃO QUALIDADE

2.1 Introdução

No Japão, já nos anos 60, as empresas passaram a dar maior ênfase às ferramentas de controle da qualidade *off-line*¹, utilizadas no desenvolvimento de novos produtos. Segundo AKAO;KOGURE (1983), as empresas perceberam que o método de controle da qualidade *on-line* é eficiente para eliminar não-conformidades, pois prioriza a prevenção de problemas através do monitoramento do processo, da análise das causas de não-conformidades e de ações preventivas para evitar novas ocorrências. Apesar de contribuir para a melhoria da qualidade, este enfoque não garante a satisfação do consumidor.

Era preciso então que, já na etapa de desenvolvimento de novos produtos, o foco estivesse nas demandas do consumidor. Estas demandas deveriam então ser incorporadas ao projeto de novos produtos desde a concepção e, sistematicamente, desdobradas até a manufatura. Todos os elementos responsáveis pelo sucesso do produto deveriam ser integrados com um conjunto de atividades e objetivos desde o início, ou seja, um desenvolvimento holístico em que esta atividade acionasse todos os parâmetros do sistema total.

Este processo integrado chamado de Engenharia Simultânea ou Engenharia Concorrente², tem duas características essenciais segundo CLAUSING (1994): (a) é um processo concorrente; (b) é conduzido por um time multifuncional de

¹ As ferramentas da qualidade *off-line* podem ter o foco na confiabilidade, em projeto de experimentos ou em planejamento tal como a QFD ou as 7 novas ferramentas da qualidade. As ferramentas mais populares em confiabilidade são: FTA-Análise da Árvore de Falha (*Fault Tree Analysis*) e FMEA-Análise do Modo e Efeito da Falha (*Failure Mode and Effect Analysis*). As técnicas de experimentação de TAGUCHI, têm se tornado populares ultimamente. Ver (HAIR et al;95), (TAGUCHI;86), (TAGUCHI;CLAUSING;90), (CLAUSING;94).

² A tradução mais popular no Brasil é engenharia simultânea, contudo, segundo PLONSKI;FARINHA (1993), o termo "simultânea" é utilizado de forma errônea como sinônimo de "concorrente". A simultaneidade não é o conceito mais importante, pois a especialidade tem seu ritmo de trabalho, bem como o conceito de paralelismo também não é adequado pois transmite a definição da geometria, em que paralelas nunca se encontram.

desenvolvimento. SCHOWALTER (1992) ressalta ainda que o processo de desenvolvimento de um novo produto deve envolver simultaneamente vários departamentos diferentes da empresa desde o conceito inicial até o produto final manufaturado. O QFD está associado ao conceito de engenharia simultânea e permite estruturar e sistematizar o trabalho dos times, de forma a integrar diversas ferramentas de planejamento do produto.

Segundo GRIFFIN (1992), as principais características que diferenciam o QFD e o desenvolvimento de produto tradicional, conhecido como *phase review* pela evolução do projeto em fases bem distintas executada por diferentes departamentos, são aquelas apresentadas na TABELA 2.1.

TABELA 2.1 - Diferenças entre a QFD e o Desenvolvimento de Produtos Tradicional

QFD	Desenvolvimento Tradicional
Desenvolvimento simultâneo	Seqüencial, desenvolvimento iterativo
Todas as funções participam desde o início	As funções são envolvidas por fases
Autonomia do time para a tomada de decisões	Aprovação pela hierarquia após cada fase
Tarefas partilhadas	Tarefas atribuídas especificamente a cada função
Decisão por consenso	Decisões tomadas por funções
Reuniões de trabalho para desenvolver os resultados conjuntamente	Apresentação dos resultados obtidos

Fonte: (GRIFFIN;1992)

Estima-se que existem mais de cem empresas americanas usando este método, (GRIFFIN;HAUSER;1992). Parte da popularidade desta ferramenta está na facilidade com que integra grande quantidade de informação e na utilização de símbolos e de outros elementos visuais.

A utilização do QFD, no Brasil, ainda é incipiente. Não obstante, alguns setores como o de autopeças começam a implementar este método. Segundo IPT (1994), estima-se que 68% do setor de autopeças conhecem e 31% estão implementando o QFD. Nas empresas com mais de 1000 empregados estes índices sobem para 94% e 56% para conhecimento e utilização deste método, respectivamente.²

2.2 QFD - Conceito

O método *QFD - Quality Function Deployment*³ foi originalmente proposto por Yoji AKAO em 1966, e implementado nos estaleiros KOBE da *Mitsubishi Heavy Industries* em 1972. O QUADRO 2.1 apresenta a definição de QFD por alguns de seus principais mentores.

É importante ressaltar que o QFD trouxe uma inversão no processo de desenvolvimento de novos produtos. Tradicionalmente, é a engenharia, com base em suas próprias aptidões, que direciona (“empurra”) as atividades de desenvolvimento. No QFD, o processo é desencadeado pelas necessidades reais do consumidor, orientando (“puxando”) tais atividades. A lógica de funcionamento é aproximar produtores e consumidores, como antigamente o artesão conhecia os desejos de sua clientela.

² Pesquisa realizada pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo em parceria com o SINDIPEÇAS com 323 empresas deste setor; (IPT;1994).

³ *Quality Function Deployment* é a tradução para o inglês dos seguintes termos em japonês: “HIN SHITSU” - qualidade, atributos, características, qualidades; “KI NO” - função, mecanização e “TEN KAI” - desdobramento, difusão, desenvolvimento, evolução, ver (ASI;1993). No Brasil, utiliza-se a mesma sigla QFD e a tradução “Desdobramento da Função Qualidade”.

É extenso o número de publicações⁴ sobre o QFD, a maioria estudos de caso⁵. O número de versões existentes também é grande, entretanto, as mais difundidas são as advogadas por AKAO (1990), por CLAUSING;PUGH (1991) e pelas organizações americanas GOAL/QPC e o ASI - *American Supplier Institute*⁶, (KING;1989) e (ASI;1993), respectivamente. Nos itens seguintes apresentam-se, sucintamente, estas versões.

“...é um método para o desenvolvimento de uma qualidade de projeto dirigida para a satisfação do consumidor e, então, traduzir as demandas do consumidor em metas de projeto e pontos prioritário para a garantia da qualidade a serem utilizados no estágio de produção” (AKAO;1990)

“QFD desdobra a voz do cliente - as necessidades do cliente definidas por uma consulta detalhada, o “brainstorming”, mecanismos de “feedback” e pesquisa de mercado - durante todo o processo de desenvolvimento do produto. Isto significa traduzir as necessidades do cliente em requisitos técnicos apropriados a cada estágio do desenvolvimento do produto e da produção” (EUREKA;RYAN;1992)

“QFD é um processo de planejamento e verificação para a conexão de cada passo da garantia da qualidade, como: planejamento do produto, projeto do produto, preparação para a produção, produção, vendas e serviços” (KING;1987)

“QFD é um processo visual e conectivo que ajuda os times a se focalizarem nas necessidades do consumidor por todo o desenvolvimento ... QFD é um processo sistemático que ajuda a identificar os desejos do consumidor e desdobra-los por todas funções e atividades da corporação” (CLAUSING;1994)

QUADRO 2.1 - Definições

Fonte: Elaborado pela autora

⁴ Ver (KOGURE;AKAO;1983), (HAUSER;CLAUSING;1988), (SULLIVAN;1986,1988); (FORTUNA;1988), (KRINNIGER;CLAUSING;1991), (CLAUSING;1992,1994), (WASSERMAN;1991,1993); (GRIFFIN;1989) e (EUREKA;RYAN;1993). Consultar também *QFD Institute*, <http://www.nauticom.net/www/qfdi>.

⁵ Vejam-se, por exemplo, os estudos de caso das empresas: Motorola, Hewlett Packard; Xerox, AT&T, ITT, NASA, Polaroid, Ford, e General Motors em (BOSSERMAN;1992), (GRIFFIN;1991) e (SHIPLEY;1992)

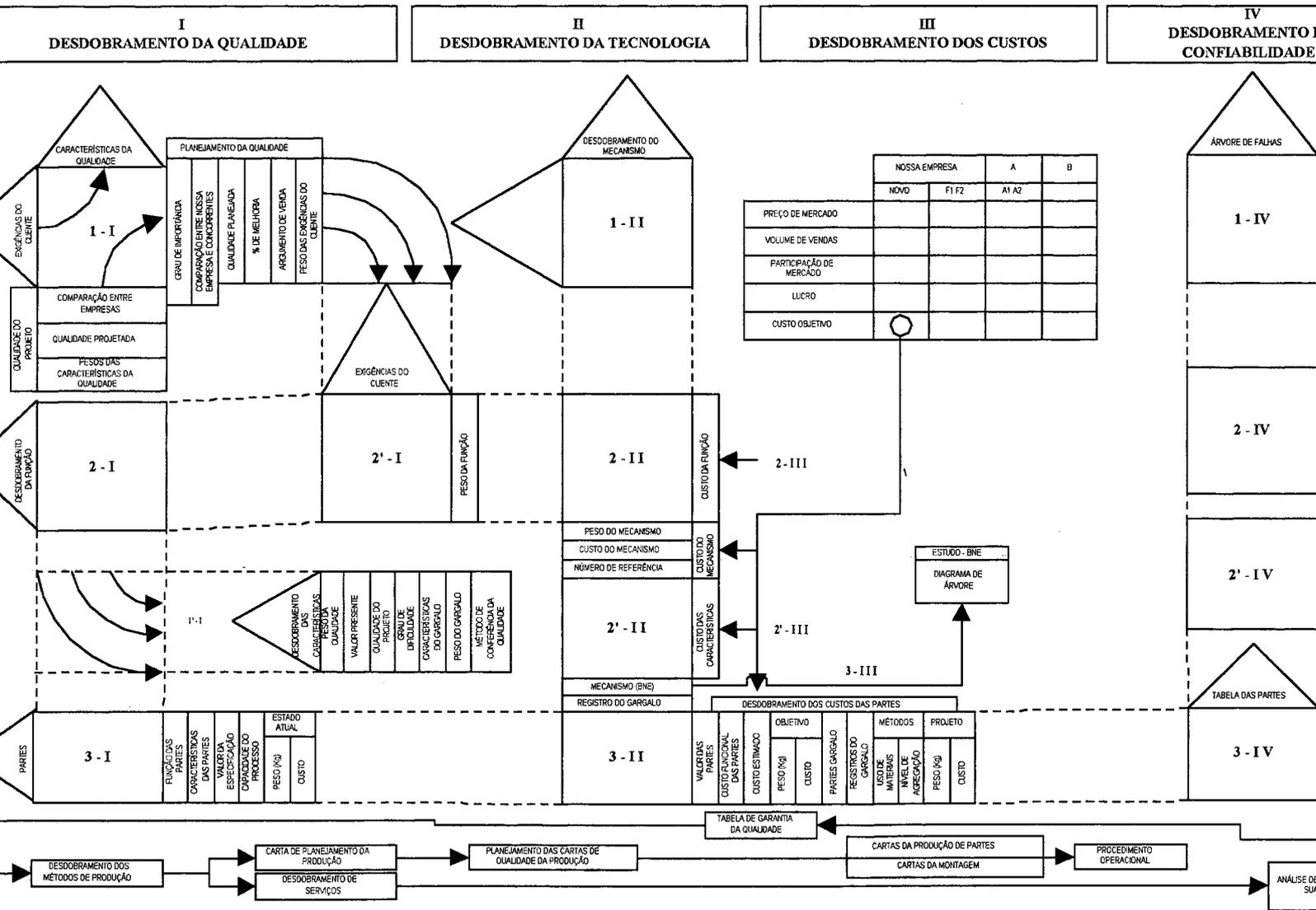
⁶ Os principais executivos destas instituições são Bob KING e William E. EUREKA, da GOAL/QPC e do ASI, respectivamente. Esta última está atuando no Brasil desde 1992, através de uma associação com a empresa brasileira Trevisan Auditores e Consultores.

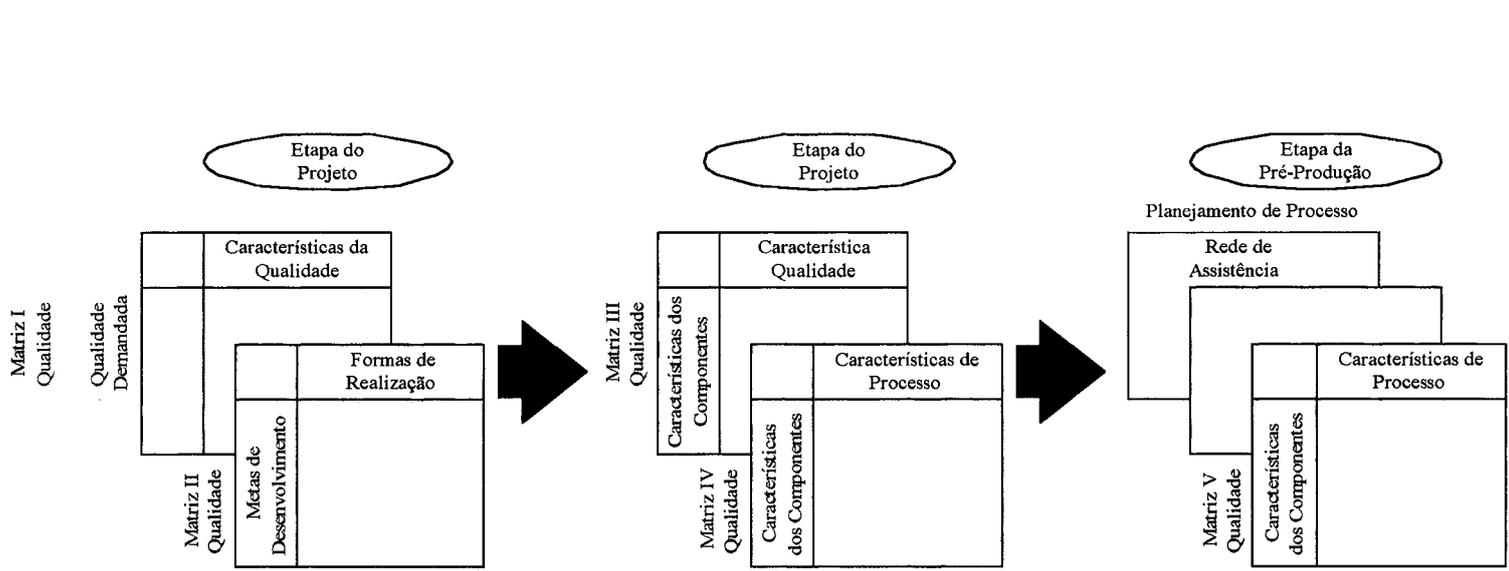
2.2.1 Modelo de AKAO

AKAO (1990) desenvolveu um método estruturado para a aplicação do QFD, em que o foco está em análise e documentação. O QFD é quebrado em vários passos analíticos; a maior parte destes passos é documentada através de matrizes. A FIGURA 2.1 mostra o modelo completo de AKAO.

O modelo de AKAO é abrangente, uma vez que propõe o desdobramento não só da qualidade, mas também da tecnologia, dos custos e da confiabilidade, conforme ilustrado nas colunas I, II, III, e IV, respectivamente. Cada um destes desdobramentos pode ser ainda detalhado do todo para a parte, como indicado nas linhas 1, 2, 3, e 4. A aplicabilidade de cada desdobramento está intrinsecamente relacionada ao tipo de desenvolvimento. Por exemplo, o desdobramento da confiabilidade é mais apropriado para bens de consumo duráveis.

O esquema detalhado para o desdobramento da qualidade pode ser visto na FIGURA 2.2. As matrizes apresentadas são: I - qualidade demandada versus desdobramento das características da qualidade; II - características da qualidade demandada e meios de implementá-las; III - desdobramento das características da qualidade demandada versus características das partes; IV e V - desdobramentos das características das partes versus as características do processo. As matrizes IV e V são similares exceto que a matriz IV especifica os métodos e condições para a produção do protótipo, enquanto a matriz V especifica o desdobramento do processo para o estágio de pré-produção.



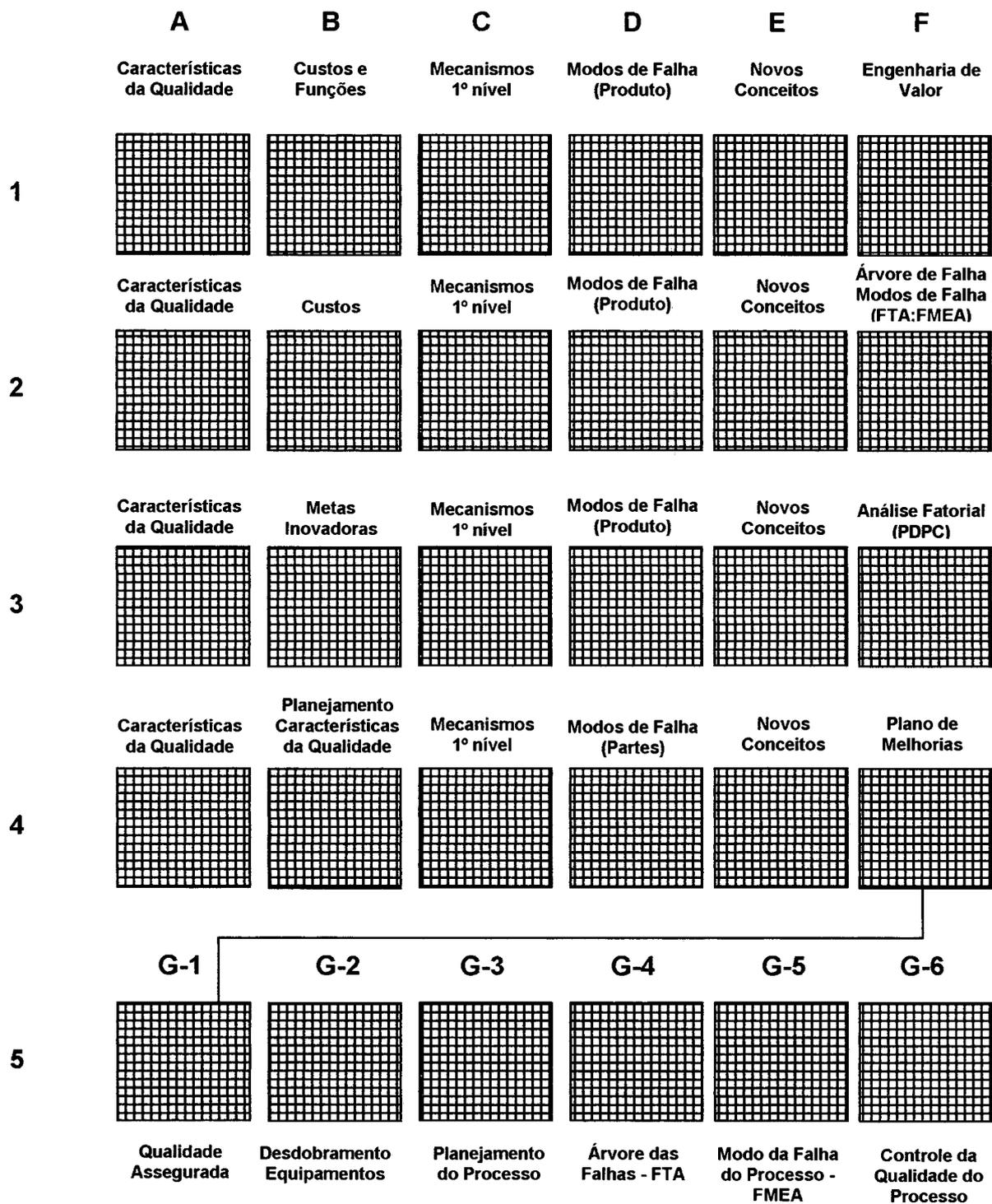


2.2.2 Modelo de KING - GOAL/QC

O Modelo de KING (1989) também propõe um QFD abrangente que engloba, além do desdobramento da qualidade, o desdobramento da tecnologia, custos e confiabilidade. O modelo descreve a matriz de matrizes, contendo ao todo 30 matrizes, conforme ilustrado na FIGURA 2.3. Entretanto, ressalta-se que a maior parte das aplicações é feita com quatro matrizes. Somente para projetos complexos o desdobramento pode chegar a trinta.

Semelhante ao modelo de AKAO as colunas da matriz de matrizes representam o tipo de desdobramento e as linhas a segmentação do todo para a parte. Destaca-se, contudo, que KING propõem também a discussão de novos conceitos, coluna E, que deve ser utilizada para produtos inovadores.

O desdobramento mais utilizado é o da qualidade, representado pela coluna A. Neste Modelo, a matriz inicial e mais significativa é a A1 que, como no modelo de AKAO e do ASI, desdobra a qualidade demandada pelo consumidor em características da qualidade para o produto. Parte-se desta matriz para as outras conforme as necessidades específicas de cada projeto.



1-Necessidades do Consumidor 2-Funções 3-Características 4-Partes

FIGURA 2.3 - Modelo de KING - Matriz das Matrizes

Fonte: (KING;1987)

2.2.3 - Modelo do ASI

O modelo difundido pelo ASI - *American Supplier Institute* é o mais simples e popular, restringindo-se ao desdobramento da qualidade, (ASI;1993)⁷. Este modelo descreve quatro matrizes⁸, conforme ilustrado na FIGURA 2.4. Em analogia aos modelos apresentados, pode-se dizer que este equivale ao desdobramento da qualidade de AKAO e às matrizes A1, A2, A3 e A4 do Modelo de KING.

Observando a FIGURA 2.4, pode-se notar que o relacionamento entre as matrizes se dá através da permanência de um vetor de variáveis para a matriz subsequente. Por exemplo, da primeira matriz permanecem os requisitos do projeto selecionados que serão desdobrados na matriz subsequente em características das partes, e assim sucessivamente.

⁷ Ver também (HAUSER;CLAUSING;1988), (SULLIVAN;1988) e (EUREKA;RYAN;1993)

⁸ CLAUSING;PUGH (1991) utilizam os seguintes nomes para as quatro matrizes: Casa da Qualidade; Projeto; Engenharia do Processo de Produção e Planejamento das Operações de Produção. GRIFFIN (1992) utiliza: Casa da Qualidade, Projeto, Operações e Controle.

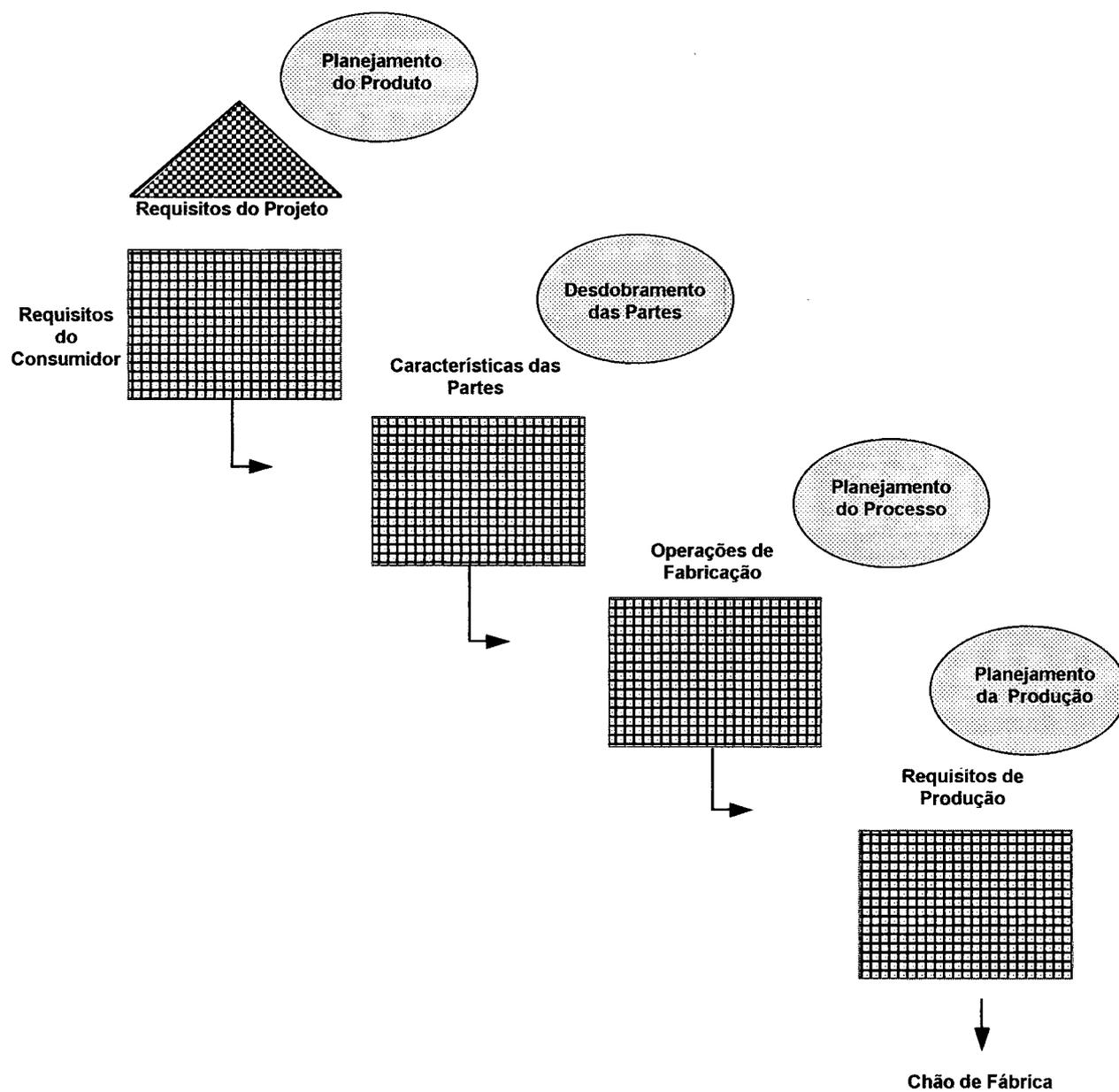


FIGURA 2.4 - Modelo do ASI

Fonte: (ASI;1993)

Neste Modelo, a matriz inicial e mais significativa é aquela denominada Matriz de Planejamento do Produto ou Casa da Qualidade, que equivale à matriz A1 dos modelos de AKAO e KING, e desdobra os requisitos do consumidor⁹ em requisitos do projeto¹⁰. Entretanto, nesta matriz encontra-se uma variante significativa em relação aos demais modelos que é o “telhado” da “Casa da Qualidade”, no qual estão representadas as correlações entre os requisitos do projeto. O modelo de AKAO não considera a dependência entre características da qualidade; e o modelo de KING equaciona de forma dissociada, na matriz A3. Posteriormente, será analisado com maior rigor cada elemento desta matriz.

A Matriz de Desdobramento das Partes traduz os requisitos de projeto da matriz anterior em características das partes. Desce do nível geral para o detalhamento das partes. Esta matriz pode ser comparada à matriz III de AKAO e à A4 de KING.

A Matriz Planejamento do Processo traduz as características das partes da anterior em operações de fabricação, bem como determina os pontos críticos de checagem (*check points*). Representa a transição do projeto para fabricação. Esta matriz pode ser comparada à matriz IV de AKAO e à G3 de KING.

A Matriz Planejamento da Produção traduz as operações de fabricação em requisitos de produção. Nesta fase, as informações geradas anteriormente são transferidas para o chão de fábrica, na forma de instruções de operação, nas quais se identificam as atividades que devem ser executadas pelo pessoal do chão de fábrica para assegurar que as metas estabelecidas sejam atingidas. Inclui informações do plano

⁹O termo requisitos do consumidor é tratado por alguns autores como atributos do consumidor, (HAUSER;CLAUSING;1988), voz do consumidor - VoC, (CLAUSING;PUGH;1991) ou ainda necessidades do consumidor, (GRIFFIN;1992).

de monitoramento do processo, (métodos de controle da qualidade, frequência e forma de verificação), para cada ponto crítico de checagem. Esta matriz pode ser comparada à matriz V de AKAO e à G6 de KING.

O QFD baseado nestes documentos traça um fluxo contínuo de informação do consumidor (primeira matriz) ao pessoal de chão de fábrica (quarta matriz): promove-se assim o que DEMING (1982) chama de "definição clara da operação" - um propósito comum, prioridades e foco de atenção.

No APÊNDICE I apresentam-se exemplos das matrizes discutidas neste item.

2.2.3.1 Modelo do QFD Estendido - CLAUSING e PUGH

O modelo proposto por CLAUSING; PUGH (1991)¹¹ integra ao modelo das quatro matrizes, apresentado no item anterior, o processo de seleção de conceitos proposto por PUGH. O processo de seleção de conceitos deve partir da arquitetura do sistema total e ser desdobrado em subsistemas, componentes e partes. Este modelo se aplica ao desenvolvimento de produtos complexos e dinâmicos, pois prioriza o detalhamento e a inovação de conceitos.

O processo de seleção de conceitos proposto por PUGH, (CLAUSING;1994) apud (PUGH;1991), pode ser visualizado através de uma matriz cujas linhas são os critérios para seleção e as colunas são os conceitos. Um dos conceitos é adotado como base para a comparação e sinais "+", "-" e "I" são utilizados para representar se

¹⁰ O termo requisitos do projeto é tratado por alguns autores como: características da qualidade do produto por AKAO (1988) e KING (1987), características de engenharia por HAUSER;CLAUSING (1988), especificações do sistema por CLAUSING;PUGH (1991) ou ainda parâmetros do projeto por SULLIVAN (1988).

¹¹ Ver também (CLAUSING;1994)

um determinado conceito é melhor, pior ou igual, respectivamente, para um determinado critério, conforme ilustra a FIGURA 2.5.

CRITÉRIO	CONCEITOS			
				
A	+	-	+	B
B	+	I	↖	A S
C	-	+	-	E

FIGURA 2.5 - Matriz de Seleção de Conceitos de PUGH

Fonte: (CLAUSING;1994)

O modelo do QFD estendido (EQFD) está representado na FIGURA 2.6. Neste modelo, a seleção de conceitos é feita em múltiplos níveis. Pode-se observar que o modelo das quatro matrizes é repetido três vezes, sempre intercalado pelo processo de seleção de conceitos de PUGH, para produto e processo.

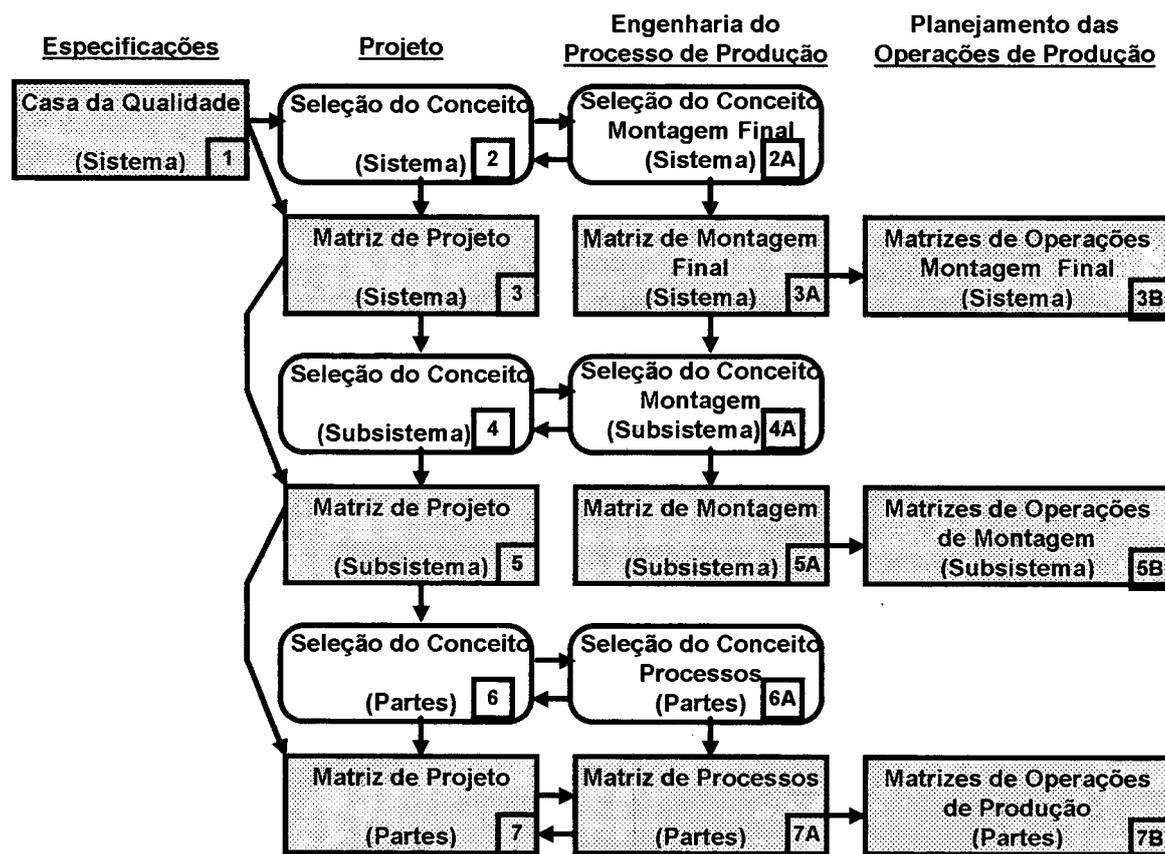


FIGURA 2.6 - QFD Estendido

Fonte: (CLAUSING;PUGH;1991)

2.3 Matriz de Planejamento do Produto - Casa da Qualidade

Neste trabalho será dada maior ênfase à primeira matriz, destacada nos três modelos. É importante ressaltar que o objetivo deste trabalho é modelar o QFD como ferramenta de tomada de decisão; neste contexto, a Casa da Qualidade é a que possui a estrutura mais complexa, portanto pode ser estendida às demais por analogia.

A Matriz de Planejamento do Produto é também conhecida como a Casa da Qualidade pela similaridade na forma, como pode ser observado na FIGURA 2.7. Esta matriz é considerada a mais importante, pois é nela que se equacionam as questões elencadas abaixo:

- Como interpretar as necessidades dos consumidores expressas em linguagem natural?
- Como selecionar aquelas que maximizam a satisfação do consumidor?
- Como priorizar alguns requisitos do consumidor conciliando os diferentes critérios?
- Em quais características da qualidade devem ser concentrados os esforços de engenharia e os recursos disponíveis para o desenvolvimento?
- Segundo a visão do cliente, nosso produto é melhor ou pior que o produto dos concorrentes?
- Como estabelecer metas quantitativas para as características da qualidade?

O objetivo desta matriz é elencar os requisitos do consumidor, priorizando aqueles que maximizam a satisfação do consumidor, e relacionar estes requisitos às características da qualidade do produto¹² que os traduzam. É nesta matriz que se estabelecem as metas para as características da qualidade do produto e as estratégias de desdobramento que nortearão os demais passos do método.

A seguir, o detalhamento desta matriz.

¹² Passa-se a adotar a seguinte terminologia características da qualidade do produto, em vez de requisitos do projeto.

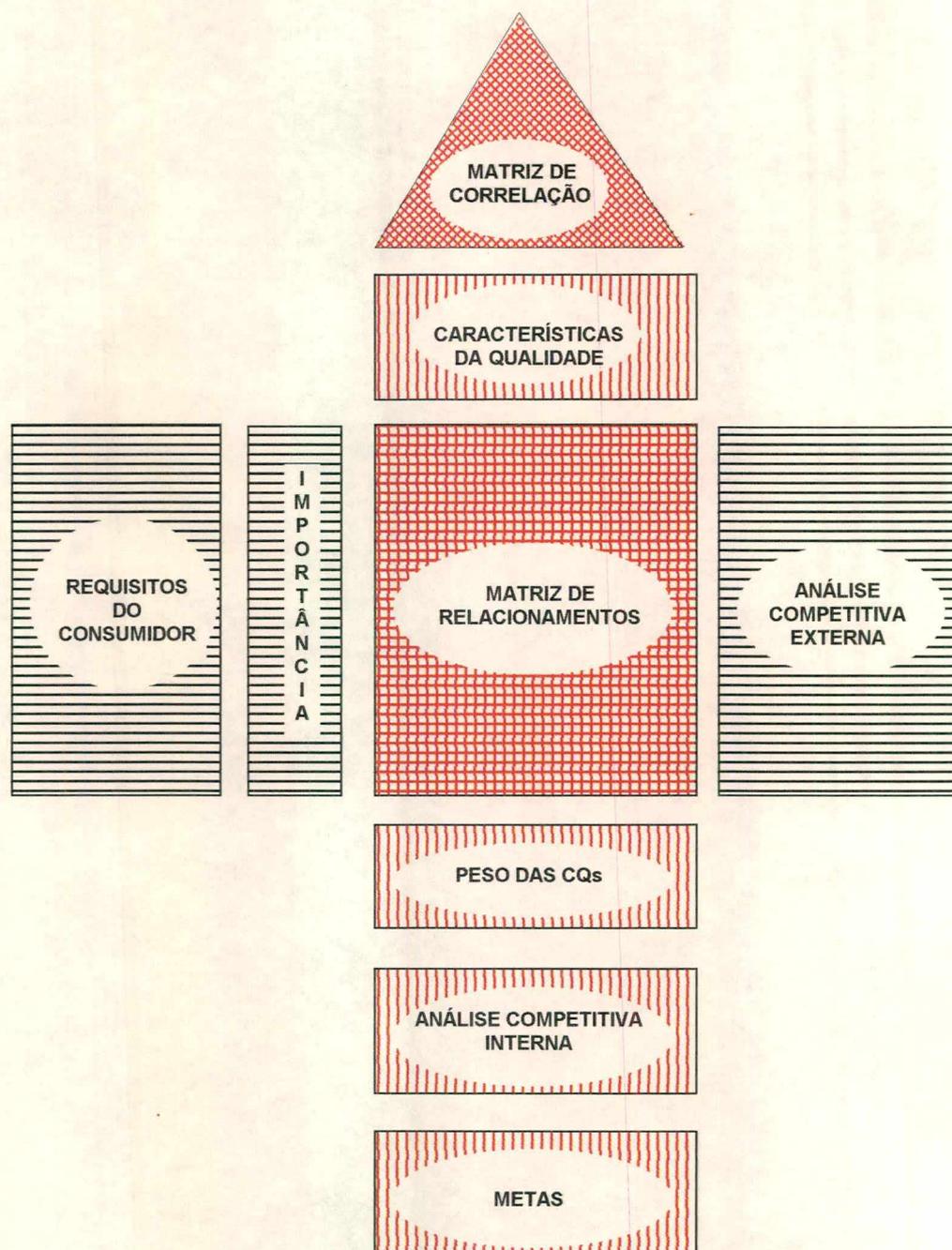
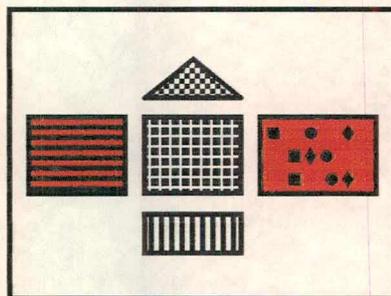


FIGURA 2.7 - Matriz de Planejamento do Produto ou Casa da Qualidade

Fonte: Elaborada pela autora

2.3.1 A Voz do Consumidor



A primeira etapa do método é captar a “voz do consumidor”, ou seja, os atributos que influenciam a percepção do consumidor para a qualidade do produto procedendo a uma ordenação entre eles, bem como dos pontos fortes e fracos do produto com relação a estes atributos, sempre sob o prisma do consumidor. Com base nesta análise, é possível a focalização das ações de melhoria no produto e a definição de estratégias de *marketing*.

Este passo é decisivo para o QFD, uma vez que os demais estágios do método estarão traduzindo em linguagem técnica as informações obtidas do consumidor e expressas em linguagem natural.

Os Requisitos do Consumidor - RCs podem ser obtidos de uma diversidade de fontes de informação, dentre as quais a mais usual é a pesquisa de mercado. Contudo, esta etapa deve ser elaborada com bastante cautela, uma vez que se estará tentando obter necessidades explícitas e implícitas dos consumidores. Existem casos em que o consumidor “esquece” de alguns requisitos básicos (ex: avião - esquece de pedir um avião seguro, que não caia, mas se lembra de pedir bom atendimento e

pontualidade; ou então não age de acordo com o que diz - afirma preferir comida sem açúcar, mas consome com açúcar).

Segundo KANO et al (1984),¹³ os requisitos do consumidor podem ser divididos em itens básicos da qualidade; itens de desempenho ou itens de encantamento do consumidor. Os itens básicos são considerados importantes para o cliente somente se não estão presentes no produto. Neste caso, diz-se que é a qualidade esperada ou “preço de admissão” ao mercado . É preciso observar que estes requisitos não são declarados pelo consumidor e estão geralmente ligados à confiabilidade do produto, como no exemplo do avião. Portanto, para obtê-los é necessário analisar as reclamações dos consumidores e utilizar ferramentas como a FMEA - Análise do Modo e Efeito das Falhas. Os itens de desempenho são requisitos declarados, de qualidade unidimensional, podendo ser obtidos por entrevistas ou outro tipo de pesquisa direta com o consumidor. Já os itens de encantamento têm importância exponencial na satisfação dos consumidores. Entretanto, tais itens não podem ser obtidos do consumidor, que ainda não está buscando estas características no produto. Para obter os itens de encantamento, o time do QFD deve acompanhar as inovações tecnológicas e observar o comportamento dos consumidores.

Uma vez obtidos os Requisitos do Consumidor - RCs, passa-se a agrupá-los¹⁴ e hierarquizá-los. Os RCs podem ser agrupados e hierarquizados em primários, secundários ou terciários, caso se julgue necessário. Após o esforço de agrupamento e hierarquização dos RCs, procura-se quantificar a importância de cada um para o consumidor, o que se faz geralmente utilizando valores na escala de LIKERT, (valores entre 1 e 5), ou porcentagens.

¹³ Consultar: (KANO et al;1984); (MIZUNO;1988); (MIZUNO;1988).

2.3.1.1 Análise Competitiva Externa

A análise competitiva externa é elaborada sob a ótica do consumidor e abrange três aspectos para cada RC: (a) a avaliação comparativa dos principais produtos concorrentes existentes no mercado; (b) os pontos de venda; e (c) a meta e taxa de melhoria. A avaliação comparativa do produto estudado com seus principais concorrentes é feita quanto ao grau de satisfação a um determinado RC, na escala de LIKERT. Alguns¹⁴ autores denominam esta etapa de matriz de *benchmarking*¹⁵ externo. Para ilustrar, pode-se observar o RC “*ponta duradoura*” da FIGURA 2.8. Ao consumidor, este item é o mais importante e o “nosso” produto está em segundo lugar comparado. Com base nesta avaliação, é estabelecida meta para cada RC e, conseqüentemente, a taxa de melhoria, conforme a equação (2.1).

$$t_i = m_i / b_{i \text{ nosso}} \quad (2.1)$$

em que:

- . t_i : taxa de melhoria do RC_i, para $i = 1$ a m ;
- . m_i : meta para o RC_i;
- . $b_{i \text{ nosso}}$: valor atual do RC_i do “nosso” produto.

Os pontos de venda (*selling points*) são requisitos a ser enfatizados num particular segmento de mercado, por exemplo, melhor na classe passeio ou maior espaço interno. É importante ressaltar que os pontos de venda representam o peso do RC sob o prisma da estratégia da empresa ou do time do projeto. É também nesta

¹⁴ As ferramentas mais utilizadas nesta fase são o Diagrama de Afinidades e de Árvore, (MIZUNO;1988) e (ASI;1993). Contudo, existem aplicações utilizando a Análise de Grupo (*Cluster Analysis*) em (GRIFFIN;1989).

¹⁵ *Benchmarking* pode ser entendido com o processo de aprendizagem junto aos melhores, Classe Mundial, quanto a estratégias, operações e processos. Esta metodologia pode ser classificada em três tipos: interno, externo e genérico. O interno estuda os melhores desempenhos dentro da organização; o externo compara o desempenho aos melhores concorrentes; e o genérico estuda as melhores práticas de negócios no mundo. Ver (LU et al;1994) e (MADU;KUEI;1993).

categoria que o time pode ressaltar itens básicos e de encantamento que não seriam priorizados pelo consumidor, conforme discutido anteriormente. Com base nestes pontos, o *marketing* do produto e a estratégia de comercialização são estabelecidos. Em geral, é utilizada a escala de 1.5 para pontos fortes de venda, 1.2 para pontos de venda e 1.0 para os itens que não são pontos de venda.

2.3.1.2 Peso dos Requisitos do Consumidor

A síntese dos dados coletados do consumidor é feita através dos pesos absoluto e relativo de cada RC, conforme as equações (2.2) e (2.3).

$$w_i = g_i \cdot t_i \cdot v_i \quad (2.2)$$

em que:

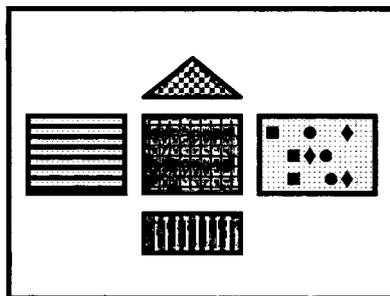
- w_i : peso absoluto do RC_i;
- g_i : grau de importância do RC_i;
- t_i : taxa de melhoria para o RC_i;
- v_i : valor do ponto de venda para o RC_i;
- $i = 1$ a m .

$$w_i^{\%} = w_i \cdot 100 / \sum_{i=1}^m w_i \quad (2.3)$$

em que:

- $w_i^{\%}$: peso relativo do RC_i.

2.3.2 As Características da Qualidade



O desafio deste passo é traduzir a voz do consumidor em linguagem técnica, ou seja, RCs em Características da Qualidade-CQs do produto. Para tal, o time lista as características da qualidade que estão diretamente relacionadas aos requisitos do consumidor estabelecidos anteriormente. Uma CQ pode afetar mais de um RC.

As CQs devem ser mensuráveis, uma vez que deverão ser controladas e comparadas com os valores estabelecidos como meta. Um sinal (+/-) ou setas são colocados junto a cada CQ para fornecer a direção em que a melhoria deve ocorrer. Vale ressaltar que as CQs também podem ser agrupadas e hierarquizadas em primárias, secundárias ou terciárias, caso se julgue necessário.

2.3.2.1 Matriz de Relacionamentos

As CQs são relacionadas aos RCs na Matriz de Relacionamentos, com base na experiência do time. Em geral, o relacionamento pode ser classificado em forte, médio e fraco e representado por símbolos, conforme ilustrado na FIGURA 2.8. Usualmente, adota-se a seguinte escala para quantificar os relacionamentos: relação

forte vale 9 pontos, mediana vale 3 pontos e fraca vale 1 ponto. Após o preenchimento desta matriz é possível indicar se as CQs satisfazem adequadamente os RCs. A ausência de símbolos ou a maioria de sinais de "fraco relacionamento" indica que, para um determinado RC, não são atribuídas CQs capazes de traduzir aquela necessidade expressa pelo consumidor em parâmetros de projeto¹⁶. Após a análise crítica desta matriz, pode-se modificar ou suplementar CQs para assegurar que todos os RCs estão adequadamente "traduzidos", ou então rever o agrupamento e a hierarquia entre os RCs.

2.3.2.2 Matriz de Correlação Triangular

Na matriz de correlação triangular, ou "telhado" da Casa da Qualidade, estão representadas as correlação entre as CQs. A finalidade desta matriz é explicitar a dependência entre as CQs, e, conseqüentemente, identificar CQs conflitantes, para as quais é difícil a otimização conjunta quanto à satisfação do consumidor bem como aquelas que interagem de forma positiva. A correlação também é expressa por símbolos, que representam o grau de intensidade da correlação e a forma, positiva ou negativa, conforme ilustra a FIGURA 2.8.

¹⁶ KING (1989) alerta para 9 casos que evidenciam problemas na confecção da Casa da Qualidade, com base na análise da Matriz de Relacionamentos.

2.3.2.3 Análise Competitiva Interna

A análise competitiva interna é elaborada sob a ótica do consumidor e abrange dois aspectos para cada CQ: (a) a avaliação comparativa dos principais produtos concorrentes existentes no mercado; e (b) a meta quantitativa para a CQ.

A análise competitiva interna, também chamada de Matriz de *Benchmarking* Interno é elaborada pelo time do QFD com o objetivo de quantificar, na unidade de medida mais adequada, as CQs do “nosso” produto e dos principais concorrentes. É importante ressaltar que podem existir inconsistências entre a avaliação do consumidor e a do time. Deve-se, portanto, fazer uma análise crítica, revendo os relacionamentos entre CQ e RC, bem como os dados das análises competitivas internas e externa.

2.3.2.4 Peso das Características da Qualidade do Produto

Com base na Matriz de Relacionamentos e no peso relativo dos requisitos do consumidor, é possível estabelecer os pesos absoluto e relativo das características da qualidade, conforme as equações (2.4) e (2.5). O peso relativo fornece uma diretriz para a seleção das CQs a ser desdobradas nas matrizes subsequentes do QFD. As CQs selecionadas são aquelas que maximizam a satisfação do consumidor e, portanto, nas quais devemos concentrar os esforços de engenharia.

$$w_j = \sum_i^m r_{ij} \cdot w_i^{\%} \quad (2.4)$$

em que:

- w_j : peso absoluto da CQ_j;
- $w_i^{\%}$: peso relativo do RC_i;
- r_{ij} : relacionamento do RC_i e da CQ_j;
- onde $i = 1$ a m e $j = 1$ a n .

$$w_j^{\%} = w_j \cdot 100 / \sum_{j=1}^n w_j \quad (2.5)$$

em que:

- $w_j^{\%}$: peso relativo da CQ_j;

2.3.2.5 Metas Quantitativas

As metas para cada CQ são obtidas através do consenso do time. Conforme mencionado, estas metas devem ter valores mensuráveis que possam ser avaliados no produto final. Para chegar ao valor a ser estipulado para uma determinada CQ, o time se baseia na análise competitiva interna, bem como na Matriz de Correlação Triangular e no peso relativo da CQ. Estas metas devem ser aferidas a cada estágio do desenvolvimento do produto e do processo experimental.

Alguns autores incluem ainda a avaliação da dificuldade técnica e do custo estimado¹⁷ para atingir as metas para cada CQ, feita de forma subjetiva pelo time utilizando pesos ou porcentagens.

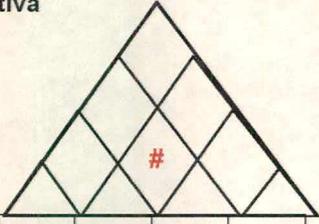
¹⁷ Ver (WASSERMAN;1993) e (BORDLEY;PARYANI;1992)

Simbolos de Correlação:

- Fortemente Positiva
- Positiva
- # Fortemente Negativa
- X Negativa

Valor dos Relacionamentos:

- Forte (9 pontos)
- Algum (3 pontos)
- △ Fraco (1 pontos)



	Grau de Importância	comprimento	tempo entre apontamentos	geração de resíduos	hexagonalidade	Valor Atual - Nosso Produto	Concorrente Y	Concorrente X	Meta para o RC	Taxa de Melhoria	Pontos de Venda	Peso Absoluto-w	Peso Relativo-w [%]
fácil de segurar	3	○ 42			○ 42	4	3	3	4	1,0	1,0	3,0	14,2
não borra	4		○ 69	● 207		5	4	5	5	1,0	1,2	4,8	22,7
ponta duradoura	5	△ 44	● 336	○ 132		4	5	3	5	1,3	1,5	9,4	44,3
não rola	3	△ 19			● 171	3	3	3	4	1,3	1,0	4,0	18,9
						TOTAL					TOTAL	21,2	100,0
Peso Absoluto-w _j		105	465	339	213	1122							
Peso Absoluto-w _j [%]		9,36	41,44	30,21	18,98	100							
Valor Atual -Nosso		5"	3 pgs	3g	70%								
Concorrente X		5"	5 pgs	2g	80%								
Concorrente Y		4"	2,5 pgs	4g	60%								
Meta		5,5"	6 pgs	2g	80%								

FIGURA 2.8 - Exemplo de Matriz de Planejamento do Produto

Fonte: Adaptada de (KING, 1989)

2.4 Análise Crítica do QFD

A análise crítica do método QFD destaca apenas os pontos mais relevantes para este projeto de tese.

2.4.1 Os benefícios relacionados ao QFD

Segundo HAUSER;CLAUSING (1988), o QFD é usado pela Toyota desde 1977, e os resultados, segundo a empresa, foram significativos. Entre janeiro de 1977 e abril de 1984, a Toyota introduziu 4 novos veículos, tipo *van*, no mercado. Usando o ano de 1977 como base, a empresa reportou uma redução de 20% nos custos de início de produção em outubro de 1979; uma redução de 38% em novembro de 1982; e uma redução acumulativa de 61% até abril 1984.

Durante este período, o ciclo de desenvolvimento do produto foi reduzido em um terço, com melhoria correspondente em qualidade, devido à redução no número de mudanças na engenharia. Outras vantagens do QFD elencadas foram: (a) aumento da satisfação do cliente; (b) melhoria no desempenho do produto; (c) redução do número de chamados da garantia; (d) transmissão do *know how* adquirido de geração para geração; (e) melhoria da documentação; e (f) melhoria da comunicação entre os departamentos.

Entretanto, implementar o QFD é um desafio para qualquer empresa. A Toyota passou quatro anos se preparando e treinando seu pessoal para poder implementá-lo. O QFD requer mais trabalho nos estágios de planejamento, implica muitas interrelações entre as áreas, e aumenta as atividades administrativas, tais como:

comunicação a todas as áreas afetadas, manutenção dos documentos durante o ciclo completo de desenvolvimento, incorporação das mudanças de produto/processo nos documentos etc.

GRIFFIN (1992) ressalta, entretanto, que alguns dos benefícios tangíveis citados pelas empresas japonesas, como custos de desenvolvimento, só são visíveis quando o processo é usado repetidamente em uma família de produto. Contudo, o QFD proporciona vários benefícios intangíveis, tais como redução de barreiras interfuncionais e mudança da cultura corporativa. Portanto, a autora aconselha que a decisão de implementação desta ferramenta deva levar em conta se os benefícios intangíveis serão fortes e visíveis o suficiente para garantir os investimentos até que os efeitos mensuráveis possam aparecer.

2.4.2 Organização do Trabalho em Times

O time é a célula vital do método QFD, encarregada de produzir e processar informações oriundas de diferentes fontes, tão díspares como *marketing* e produção, bem como tomar decisões ante as alternativas de projeto através de consenso.

No entanto, o trabalho em times é geralmente marcado por conflitos, tendo em vista que os times são multifuncionais. Segundo GARVIN (1984), o conflito resulta dos diferentes enfoques que estes profissionais possuem com relação à qualidade. De fato, a existência de diferentes enfoques no time de desenvolvimento é salutar e propicia que se antecipem eventuais problemas. Contudo, o modelo proposto deve

estar apto a lidar com informação conflitante, além de propiciar a tomada de decisão em grupo.

Em pesquisa realizada por GRIFFIN;HAUSER (1992) sob os padrões de comunicação entre dois times de projeto, um atuando no sistema tradicional, (*phase review*), e o outro utilizando o QFD, chegou-se a seguinte conclusão: o QFD aumenta a comunicação entre os grupos funcionais, bem como com o fornecedor. O que chama a atenção neste estudo é que não só o volume de comunicações aumenta, mas também o padrão de comunicação é totalmente diferente, conforme se observa na FIGURA 2.9. O time que utiliza o QFD assume maior autonomia, comunicando-se menos com a hierarquia, enquanto o outro time recorre muito mais a este tipo de comunicação. Já a comunicação horizontal entre áreas e com fornecedor é muito menor no time tradicional do que naquele que utiliza o QFD.

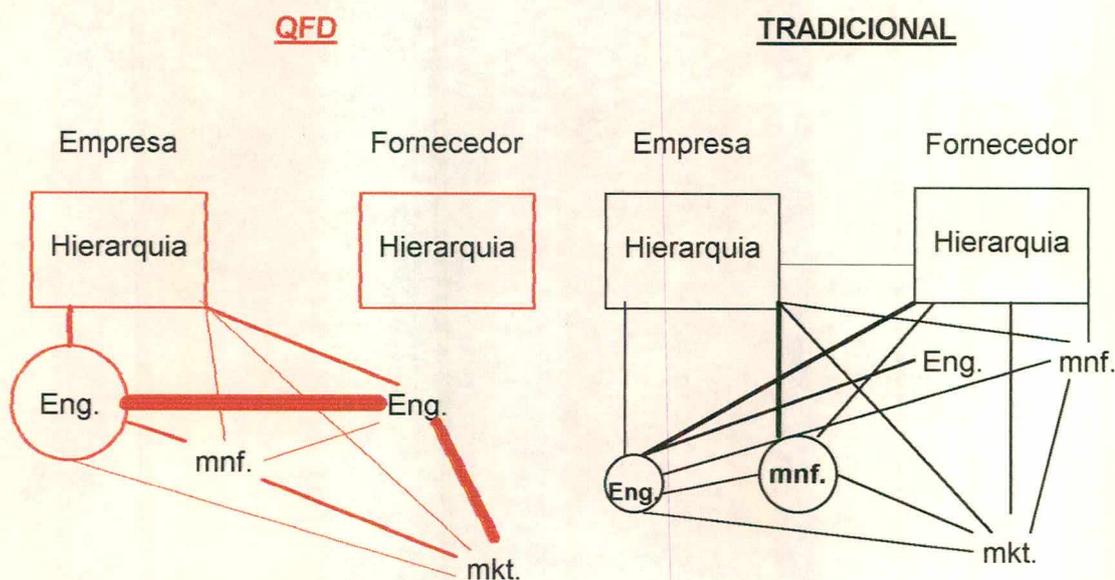


FIGURA 2.9 - Representação Gráfica dos Padrões de Comunicação

Obs.: .A largura das linhas indica o nível de comunicação interfuncional

.O tamanho dos círculos indica o nível de comunicação intrafuncional

Fonte: (GRIFFIN;HAUSER;1992)

Segundo CLAUSING (1994), a formação de times multifuncionais e a autonomia que assumem é um bom começo. Contudo, o time pode desenvolver um sentimento de onipotência, um forte desejo de agradar uns aos outros e demonstrar lealdade, o que pode levar ao fracasso do time.¹⁸

2.4.3 Múltiplas Fontes de Informação

No QFD o conhecimento é gerado por múltiplas fontes, sendo as mais relevantes o consumidor, o fornecedor, a concorrência e o próprio time, como ilustra a FIGURA 2.10.

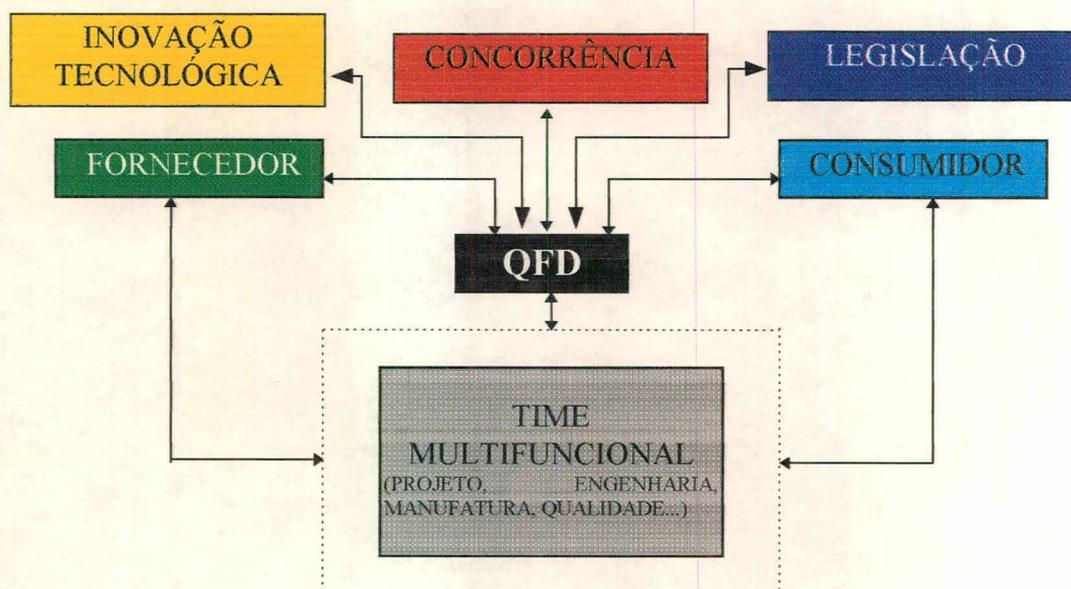


FIGURA 2.10 - Múltiplas Fontes de Informação

Fonte: Elaborada pela Autora

¹⁸ Ver [MORLEY,90] para aprofundar no problema de formação de times multifuncionais de projeto.

As informações geradas pelo consumidor são obtidas através de pesquisa de mercado, grupos focais, observação e informações do distribuidor, como já discutido. A interação do consumidor com o time pode ser mais ou menos intensa, dependendo do tipo de desenvolvimento. Caso seja um produto destinado ao consumidor final, a participação se dá de forma indireta, em geral havendo necessidade da aplicação de critério estatístico¹⁹ para seleção de amostra representativa. Já em projetos desenvolvidos em parceria com os clientes, por exemplo autopeças e montadora, a participação é bem mais intensa, podendo, neste caso, o "consumidor" ser integrado ao time.

Situação semelhante à apresentada para os consumidores pode ocorrer com os fornecedores, ou seja, a inclusão de fornecedores em times de desenvolvimento. Isto ocorre especialmente em casos cujos componentes ou subconjuntos fornecidos possam ter importância relevante no desempenho do produto a ser projetado. Cabe lembrar que o intercâmbio de informações com o fornecedores é bastante intenso quando da construção da segunda matriz de desdobramento das partes.

A terceira fonte de informação a ser destacada é a concorrência. Esta fonte diferencia-se das demais pela dificuldade no acesso às informações. É bastante comum que este acesso se dê indiretamente, como através de catálogos, experimentação de produtos e questionário a clientes da concorrência.

O volume de informação gerado por estas fontes é grande e por vezes conflitante, o que dificulta a validação dos dados a ser utilizados na confecção das matrizes. Além

¹⁹ Várias técnicas estatísticas auxiliam na quantificação de preferências, tais como Análise Conjunta, Análise do Discriminante, entre outras. Ver (HAIR;ANDERSON;TATHAM;BLACK;1995).

disto, a informação contida no QFD é basicamente de natureza qualitativa, o que prejudica a manipulação e o rigor matemático.

2.4.4 Processo de Tomada de Decisão

O QFD evidencia a conexão entre as decisões de projeto e seus impactos sobre o percepção da qualidade do consumidor. Portanto, deve-se encará-lo como uma ferramenta de tomada de decisão em projeto.

É importante ressaltar que o objetivo do QFD é maximizar a satisfação do consumidor, entretanto, sujeito a limitações de recursos, de tempo, mercadológicas e tecnológicas. Neste sentido, a Matriz de Planejamento do Produto ou Casa da Qualidade é a mais relevante neste processo de tomada de decisão, dado que estas questões são equacionadas nesta matriz e então propagadas para as demais.

Cabe aos projetistas analisar e selecionar as alternativas no decorrer do projeto, ou seja, as características do projeto que resultam num alto nível de satisfação do consumidor. Para tal, o time deve ser capaz de entrar em consenso quanto à melhor alternativa, estabelecendo os critérios seletivos e a hierarquia entre eles.

O QFD não propõe nenhuma estrutura formal de tomada de decisão, restringindo o processo de priorização das características ao índice de importância relativa. Este índice utiliza apenas as informações de peso relativo do requisito do consumidor e valor numérico do relacionamento entre requisitos e características, ignorando as demais informações disponíveis para a tomada de decisão. Segundo

LOCASCIO;THURSTON (1993), esta lacuna no processo de decisão leva o time de projeto a adotar procedimentos *ad-hoc* para assisti-lo neste processo, buscando o consenso através de exaustivas discussões entre os membros do time. Tais procedimentos são subótimos, estabelecidos de forma heurística e, portanto, sujeitos aos caprichos do time de projeto.

A Casa da Qualidade pode conter muitos requisitos e características (linhas e colunas), o que torna bastante complexo e longo o processo de análise e tomada de decisão e muito cansativo e penoso para o time.

A análise do QFD é, portanto, bastante complexa, uma vez que existem muitas variáveis envolvidas, bem como vários critérios possíveis para a seleção das características que serão desdobradas, ou seja, que são prioritárias para o projeto. Os critérios mais utilizados de forma heurística pelos times para a priorização das características, além do peso relativo da característica, são:

- destacar as características relacionadas aos requisitos em que se concentram os maiores pontos fortes e/ou francos com os competidores;
- dar prioridade pela menor dificuldade técnica para obtenção das metas quantitativas estabelecidas para as características;
- dar prioridade pelo menor custo para obtenção das metas.

Além destes, o time pode elencar vários outros critérios de desdobramento que a empresa julgue relevantes. Entretanto, é impossível, numa avaliação subjetiva, ponderar as conseqüências da escolha com base em vários critérios. Os critérios

podem ser contraditórios, sendo que uma característica pode ser priorizada por um critério, mas não por outro.

Se o processo de priorização das características da qualidade críticas do projeto, as quais serão desdobradas nas matrizes subseqüentes, é limitado, aquele destinado à identificação das metas quantitativas é totalmente subjetivo.

As metas das características são estabelecidas, em geral, pelo confronto entre os dados disponíveis na análise competitiva interna. Este confronto é feito de forma subjetiva, sem uma estrutura formal nem rigor matemático, e desprezando informações como dependência entre características, podendo levar ao estabelecimento de metas impossíveis.

2.4.4.1 Atores Envolvidos no Processo Decisório

Na Casa da Qualidade podem-se identificar três atores principais no processo de tomada de decisões, quais sejam: o consumidor, a empresa, e o time. Cada um destes atores está representado na Casa da Qualidade, conforme ilustrado na FIGURA 2.11. Nas demais matrizes, o processo decisório restringe-se basicamente ao time.

O consumidor determina os atributos que definiram a qualidade do produto e sua utilidade relativa através do grau de importância. É também o consumidor que faz a avaliação comparativa dos produtos na Matriz de *Benchmarking* Externo.

As opiniões do time estão representadas em vários campos: nas Matrizes de Relacionamento e Correlação; nos pesos da dificuldade técnica e do custo estimado; e na determinação das metas de projeto para cada característica da qualidade. O time também pode arbitrar nos pontos de venda, nos item de encantamento, conforme discutido anteriormente.

A empresa expressa suas estratégias através do campo de pontos de venda, que enfatizam os requisitos prioritários sob o prisma da empresa, além de fornecer o limite orçamentário do projeto, que pode estar presente no fator custo.

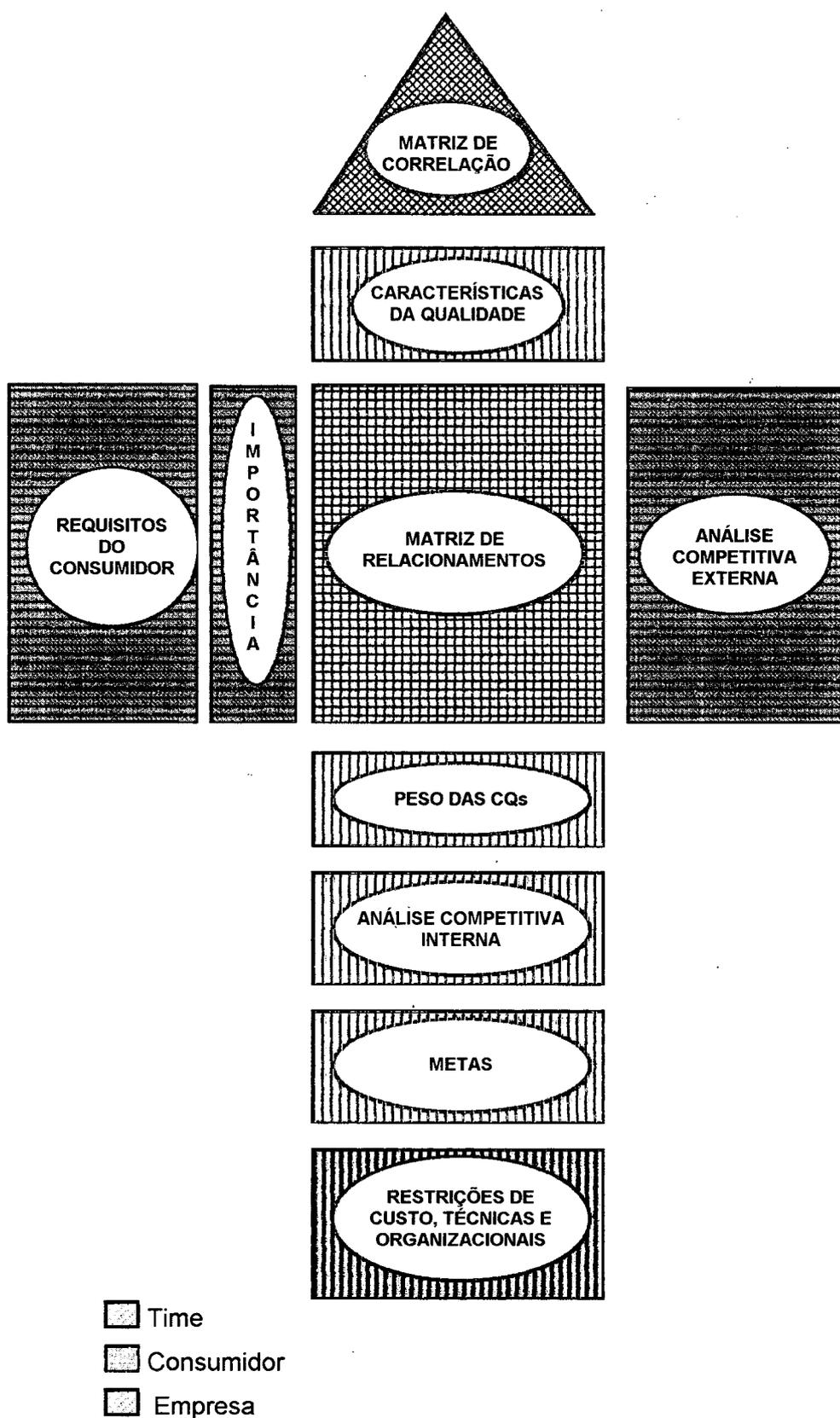


FIGURA 2.11 - Presença dos Atores na Casa da Qualidade

Fonte: Elaborada pela Autora

2.4.4.2 Estrutura Hierarquizada

A estrutura do método QFD possui algumas características básicas, quais sejam: hierarquia, priorização e hereditariedade.

No QFD, o projeto é estruturado como uma hierarquia, seguida por um processo de priorização. As quatro matrizes que compõem o QFD formam uma estrutura hierarquizada. Enquanto a primeira matriz trata de equacionar quais características maximizam a satisfação do cliente, a última defronta-se com o problema de determinar quais métodos de controle da qualidade devem ser usados para assegurar que as características serão atendidas num determinado processo. É possível concluir que as matrizes são arranjadas da mais geral e menos controlável para a mais específica e controlável.

Além da estrutura das quatro matrizes, existe hierarquia entre os requisitos do consumidor e entre as características da qualidade, como já se viu.

Entre as matrizes existe um processo de priorização sem o qual não seria possível concluir as quatro matrizes. Na primeira matriz são selecionadas as características do produto mais relevantes; na segunda, são as características dos componentes, e assim sucessivamente até a quarta matriz.

Os característicos priorizados em determinada matriz herdam da matriz precedente seus pesos relativos, garantindo assim a propagação da voz do consumidor.

2.4.4.3 Variáveis Lingüísticas

Como já visto, o QFD trabalha basicamente com variáveis de entradas na forma de julgamentos ou avaliações, expressas como variáveis lingüísticas. Portanto, a natureza da informação é qualitativa, o que dificulta a manipulação matemática por técnicas convencionais.

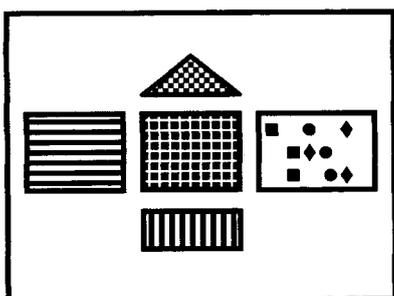
Segundo LOCASCIO;THURSTON (1993), a natureza qualitativa da informação é útil no que concerne à comunicação com as funções não-técnicas. Contudo, pode ser insatisfatória na comunicação entre o pessoal de engenharia, o que seria uma séria limitação para uso do QFD em projeto. Outros autores, como DHINGRA; MOSKOWITZ (1993), argumentam que a imprecisão é inerente à fase de projeto e que tentar modelá-lo de forma precisa seria desrespeitar sua natureza. De maneira geral, o pessoal de projeto é usualmente forçado a tratar as variáveis lingüísticas como numéricas, o que também não é desejável. Russell, 1923 argumenta:

"Toda a lógica tradicional habitualmente assume que símbolos precisos podem ser empregados. Contudo, isto não é aplicável à vida na terra mas apenas numa existência celestial imaginária" (ZIMMERMANN,1991) apud (RUSSELL,1923)

As variáveis lingüísticas adotadas no QFD são aquelas descritas abaixo:

- os relacionamentos entre os requisitos do consumidor e as características da qualidade, presentes na Matriz de Relacionamentos. Os relacionamentos assumem os valores: forte, médio e fraco.
- as correlações entre as características da qualidade, presentes na Matriz de Correlação Triangular. As correlações assumem os valores: fortemente negativa, medianamente negativa, fortemente positiva, medianamente positiva.

- o grau de importância atribuído aos requisitos do consumidor e o peso atribuído aos pontos de venda, que assumem os valores entre muito importante e irrelevantes;
- a análise competitiva externa, que assume valores expressos pelos termos melhor, igual ou pior.
- o peso atribuído à dificuldade técnica e o peso atribuído ao custo, que são tratados com termos lingüísticos com os valores alto, médio e baixo.



**CAPÍTULO 3º - MODELOS
DE TOMADA DE DECISÃO
UTILIZANDO O QFD**

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura técnica no que concerne ao tratamento matemático do QFD. Os modelos foram agrupados segundo à base teórica principal, a saber: Programação Linear; AHP - Método da Análise Hierárquica e Conjuntos Difusos.

3.1.1 Representação Matemática do QFD

Para facilitar a compreensão dos modelos, adotar-se-á uma terminologia única para descrevê-los. A FIGURA 3.1 apresenta a representação matemática do QFD; e a TABELA 3.1, o significado dos símbolos adotados.

$$\begin{bmatrix}
 \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} \\
 & \gamma_{22} & \dots & \cdot \\
 & & & \gamma_{jk} \\
 & & & \cdot \\
 & & & \gamma_{nn}
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 \mathbf{x}_1 & \dots & \mathbf{x}_j & \dots & \mathbf{x}_n
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 \mathbf{y}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{y}_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{y}_m
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{g}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{g}_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{g}_m
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{r}_{11} & \mathbf{r}_{12} & \dots & \mathbf{r}_{1n} \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \mathbf{r}_{ij} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \mathbf{r}_{m1} & \mathbf{r}_{m2} & \dots & \mathbf{r}_{mn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{b}_{11} & \mathbf{b}_{12} & \dots & \mathbf{b}_{1p} \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \mathbf{b}_{ij} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \mathbf{b}_{m1} & \mathbf{b}_{m2} & \dots & \mathbf{b}_{mp}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{m}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{m}_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{m}_m
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{t}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{t}_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{t}_m
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{v}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{v}_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{v}_m
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{w}_1^{\%} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{w}_i^{\%} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \mathbf{w}_m^{\%}
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 \mathbf{b}_{11} & \mathbf{b}_{12} & \dots & \mathbf{b}_{1n} \\
 \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \cdot \\
 \cdot & \cdot & & \mathbf{b}_{ij} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \mathbf{b}_{p1} & \mathbf{b}_{p2} & \dots & \mathbf{b}_{pn}
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 \mathbf{w}_1^{\%} & \dots & \mathbf{w}_j^{\%} & \dots & \mathbf{w}_n^{\%}
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 \mathbf{m}_1 & \dots & \mathbf{m}_j & \dots & \mathbf{m}_n
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 \mathbf{c}_1 & \dots & \mathbf{c}_j & \dots & \mathbf{c}_n
 \end{bmatrix}$$

FIGURA 3.1 - Representação Matemática do QFD

Fonte: Elaborada pela autora

Símbolo	Significado
y_i	requisitos do consumidor, para $i = 1$ a m
x_j	características da qualidade, para $j = 1$ a n
r_{ij}	relacionamento do requisito do consumidor i com a característica da qualidade j , da Matriz de Relacionamentos-R
γ_{jk}	correlação entre as características da qualidade j e k , da Matriz de Correlação
g_i	grau de importância do requisito do consumidor i
b_{il}	avaliação competitiva do requisito do consumidor i para o produto l , para $l = 1$ a p , da Matriz de <i>Benchmarking</i> Externo
b_{ij}	avaliação competitiva da característica da qualidade j do produto l , para $l = 1$ a p , da Matriz de <i>Benchmarking</i> Interno
m_i	meta para o requisito do consumidor i
t_i	taxa de melhoria planejada para o requisito do consumidor i
v_i	ponto de venda do requisito do consumidor i
w_i	peso absoluto do requisito do consumidor i
$w_i^{\%}$	peso relativo do requisito do consumidor i
w_j	peso absoluto da característica da qualidade j
$w_j^{\%}$	peso relativo da característica da qualidade j
m_j	meta para a característica da qualidade j
c_j	fator de custo ¹ para a característica da qualidade j

TABELA 3.1 - Nomenclatura

Fonte: Elaborada pela autora

3.1.2 Procedimentos de Normalização do QFD

Existem basicamente dois procedimentos de normalização sob os valores dos relacionamentos, r_{ij} , contidos na Matriz de Relacionamentos, R, disponíveis na literatura técnica: o procedimento de LYMAN (1990) e o de WASSERMAN (1993), representados nas equações (3.1) e (3.4), respectivamente.

¹ Podem existir outros fatores tais como dificuldade técnica e facilidade de implementação, por exemplo.

O procedimento de normalização de LYMAN é acurado, contanto que as características da qualidade não sejam dependentes, ou seja, neste caso desconsidera-se a Matriz de Correlação, “telhado” da Casa da Qualidade.

Com o intuito de solucionar esta deficiência, WASSERMAN (1993) propõe uma extensão do procedimento de normalização de LYMAN para acomodar dependências. Para o modelo de dependência, será utilizada uma representação dos espaços vetoriais das característica da qualidade e dos requisitos do consumidor.

Assume-se que o espaço vetorial dos requisitos do consumidor, denominado S^1 , que consiste nos vetores unitários, $\{u_i\}$, para $i = 1, \dots, m$, formando uma base ortogonal de vetores. Isto é consistente com a prática de tratamento dos requisitos do consumidor durante o QFD, pois estes são considerados independentes. Entretanto, pode-se acomodar a dependência entre requisitos do consumidor, caso se julgue necessário. Um vetor, $\{d\}$, será usado para representar o grau de importância dos RCs, conforme descrito na equação (3.2).

Para modelar o espaço vetorial das características da qualidade, denominado S^2 , que consiste nos vetores unitários, $\{v_k\}$, $k = 1, \dots, m$, que não compreende, necessariamente, a base ortogonal de vetores. Para representar as dependências entre as CQs, a notação γ_{jk} , será introduzida para denotar os elementos da Matriz de Correlação, os quais descrevem a correlação entre as características da qualidade j e k , segundo o produto escalar descrito na equação (3.3).

A forma estendida do procedimento de normalização de LYMAN, proposta por WASSERMAN, é apresentada na equação (3.4). Note-se que a equação (3.4) reduz-

se ao procedimento de LYMAN quando as CQs são independentes (i.e., $\gamma_{jk} = 1$, se $j=k$, e $\gamma_{jk}=0$, caso contrário).

$$\mathbf{r}_{ij}^{\text{norm}} = \mathbf{r}_{ij} / \sum_{j=1}^n \mathbf{r}_{ij}, \text{ para } j=1, \dots, n. \quad (3.1)$$

$$d = d_1 u_1 + d_2 u_2 + \dots + d_m u_m \quad (3.2)$$

$$\gamma_{jk} = v_j \cdot v_k \quad (3.3)$$

$$\mathbf{r}_{ij}^{\text{norm}} = \frac{\sum_{k=1}^n \mathbf{r}_{ik} \cdot \gamma_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \mathbf{r}_{ij} \cdot \gamma_{jk}} \quad (3.4)$$

A FIGURA 3.2 ilustra os dois tipos de procedimentos de normalização descritos. O efeito da normalização é evidente, mesmo num exemplo simplificado. No exemplo estudado por WASSERMAN (1993), “*geração de resíduo*” e “*resíduo de rasura mínimo*” parecem ser fortemente dependentes, senso positivo, e impactam os requisitos do consumidor, “*não suja*” e “*apontável*”. Antes da normalização, ambas receberam pesos relativos de 34,1%; depois da normalização, o peso relativo decresceu para 28%, todavia o peso acumulado é de 56%. Adicionalmente, a característica “*hexagonalidade*”, que aparece ser dominante com relação aos requisitos do consumidor, “*fácil de segurar*” e “*não rola*”, mostra um aumento de 14,6% para 24,8% em seu peso relativo, depois da normalização. Deve-se notar que os pesos absoluto e relativo são os mesmos.

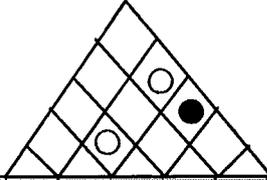


Figura 3.2

	Grau de importância	comprometo	tempo entre apontamentos	geração de resíduos	hexagonalidade	resíduos de rasura mínimo	LYMAN: 2 n	WASSERMAN: 23-17%
fácil de segurar	15	3	0	0	9	0	12	12,0
não borra	25	0	3	9	0	9	21	44,4
ponta duradoura	45	1	3	9	0	9	22	45,4
não roda	15	1	0	0	9	0	10	10,0
TOTAL:								
Peso Absoluto- W_1		105	210	630	270	630	1845	
Peso Absoluto- W_2		5,7	11,4	34,1	14,6	34,1	100	

Figura 3.2a

	Grau de importância	comprometo	tempo entre apontamentos	geração de resíduos	hexagonalidade	resíduos de rasura mínimo	
fácil de segurar	15	0,25	0,00	0,00	0,75	0,00	
não borra	25	0,00	0,14	0,43	0,00	0,43	
ponta duradoura	45	0,05	0,14	0,41	0,00	0,41	
não roda	15	0,10	0,00	0,00	0,90	0,00	
TOTAL:							
Peso Absoluto- W_1		7,3	8,7	28,1	24,8	28,1	100,0
Peso Absoluto- W_2		7,3	8,7	28,1	24,8	28,1	

Figura 3.2b

	Grau de importância	comprometo	tempo entre apontamentos	geração de resíduos	hexagonalidade	resíduos de rasura mínimo	
fácil de segurar	15	0,25	0,00	0,00	0,75	0,00	
não borra	25	0,00	0,18	0,41	0,00	0,41	
ponta duradoura	45	0,02	0,18	0,40	0,00	0,40	
não roda	15	0,10	0,00	0,00	0,80	0,00	
TOTAL:							
Peso Absoluto- W_1		6,2	13,1	28,0	24,8	28,0	100,0
Peso Absoluto- W_2		6,2	13,1	28,0	24,8	28,0	

FIGURA 3.2 - Matriz de Planejamento para um Instrumento de Escrita Hipotético

FIGURA 3.2.a - Normalização pelo procedimento de LYMAN

FIGURA 3.2.b - Normalização pelo procedimento de WASSERMAN

Fonte: Adaptado de (WASSERMAN;1993)

3.2 Modelo Utilizando Programação Linear (PL)

WASSERMAN (1993) propõe um modelo de programação linear² para apoio ao time na seleção das características da qualidade que resultam no maior nível de satisfação do consumidor. A informação contida na Casa da Qualidade normalizada³ é usada para compor o nível agregado da satisfação do consumidor, sujeito a restrições lineares de custo de acordo com as equações (3.5) e (3.6).

Max Z

$$Z = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n \quad (3.5)$$

Sujeito a:

$$c_1 \cdot x_1 + \dots + c_n \cdot x_n \leq B \quad (3.6)$$

em que:

- w_j : peso das característica da qualidade, para $j = 1$ a n
- x_j : características da qualidade, para $j = 1$ a n
- c_j : mudanças incrementais na unidade de custo associado com uma mudança em x_j , para $j = 1$ a n
- B: máxima unidade de custo incremental

Por conveniência, será assumido que os valores das variáveis de decisão, x_j , são dados numa escala porcentual, em que $x_j = 100\%$ denota que a meta estabelecida para a característica j foi atingida. Assim c_j representa o custo requerido para elevar a característica da qualidade j , à meta. A fim de solucionar conflitos de projeto entre

² Observe-se que as equações (3.5) e (3.6) são um relaxamento na restrição de números inteiros do problema clássico da *knapsack* em pesquisa operacional (WASSERMAN;1993) apud (TAHA;1992), no qual se tenta maximizar o valor dos conteúdos da *knapsack*, dando utilidade aos itens de tamanhos variados, cada um com valor inerente especificado, e capacidade limite, B. Note-se que o limite superior do valor de conteúdos da *knapsack* é obtido priorizando-se o enchimento da *knapsack* em ordem decrescente da unidade de valor de cada item. Se a restrição do inteiro neste problema for relaxada, então pode ser demonstrado que o pacote ótimo da *knapsack* é obtido pelo cumprimento exato desta ordenação.

³ Ver procedimento de normalização de (WASSERMAN;1993) apresentado no item 3.1.2.

características da qualidade correlacionadas negativamente, será assumida uma escala de (-100% a +100%); isto é, ajuste decrescente dos valores de x_j são permitidos. A decisão de alocar recursos deve ser baseada estritamente no valor do índice único formado pelas taxas (w_j/c_j) , $j = 1, \dots, n$.

3.2.1 Exemplo Ilustrativo

Para o exemplo ilustrativo do instrumento de escrita hipotético⁴, uma unidade incremental de custo, $B = 2$ centavos, tem como meta de custo para o instrumento de escrita hipotético 10 centavos. O modelo será usado para determinar como alocar otimamente os 2 centavos às várias características da qualidade.

A TABELA 3.2 apresenta a priorização das características da qualidade segundo três critérios, quais sejam: (a) importância técnica (peso relativo- w_j); (b) custo (fator de custo- c_j); e (c) o índice único formado pelos dois anteriores, (w_j / c_j) . Através do exemplo ilustrativo, pode-se observar a diferença na classificação baseada em cada um destes critérios. As características “*geração de resíduo*” e “*resíduo de rasura mínimo*” estão em primeiro lugar no critério de importância técnica, com peso relativo com 28%, seguidas da “*hexagonalidade*” com 24,8%. No critério custo, a “*hexagonalidade*” fica em primeiro lugar, com 0,3 contra 0,5 das outras duas, ou seja, seu custo para a obtenção da meta é o menor. O índice único é usado para resolver estas diferenças. Sabe-se que a consideração do critério custo tem impacto significativo nas decisões dos projetistas. No exemplo estudado, a característica “*hexagonalidade*” passa ao primeiro lugar no geral.

⁴ Ver figura 3.2

TABELA 3.2 - Priorização das Características da Qualidade

Características da Qualidade	Classificação por w_1	Classificação por c_1	Classificação por w/c_1
<i>comprimento</i>	5	5	5
<i>tempo entre apontamentos</i>	4	4	4
<i>geração de resíduo</i>	1	2	2
<i>hexagonalidade</i>	3	1	1
<i>resíduo de rasura mínimo</i>	1	2	2

Fonte: Adaptado de (WASSERMAN;1993)

Assim, a prioridade do time de projeto é alocar os recursos necessários para a elevação da “*hexagonalidade*” à meta. Uma vez atendido este requisito, então recursos devem ser alocados para “*geração de resíduo*” e “*resíduo de rasura mínimo*”, e assim sucessivamente. Com base nesta análise, os recursos de projeto devem ser alocados conforme mostra a TABELA 3.3, com o intuito de maximizar o nível de satisfação do consumidor observando restrições de custo, como já descrito.

TABELA 3.3 - Alocação de Recursos segundo Critério do Índice Único

Características da Qualidade	Fator de Custo G_i	% de Alocação	Recursos Alocados (centavos)
1. <i>hexagonalidade</i>	0,30	100	0,30
2a. <i>geração de resíduo</i>	0,50	100	0,50
2b. <i>resíduo de rasura mínimo</i>	0,50	100	0,50
4. <i>tempo entre apontamentos</i>	0,60	100	0,60
5. <i>comprimento</i>	1,00	10	0,10
TOTAL	-----	-----	\$2,00

Fonte: Adaptado de (WASSERMAN;1993)

3.3 Modelo Utilizando o Método da Análise Hierárquica (AHP)

LU;MADU;KUEI;WINOKUR (1994) apresentam uma aplicação de QFD voltada para a definição de políticas de *marketing*, adotando o Método da Análise Hierárquica⁵ para o cálculo do grau de importância do requisito do consumidor.

No estudo de caso apresentado pelos autores, o objetivo de *marketing* é a satisfação do consumidor, e os sete critérios identificados pelo grupo são: preço, serviço, entregas, características, desempenho, variedade e confiabilidade. O objetivo é colocado no topo da hierarquia, seguido dos sete critérios, conforme ilustra a FIGURA 3.3.

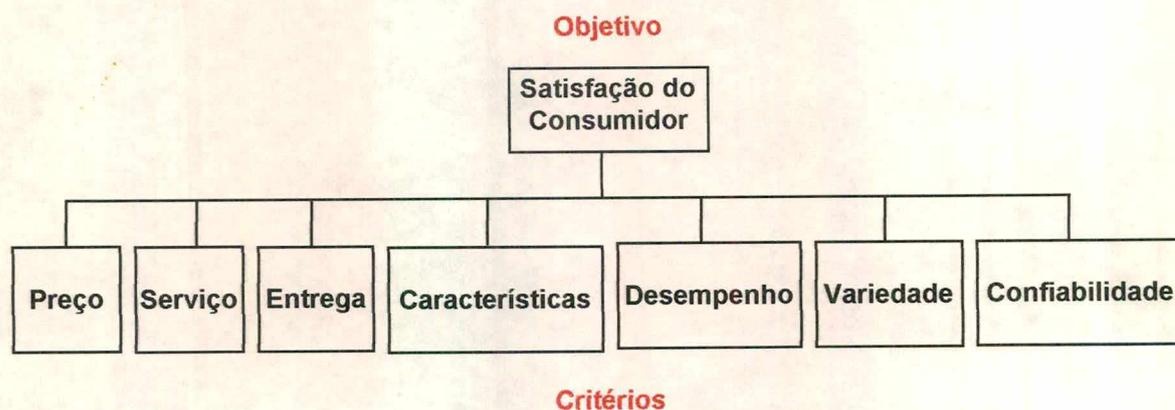


FIGURA 3.3 - Hierarquia da Aplicação

Fonte: (LU;MADU;KUEI;WINOKUR;1994)

⁵ *Analytical Hierarchic Process (AHP)* usa uma estrutura hierárquica para representar um problema de decisão e elaborada por um time. Os membros do time definem o objetivo e desenvolvem critérios para satisfazer o objetivo, fazendo julgamentos e a priorização multicritério. Além disto, o método estabelece os pesos através do cálculo das prioridades como autovetor, o que permite ao tomador de decisões medir a consistência de suas decisões. Ver (SAATY;1991); (MADU;GEORGANTZAS,1991); (MADU et al., 1991).

Para obter os pesos da AHP⁶ para estes critérios, uma comparação par-a-par de cada critério com relação ao objetivo de satisfação do consumidor é conduzido. Os resultados⁷ obtidos pelo time estão na FIGURA 3.4.

	Preço	Serviço	Entrega	Características	Desempenho	Variedade	Confiabilidade	Vetor Prioridade
Preço	1	1	4	3	2	5	2	0,250
Serviço		1	4	4	2	5	2	0,262
Entrega			1	(2)	(2)	2	(4)	0,058
Características				1	(2)	4	(3)	0,087
Desempenho					1	4	1	0,139
Variedade						1	(4)	0,037
Confiabilidade							1	0,167
taxa de inconsistência (λ)=0,024								

FIGURA 3.4 - Pesos dos Requisitos do Consumidor pela AHP

Fonte: (LU;MADU;KUEI;WINOKUR;1994)

Após a aplicação da AHP para a obtenção do peso dos requisitos do consumidor, os autores montaram a Casa da Qualidade, conforme ilustra a FIGURA 3.5. A Matriz de Relacionamentos tem as mesmas características do QFD tradicional, e relaciona os RCs com as políticas de *marketing*.

⁶ Este método utiliza a seguinte escala para a comparação dos critérios: 1=igual, 3=fraca, 5=forte, 7=muito forte 9= absoluta.

⁷ Os autores utilizaram o *software Expert Choice* para gerar os pesos para cada critério.

Requisitos do Consumidor	Políticas de Marketing pesos obtidos pela AHP	Análise Competitiva				
		Valor	Voluntário	Total	Conservação do Ambien	1 2 3 4 5
Preço	0,250	9	1	1	3	B AC
Serviço	0,262	9	9	9	9	CAB
Entrega	0,058	9	9	9	3	C A B
Características	0,087	9	3	3	9	BC A
Desempenho	0,139	9	9	9	9	CAB
Variedade	0,037	9	1	3	3	AB C
Confiabilidade	0,167	9	9	9	9	C BA
peso absoluto- w_j		9,000	6,182	6,256	6,930	
Facilidade de Implementação		4	3	5	2	
peso total- $w_j^{\text{implementação}}$		36,000	18,546	31,280	13,860	
classificação		1°	3°	2°	4°	
Análise Competitiva		C		B	A	

FIGURA 3.5 - QFD e AHP

Fonte: (LU;MADU;KUEI;WINOKUR;1994)

Para a obtenção do peso absoluto das políticas, foi adotado também o mesmo cálculo do peso absoluto do QFD tradicional. Contudo, os autores estabeleceram um fator de implementação, em escala de 1 (muito difícil) a 5 (muito fácil), que é computado para a obtenção do peso total conforme a equação (3.7).

$$w_j^T = w_j \cdot a_j \quad (3.7)$$

em que:

- w_j^T : peso total da política de *marketing* j ;
- w_j : peso absoluto da política de *marketing* j ;
- a_j : fator de implementação da política de *marketing* j .

3.4 Modelos Utilizando Conjuntos Difusos

3.4.1 Modelo de MASUD e DEAN

MASUD;DEAN (1993) propõem o tratamento das variáveis de entrada da Matriz B-1 da QFD⁸ como variáveis lingüísticas com valores expressos como números difusos.

Segundo estes autores, as entradas requeridas durante as análises do QFD, em forma de julgamentos ou avaliações, são usualmente tratadas como variáveis numéricas. Mesmo variáveis como os relacionamento- r_{ij} , da Matriz de Relacionamentos-R, que tem valores lingüísticos (fraco, algum e forte), são na realidade tratadas como variáveis numéricas (valores 1, 3 e 9, respectivamente), sendo as expressões lingüística usadas no QFD apenas como explanação. Contudo, no julgamento humano, percepção e cognição são freqüentemente ambíguas e são mais bem representadas por números difusos.

3.4.1.1 Variáveis Lingüísticas

Um conceito básico em lógica difusa é a variável lingüística, definida como “uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em uma linguagem natural ou sintética”, (MASUD;DEAN;1993) apud (ZADEH;1988). Os valores de uma variável lingüística podem ser gerados de um termo primário (por exemplo: alto), e seu antônimo (baixo), e uma coleção de modificadores (não, muito, mais ou menos, etc.). Cada valor de uma variável lingüística representa um número difuso, que é descrito

⁸ A Matriz B-1 relaciona os requisitos do consumidor e as funções. Ver Capítulo 2º, item 2.2.2.

por sua função de pertinência⁹. Números difusos com diferentes tipos de funções de pertinência podem ser utilizados. Neste trabalho os autores escolheram o número triangular, descrito conforme a equação (3.8). É possível associar a cada número difuso um número não-difuso equivalente (*crisp*)¹⁰, que, neste exemplo, é computado como na equação (3.9), assumindo que “l, m e u” são os três parâmetros do número triangular.

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & x \geq u \end{cases} \quad (3.8)$$

em que:

- $x, l, m, u \in \mathbb{R}$, onde \mathbb{R} é o conjunto dos números reais.

$$\mu_T = 1/2 \{ [u/(1+u-m)] + [m/(1+m-l)] \} \quad (3.9)$$

em que:

- μ_T é o nº *crisp* equivalente

Na mensuração de variáveis lingüísticas, deve-se primeiro decidir sobre o número possível de termos ou expressões das variáveis lingüísticas. O passo seguinte é converter as expressões para números difusos apropriados. Como indicado anteriormente, o número difuso triangular foi usado neste estudo para representar os

⁹ Uma função de pertinência descreve o grau de pertinência, indicado por valores no intervalo [0,1], dos elementos do conjunto difuso (neste caso, os valores da variável lingüística).

¹⁰ μ_T pode ser calculado de outras formas.

valores das variáveis difusas. As escalas de medidas para as variáveis foram desenvolvidas pelo grupo de projeto.

3.4.1.2 Exemplo Ilustrativo

No final de 1991, o SEIO¹¹ da NASA/LaRC aplicou a Matriz B-1 da QFD no projeto do “*mini moon rover*”, um veículo teleoperado desenvolvido para desempenhar várias tarefas, incluindo operações autônomas sobre a superfície lunar. O conceito de variáveis lingüísticas foi utilizado no verão de 1992, com base neste projeto. Na aplicação difusa do QFD, formou-se um grupo mesclando pesquisadores que haviam participado do grupo anterior e alguns novos. Foram consideradas duas variáveis lingüísticas: os relacionamentos $-r_{ij}$ e o grau de importância.

As TABELAS 3.4 e 3.5 mostram as escalas das variáveis relacionamento e grau de importância, respectivamente. Para cada número triangular, o grupo primeiro fixou os limites inferior (l) e superior (u) e então localizou o valor intermediário (m).

¹¹ Space Exploration Initiative Office (SEIO) pertencente ao Langley Research Center (LaRC)

TABELA 3.4 - Escala da Variável - Relacionamentos

Valor	Nenhuma (N)	Fraca (W)	Média (A)	Forte (S)	Total (U)
<i>l</i>	0.0000	0.0500	0.3000	0.6000	0.9000
<i>m</i>	0.0000	0.2000	0.5000	0.8000	1.0000
<i>u</i>	0.1000	0.4000	0.7000	0.9500	1.0000
μ_T	0.0455	0.2536	0.5000	0.7464	0.9545

Fonte: (MASUD;DEAN;1993)

TABELA 3.5 - Escala do Grau de Importância

Valor	Nenhum (N)	Muito Baixo (ML)	Baixo (L)	Média (M)	Alto (H)	Muito Alto (MH)	Total (U)
<i>l</i>	0.0000	0.0300	0.1000	0.3000	0.5500	0.8000	0.9500
<i>m</i>	0.0000	0.1000	0.2800	0.5000	0.7600	0.9000	1.0000
<i>u</i>	0.0500	0.2000	0.4500	0.7000	0.9000	0.9700	1.0000
μ_T	0.0238	0.1376	0.3110	0.5000	0.7088	0.8624	0.9762

Fonte: (MASUD;DEAN;1993)

O primeiro time de projeto identificou dez requisitos do consumidor e sete funções, que foram mantidos pelo grupo que aplicou a QFD difusa. A Matriz B-1 resultante deste estudo está ilustrada na FIGURA 3.6. Os valores dos pesos absoluto e normalizado, calculados com base nos números difusos triangulares das TABELAS 3.4 e 3.5, estão representados nas equações (3.10a, b e c) e (3.11a, b e c), respectivamente. O número *crisp* equivalente ao peso normalizado é calculado pela equação (3.8); e o peso relativo das características da qualidade, segundo a equação (3.12).

É importante observar que o peso relativo tem a mesma interpretação no QFD difuso e no tradicional. Isto é, eles indicam o peso relativo, pelo critério da importância técnica, de uma determinada característica da qualidade j para a satisfação das necessidades do consumidor.

$$w_j^l = \sum_i^m r_{ij}^l \cdot w_i^l \quad (3.10a)$$

$$w_j^m = \sum_i^m r_{ij}^m \cdot w_i^m \quad (3.10b)$$

$$w_j^u = \sum_i^m r_{ij}^u \cdot w_i^u \quad (3.10c)$$

em que:

- w_j^l , w_j^m e w_j^u : peso absoluto da CQ_j , para o limite inferior (l); intermediário (m) e superior (u), respectivamente;
- w_i^l : peso do RC_i , limite inferior (l);
- r_{ij}^l : valor do relacionamento do RC_i e da CQ_j , limite inferior (l);

$$w_{j\text{norm}}^l = [w_j^l - \min(w_j)] / [\max(w_j) - \min(w_j)] \quad (3.11a)$$

$$w_{j\text{norm}}^m = [w_j^m - \min(w_j)] / [\max(w_j) - \min(w_j)] \quad (3.11b)$$

$$w_{j\text{norm}}^u = [w_j^u - \min(w_j)] / [\max(w_j) - \min(w_j)] \quad (3.11c)$$

em que:

- $w_{j\text{norm}}^l$, $w_{j\text{norm}}^m$ e $w_{j\text{norm}}^u$: peso normalizado da CQ_j , para o limite inferior (l); intermediário (m) e superior (u), respectivamente;
- $\min(w_j)$: mínimo peso absoluto;
- $\max(w_j)$: máximo peso absoluto.

$$w_j^{\%} = \mu_T \cdot 100 / \sum_{j=1}^m \mu_{Tj} \quad (3.12)$$

em que:

- $w_j^{\%}$: peso relativo da CQ_j ;
- μ_T : equivalente *crisp* para a CQ_j ;

O peso relativo foi usado para ordenar as Características da Qualidade no modelo de QFD difuso. Esta ordenação é confrontada com aquela obtida pelo QFD tradicional do projeto de 1991. O grupo de 1992 também fez a ordenação diretamente, usando expressões lingüísticas, para efeito de comparação. Os resultados desta confrontação estão na TABELA 3.6. Observando esta tabela, os autores chegam basicamente a duas conclusões: (a) parece ser alta a correspondência entre o ordenamento obtido no QFD Difuso e as avaliações diretas usando valores lingüísticos; e (b) parece haver alguma divergência entre a ordenação obtida pelo QFD tradicional e pelo QFD difuso; entretanto, três das quatro primeiras classificações são comuns aos dois métodos.

TABELA 3.6 - Ordenação das Funções do *Rover*

Classificação	QFD Difuso	QFD Tradicional	Avaliação Direta
1. Experiência Adquirida	7°	5°	7°
2. Dirigido em tempo real	4°	3°	4°
3. Operar Experimentalmente	3°	6°	3°
4. Executar Operações Autônomas	6°	7°	6°
5. Coletar Dados	5°	4°	5°
6. Operar <i>Rover</i>	2°	1°	2°
7. Manter Integridade da Nave	1°	2°	1°

Fonte: (MASUD;1993)

Os autores alertam para o fato de que a QFD tradicional e a difusa são derivadas de dois estudos separados com dois grupos diferentes. Uma vez que é impossível arbitrar qual a ordenação "correta", estas observações não permitem nenhuma generalização. Contudo, a similaridade entre os resultados obtidos pelo método difuso e pela avaliação direta indica que não houve inconsistência significativa nos

juízos e avaliações determinados pelos representantes do grupo do QFD difuso.

	Grau de importância	experiência adquirida	dirigido em tempo real	geração de resíduos	faz operações autônomas	coleta de dados	operate rover	mantém a integridade da nave
1. Provar Tecnologia SEIO	vL	S	S	W	A	N	S	T
2. Exposição	H	N	S	S	S	A	T	T
3. Transferência de Tecnologia Precoce	L	A	A	A	A	W	S	S
4. Programação Curta	L	S	N	W	A	W	A	S
5. <i>Not a stunt</i>	vH	N	A	T	S	T	A	T
6. Disponibilidade de Fundos	T	A	S	A	S	W	S	S
7. Comercializável	T	W	S	S	S	S	T	T
8. Objetivos de Longo Prazo	H	S	A	S	A	S	S	T
9. Resultados	T	S	S	T	W	T	T	T
10. Hardware	M	S	S	A	A	S	T	S
peso absoluto- w_j	<i>l</i>	1,521	2,673	3,217	2,322	2,878	3,723	4,317
	<i>m</i>	2,952	4,458	4,882	4,088	4,400	5,562	6,168
	<i>u</i>	4,660	6,229	6,395	5,967	5,850	7,017	7,440
peso normalizado- w_j^{norm}	<i>l</i>	0,000	0,195	0,289	0,135	0,229	0,372	0,472
	<i>m</i>	0,212	0,496	0,566	0,434	0,486	0,683	0,785
	<i>u</i>	0,535	0,795	0,824	0,751	0,731	0,929	1,000
r^* crisp equivalente- μ_r	μ_r	0,290	0,497	0,550	0,452	0,487	0,633	0,711
peso relativo- w_j^*		8	14	15	12	13	17	20

FIGURA 3.6 - QFD difuso para o *Mini Moon Rover*

Fonte: (MASUD;1993)

3.4.2 Modelo de KIM; MOSKOWITZ; DHINGRA E EVANS

KIM et al (1994) propõem um modelo de otimização difusa para determinar as metas das características da qualidade e regressão linear difusa¹², representada na equação (3.13), para estimar os parâmetros das Matrizes de Relacionamento e

¹² O problema de regressão linear difusa é estimar os parâmetros difusos de tal forma que o valor de pertinência de y_k pelo seu estimador difuso é pelo menos H, o qual é um valor entre [0,1] e atribuído subjetivamente pelo tomador de decisão, para todo k. Ver (TANAKA;UEJIMA;ASAI;1982); (TANAKA;WATADA;1988).

Correlação. Os autores consideram que as escalas qualitativas usadas para aferir o grau de satisfação dos requisitos do consumidor, a imprecisão dos relacionamentos entre os requisitos e as características da qualidade, bem como entre as características, são as maiores fontes de difusidade no QFD.

$$Y = \alpha_1 X_1 + \dots + \alpha_n X_n = \alpha X \quad (3.13)$$

$$\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n) \quad \text{ou}$$

$$\alpha = \{(\alpha_{m_1}, \dots, \alpha_{m_n})(\alpha_{s_1}, \dots, \alpha_{s_n})\}$$

em que:

- α : parâmetro difuso;
- α_{m_j} e α_{s_j} são os valores da média e da dispersão de α_j , respectivamente, na forma vetorial de α ;

A regressão linear difusa é utilizada para calcular f^{13} (Matriz de Relacionamentos) e g^{14} (Matriz de Correlação). No modelo, estas equações são acessadas independentemente; ou seja, a regressão difusa é usada repetidamente para cada equação.

É importante observar que na otimização difusa podem-se ter os componentes do modelo (parâmetros f_i e g_j ; função objetivo; e restrições) difusos ou não-difusos

¹³ f_i : relacionamento entre o requisito do consumidor i e a característica da qualidade j , obtido pela equação $y_i = f_i(x_1, \dots, x_n)$.

¹⁴ g_j : correlação entre a característica da qualidade j e as demais características. obtido por $x_j = g_j(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$.

(*crisp*)¹⁵, ou seja, podem-se ter os parâmetros difusos e a função objetivo e as restrições não-difusas ou qualquer outra combinação. A formulação do modelo para cada uma das combinações está descrita na TABELA 3.7.¹⁶

TABELA 3.7 - Definição dos Modelos

Modelo	Função Objetivo	Restrições
CCC	Max V (y_1, \dots, y_m); ¹⁷	<ul style="list-style-type: none"> • $y_i = f_i(x_1, \dots, x_n)$ • $x_j = g_j(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$.
CFF	Max λ ;	<ul style="list-style-type: none"> • $\lambda \leq \mu_{\bar{F}_i}(X, Y)$; • $\lambda \leq \mu_{\bar{G}_j}(X)$; • $\lambda \leq \left(\mu_{\bar{Y}_i}(X) \right)^{w_i}$.
FCC	Max V (y_1, \dots, y_m);	<ul style="list-style-type: none"> • $y_i = f_i(x_1, \dots, x_n)$; • $x_j^R \leq g_j^R(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$.
FFF	Max λ ;	<ul style="list-style-type: none"> • $\lambda \leq \mu_{\bar{F}_i}(X, Y)$; • $\lambda \leq \mu_{\bar{G}_j}(X)$; • $\lambda \leq \left(\mu_{\bar{Y}_i}(X) \right)^{w_i}$; • $y_j^L = f_j^L(x_1, \dots, x_n)$; • $y_j^R = f_j^R(x_1, \dots, x_n)$; • $x_j^L \leq g_j^L(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$; • $x_j^R \leq g_j^R(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n)$.

Fonte: Adaptado de (KIM et al;1994)

¹⁵ Os autores utilizaram os símbolos C-(*crisp*) para não-difuso e F-(fuzzy) para difuso. Os modelos são descritos na forma (parâmetro, função objetivo, restrições), ou seja, (CFF) significa o modelo com parâmetros não-difusos e função objetivo e restrições difusas.

¹⁶ Os modelos CCF, CFC, FCF, E FFC não são considerados pelos autores. São considerados os casos de função objetivo difuso se e somente se ao menos alguma das restrições for difusa.

¹⁷ A função objetivo não-difusa é a MAV-Multiattribute Value. Esta função é adotada no modelo com sendo aditiva, o que implica a independência entre os requisitos do consumidor. $V(y_1, \dots, y_m)$ é expressa por $\sum_{i=1}^m w_i v_i(y_i)$, em que V_i (pior y_i)=0 e

V_i (melhor y_i)=1. O peso do requisito do consumidor i (w_i), é dado no intervalo (0,1], para $i = 1$ a m , e $\sum_{i=1}^m w_i = 1$.

3.4.2.1 Exemplo Ilustrativo

Os autores ilustram o modelo utilizando o exemplo da FIGURA 3.7. Os resultados obtidos para cada modelo apresentado estão na TABELA 3.8.

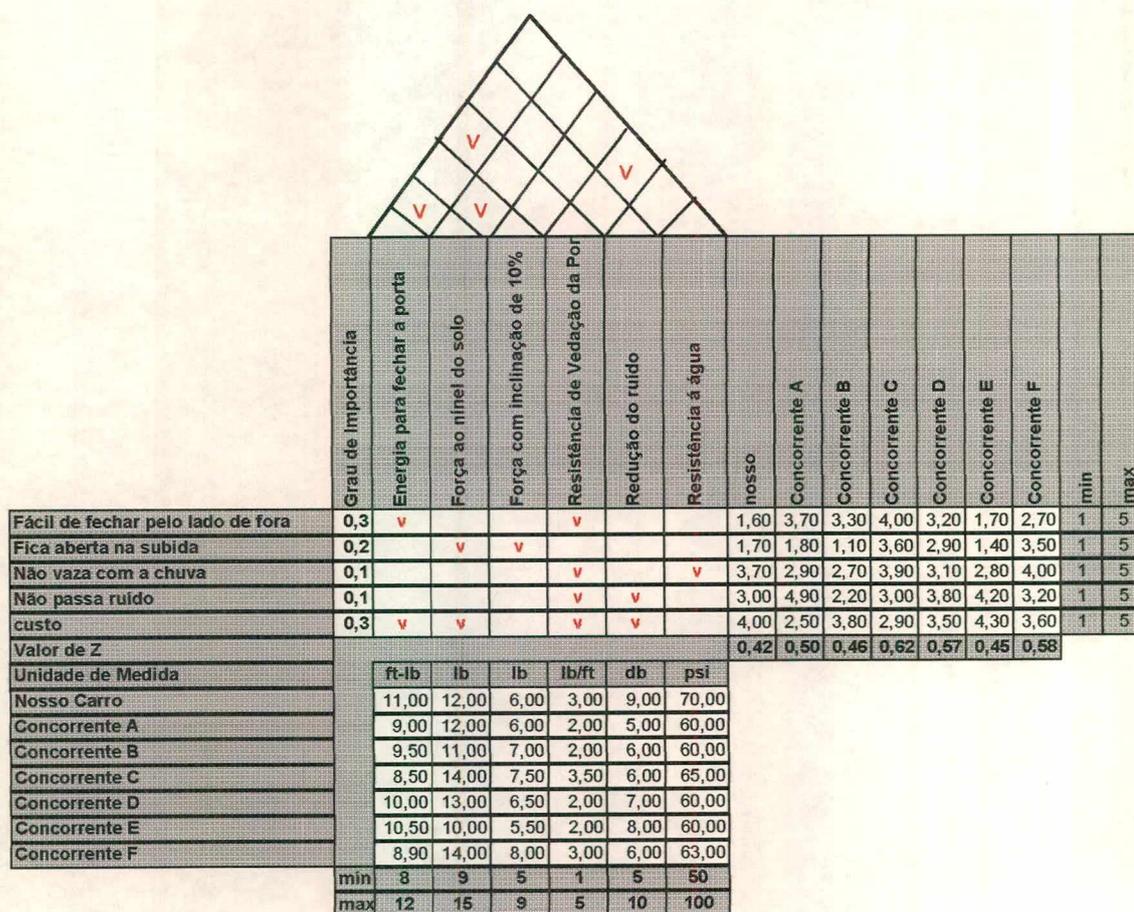


FIGURA 3.7 - Casa da Qualidade - Exemplo da Porta de Automóvel

Fonte: (KIM et al;1994)

TABELA 3.8 - Resultados Obtidos

	CCC	GFF ¹⁸			FCC	FFF		
		10%	20%	30%		10%	20%	30%
y ₁	3,21	3,50	3,68	4,10	2,45	3,13	2,87	3,57
y ₂	2,30	2,89	3,30	2,38	1,81	2,27	2,81	2,71
y ₃	2,53	3,58	3,81	3,96	3,70	3,71	3,71	3,79
y ₄	2,70	3,64	3,98	3,72	2,66	3,54	3,72	3,83
y ₅	5,00	4,35	4,50	4,86	5,00	4,32	4,51	4,62
x ₁	8,83	8,43	8,00	8,33	10,31	9,35	8,85	8,81
x ₂	12,52	13,40	14,02	12,83	11,59	12,68	13,20	13,35
x ₃	6,87	7,25	7,45	6,75	6,58	7,00	7,20	7,27
x ₄	1,00	2,13	2,23	2,40	2,81	2,89	2,83	3,10
x ₅	6,45	5,87	5,64	6,04	8,73	7,12	6,75	6,92
x ₆	52,09	56,61	55,80	57,08	65,54	64,61	63,68	65,54
Z	0,61	0,66	0,72	0,73	0,56	0,60	0,63	0,69
λ	-----	0,65	0,72	0,76	-----	0,73	0,81	0,85

Fonte: Adaptado de (KIM et al;1994)

O valor de Z representa o resultado ótimo da função objetivo não-difusa, ou seja, os modelos CCC e FCC. O valor λ denota o grau de satisfação global quando a função objetivo difusa é utilizada. Contudo, os modelos com função objetivo difusa, CFF e FFF, possuem também o valor de Z, que é calculado *a posteriori* com os y_i 's e x_i 's que maximizam λ .

Os autores utilizaram o valor de Z para comparar o desempenho dos modelos. Nos modelos CCC e FCC os parâmetros difusos tiveram um resultado negativo em Z, 0,61 e 0,56, respectivamente, o que significa que se o time de projeto não tivesse considerado a difusidade inerente dos parâmetros o resultado seria uma meta Z superestimada.

¹⁸ Nos casos de restrições difusas, CFF e FFF, foram adotados, a título de ilustração, 10,20 e 30% de b_i na equação, respectivamente

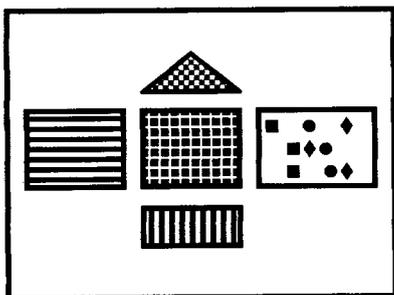
Comparando-se os modelos CCC e CFF, é possível observar que o segundo possui valores de Z maiores, e quanto maior a flexibilidade permitida maior o valor de Z. Contudo, os autores ressaltam que flexibilidade excessiva pode deteriorar a validade do sistema, ou seja, existe um limite de flexibilidade que deve ser determinado pelo time, dependendo da situação singular de cada projeto. Paralelamente, os relacionamentos, utilizados como restrições, são virtualmente imprecisos; para compensar este efeito, é razoável relaxar o sistema de equações. A comparação entre os modelos FCC e FFF revela o mesmo comportamento observado anteriormente.

Os casos extremos CCC e FFF revelam que o impacto em Z pode ser positivo ou negativo, dependendo do nível de flexibilidade permitido, isto é, $Z(FFF) - Z(CCC) = -0.01; 0.02; 0.08$ para 10, 20 e 30%, respectivamente. Os autores enfatizam que existe uma tendência entre possibilidade e flexibilidade¹⁹, isto é, enquanto a primeira tem impacto negativo em Z, a segunda tem impacto positivo.

¹⁹ O efeito da possibilidade é revelado nos modelos com parâmetros difusos, modelos FCC e FFF; e o da flexibilidade, nos modelos com função objetivo e restrições difusas, CFF e FFF.

PARTE II -

DESENVOLVIMENTO DA TESE



**CAPÍTULO 4º -
FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

4.1 Introdução

Neste capítulo, discute-se a aplicabilidade das ferramentas de tomada de decisão ao método QFD, com base na análise dos modelos apresentados no capítulo anterior. Discute-se também, genericamente, a possibilidade de utilização de outras ferramentas que podem ser investigadas em trabalhos futuros. Posteriormente definem-se o problema da tese e a forma de tratamento.

4.2 Comparação dos Modelos

Nos modelos apresentados no Capítulo 3º, pôde-se observar que a concepção dos modelos se distingue não só no tipo de ferramenta utilizada como também na estrutura do QFD adotado.

Para comparar os modelos e destacar pontos fortes e fracos, considera-se que a modelagem completa da Casa da Qualidade deve equacionar os seguintes pontos:

- tratar as variáveis lingüísticas de forma adequada;
- ordenar os requisitos do consumidor, trabalhando as informações de *benchmarking* externo;
- ordenar as características da qualidade e selecionar aquelas que irão para o desdobramento, levando em consideração o fator custo e eventualmente outros, como dificuldade técnica e facilidade de implementação, bem como a dependência entre características da qualidade;

- estabelecer as metas quantitativas das características da qualidade, trabalhando as informações de *benchmarking* interno bem como a dependência entre as características da qualidade;

A TABELA 4.1 faz uma síntese dos modelos¹ apresentados, destacando os pontos fortes e fracos para fins de comparação.

Observando a TABELA 4.1 é possível verificar que os modelos apresentam características bem distintas. Acredita-se que devam ser analisados levando-se em consideração o tipo de aplicação de QFD, embora tenham sido propostos como modelos genéricos. Contudo, alguns aspectos destes modelos podem ser encarados como genéricos e ser aplicados em qualquer caso. Nesta categoria, pode-se destacar o tratamento das variáveis lingüísticas como difusas.

¹ Os modelos de (BORDLEY;PARIANI;1992) e de (LOCASCIO, THURSTON,1993) estudados não foram detalhados no Capítulo 3º, pois o primeiro foi incorporado ao modelo de (WASSERMAN,1993) e o segundo, que utilizada multicritério associado à programação linear, por estar em fase incipiente de elaboração.

TABELA 4.1 - Comparação dos Modelos

Modelo	Ferramentas	Pontos Fortes	Pontos Fracos
WASSERMAN	<ul style="list-style-type: none"> normalização programação linear 	<ul style="list-style-type: none"> equaciona o problema da dependência entre características da qualidade; faz a ordenação das características da qualidade levando em consideração o fator custo. 	<ul style="list-style-type: none"> não equaciona a ordenação dos requisitos do consumidor (grau de importância); não trabalha as informações de <i>benchmarking</i> externo e interno; trata as variáveis lingüísticas como numéricas.
LU et al	<ul style="list-style-type: none"> AHP 	<ul style="list-style-type: none"> equaciona a ordenação dos requisitos do consumidor (grau de importância); faz a ordenação das características da qualidade levando em consideração o fator facilidade de implementação. 	<ul style="list-style-type: none"> não equaciona o problema da dependência entre características da qualidade²; não trabalha as informações de <i>benchmarking</i> externo e interno; trata as variáveis lingüísticas como numéricas.
MASUD;DEAN	<ul style="list-style-type: none"> conjuntos difusos (variáveis lingüísticas) 	<ul style="list-style-type: none"> trata as variáveis lingüísticas (grau de importância dos requisitos e relacionamentos) como números difusos. 	<ul style="list-style-type: none"> não equaciona o problema da dependência entre características da qualidade; não trabalha as informações de <i>benchmarking</i> externo e interno; não considera outros fatores para a ordenação das características da qualidade.
KIM et al	<ul style="list-style-type: none"> regressão linear difusa otimização difusa 	<ul style="list-style-type: none"> equaciona o problema da dependência entre características da qualidade; trabalha as informações de <i>benchmarking</i> externo e interno. 	<ul style="list-style-type: none"> não equaciona a ordenação dos requisitos do consumidor (grau de importância); trata as variáveis lingüísticas (grau de importância e grau de satisfação) como numéricas.

Fonte: Elaborada pela autora

² É importante ressaltar que o modelo de (LU et al;1994) é uma adaptação do QFD para o planejamento estratégico de *marketing* e, portanto, temos as políticas de *marketing* no lugar das características da qualidade.

4.3 Análise dos Diferentes Enfoques

Neste item, analisam-se os diferentes enfoques estudados à luz do tipo de aplicação a que se destinam, destacando-se genericamente outras ferramentas que podem ser usadas para modelar o problema. Passa-se agora a analisar detalhadamente os aspectos mais relevantes.

4.3.1 Estabelecimento da Ordenação dos Requisitos do Consumidor

Tomando como base os capítulos anteriores, verifica-se que a ordenação pode se dar através do grau de importância do requisito do consumidor³, ou utilizando o peso relativo⁴ do requisito proposto nos modelos de QFD tradicional. Em ambos os casos, utilizam-se julgamentos para a atribuição dos pesos.

O grau de importância do requisito do consumidor é expresso no QFD tradicional por porcentagens ou pela escala de LIKERT, e é determinado pelo consumidor. O objetivo desta medida é traduzir o quanto o consumidor julga importante um dado requisito quando comparado aos demais, ou seja, qual é “mais” importante e qual é “menos” importante. Esta gradação geralmente é obtida, no caso de pesquisa direta, por questionários na forma do APÊNDICE II.

Nos modelos analisados existem duas propostas de tratamento desta variável, a de MASUD e DEAN que a tratam como um número difuso, e a de LU, que adota a AHP. O uso da teoria dos conjuntos difusos é adequado ao tratamento das variáveis lingüísticas, independentemente do tipo de aplicação. Contudo, pode-se argumentar

³ Ver os modelos de WASSERMAN; MASUD e DEAN; LU e al, e KIM et al

⁴ Ver item 2.3.1.1, equações 2.3.

que, em aplicações voltadas ao consumidor final, é possível recorrer a técnicas estatísticas para a quantificação de preferências⁵, tal como *Conjoint Analysis* - Análise Conjunta, o que tornaria mais robusto o resultado. Já a ferramenta AHP parece-se adequar somente a projetos em parceria com os clientes, pois deve ser utilizada por um time, o qual decide, de forma conjunta e estruturada, a dominância entre os requisitos.

O peso relativo do requisito do consumidor utiliza também as informações da Matriz de *Benchmarking* Externo, a meta para o requisito e o peso do ponto de venda. Estas variáveis também são lingüísticas e, a princípio, também podem ser tratadas como números difusos. No caso do projeto em parceria com clientes, o conceito de ponto de venda perde o significado, uma vez que o grau de importância do requisito já é atribuído pelo time. A AHP poderia ser utilizada também para a avaliação da concorrência, como será visto posteriormente. Estes dois pontos serão avaliados nos capítulos posteriores.

4.3.2 Estabelecimento da Ordenação das Características da Qualidade e das Metas

A ordenação das características da qualidade é feita, no QFD tradicional, pelo peso relativo⁶. Este peso é calculado utilizando-se os relacionamentos r_{ij} do requisito i com a característica j além da ponderação discutida no item anterior. Estes relacionamentos são variáveis lingüísticas, forte, médio e fraco e, portanto, tratadas

⁵ Referem-se a uma família de técnicas, as quais utilizam respostas individuais a respeito da preferência, em um conjunto de opções, de forma a estimar funções de utilidade. Ver (KROES;SHELDON;1988) e (HAIR et al.; 1995).

⁶ Ver item 2.3.2.4, equação 2.5

como números difusos no exemplo de MASUD e DEAN. No exemplo de KIM, este valor é calculado através da regressão difusa e com base nos dados da Matriz de *Benchmarking* Externo⁷. É importante destacar no modelo de KIM que não é o time de projeto que atribui o valor dos relacionamentos; eles são calculados.

Além destes dois tratamentos, poderiam ser utilizadas ferramentas estatísticas⁸ tradicionais, para aplicações em que se dispõe de grande quantidade de dados comparativos de *benchmarking*. Contudo, novamente o time deixaria de arbitrar os valores dos pesos.

É importante enfatizar que as ferramentas devem ser de apoio ao time do QFD, não devendo sobrepujá-lo. Esta advertência é importante, uma vez que, dependendo da modelagem, o QFD pode-se transformar em uma caixa-preta em que entram os requisitos do consumidor e as características da qualidade e saem as metas de projeto e a ordenação das características. Ou seja, o papel do time fica restrito basicamente à identificação das características da qualidade; portanto, perde-se uma das principais vantagens do método, que é justamente o trabalho do time multifuncional.

Neste contexto, a utilização de ferramentas estatísticas tradicionais e difusas para este fim não é recomendada. Contudo, é uma opção, no caso de o time sentir dificuldade em determinar os relacionamentos.

⁷ Ver item 3., equação 3.3.

⁸ As ferramentas estatísticas mais adequadas neste caso são aquelas em que se tem diversas variáveis independentes não-métricas (requisitos do consumidor) e diversas variáveis dependentes métricas (características da qualidade).

Outra questão que merece destaque neste ponto é a dependência entre as características da qualidade. Este é um aspecto vital do modelo, pois se esta dependência não for tratada estarão sendo estabelecidas metas de projeto inverossímeis. WASSERMAN trabalha a dependência através de um procedimento de normalização⁹, para depois aplicar o modelo de programação linear. Já KIM trata as correlações como uma restrição do modelo de otimização difusa.¹⁰

Outra diferença quanto aos modelos de otimização propostos por WASSERMAN e KIM é que o primeiro busca as metas quantitativas das características da qualidade; e o segundo, as metas para os requisitos do consumidor¹¹.

Esta etapa deve envolver as restrições do modelo, em geral os fatores de custo e dificuldade técnica, além de estar aberta à inclusão de novas restrições que sejam relevantes para a aplicação.

Em síntese, pode-se incorporar ao QFD ferramentas oriundas de diferentes áreas, tais como quantificação de preferências e análise de decisão, além de técnicas já associadas ao QFD como as de experimentação de TAGUCHI¹² e ferramentas de confiabilidade, como já discutido no Capítulo 2º. A FIGURA 4.1 ilustra as ferramentas relevantes por região da Casa da Qualidade, segundo os modelos estudados. É importante ressaltar que não foram encontrados, na literatura técnica, modelos aplicados ao QFD que utilizem as ferramentas destacadas em vermelho.

⁹ Ver item 3.1.2, equações (3.1) a (3.4)

¹⁰ KIM et al (1994) acreditam que este tratamento é limitado, pois considera independente os relacionamentos r_{ij} e γ_{ij}

¹¹ Deve-se ressaltar que, dependendo da modelagem, estes problemas podem ser descrito como primal e dual.

¹² Ver (TAGUCHI; CLAUSING;1990).

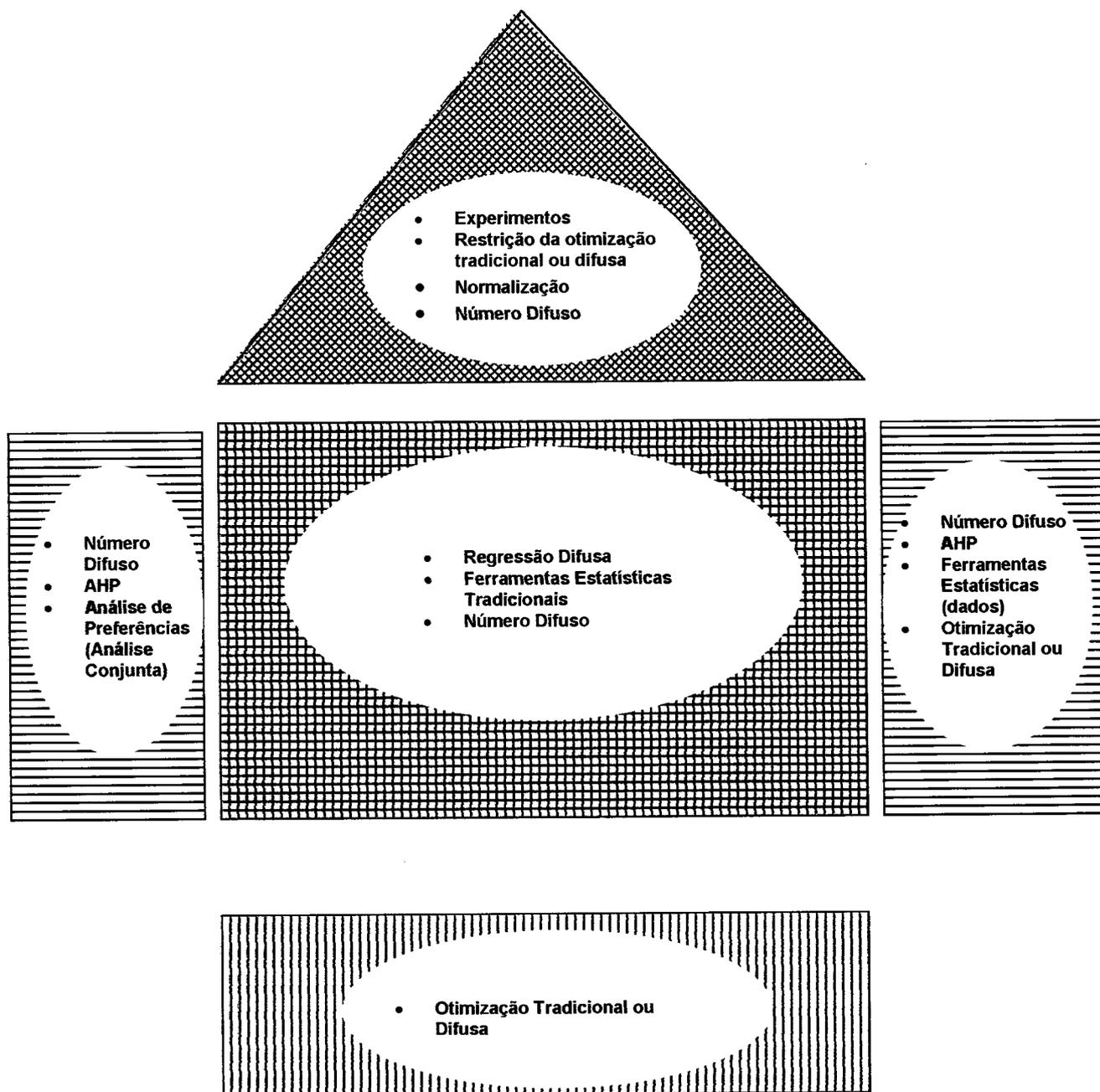


FIGURA 4.1 - Ferramentas por Região da Casa da Qualidade

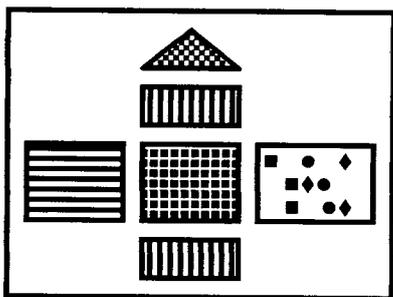
Fonte: Elaborada pela autora

4.4 Formulação do Problema da Tese

O problema da tese é formular um modelo de QFD para aplicação em projetos desenvolvidos em parceria com o cliente. Para a construção deste modelo, considera-se que:

- o modelo deve equacionar todos os pontos elencados no item 4.2;
- o modelo não deve alterar a forma de trabalho do time durante a execução do QFD, nem diminuir o poder de sua tomada de decisão; ou seja, não se pretende transformar o QFD numa caixa-preta; conseqüentemente, descartam-se as formulações que obtêm os relacionamentos através de técnicas estatísticas tradicionais ou difusas;
- o modelo para aplicação em projeto em parceria caracteriza-se pelo envolvimento do cliente como membro do time; desta forma, as ferramentas estatísticas para tratamento do grau de importância do requisito do consumidor ficam descartadas em detrimento daquelas que propiciem escolhas em times;
- no modelo para aplicação em projetos em parceria, o item ponto de vendas fica redundante, uma vez que o time junto com o cliente determinam o grau de importância de cada requisito;

Neste contexto, foram construídos dois modelos possíveis para este tipo de aplicação. No primeiro transformaram-se todas as entradas que envolvem julgamento humano em números difusos; e, no segundo, adotou-se a técnica da AHP nos itens de grau de importância e avaliação competitiva.



CAPÍTULO 5º -
MODELO 1 - O ENFOQUE DIFUSO

5.1 Introdução

Este capítulo apresenta o primeiro enfoque adotado no tratamento do problema de QFD para aplicações em parceria com o cliente. Nesta formulação, adotaram-se todas as variáveis de entrada como lingüísticas com valores expressos por números difusos, quais sejam: (a) grau de importância do requisito do consumidor; (b) relacionamentos entre os requisitos e as características da qualidade; (c) correlação entre as características, e (d) a avaliação competitiva dos requisitos do consumidor¹.

Neste modelo considerou-se uma extensão do procedimento de normalização de WASSERMAN para números difusos, como forma de tratamento das correlações entre características da qualidade, bem como o procedimento de otimização advogado por ele para a alocação dos recursos na obtenção das metas.

5.2 Descrição do Modelo

Os passos a serem seguidos para a execução do modelo são basicamente os mesmos do QFD tradicional. O modelo se distingue basicamente pela adoção das variáveis lingüísticas.

¹Lembra-se que o item "ponto de venda" da avaliação competitiva foi retirado por ser redundante em projeto de parceria com cliente, conforme discutido no Capítulo 4º.

5.2.1 Variáveis Lingüísticas

Um dos conceitos básicos em lógica difusa e raciocínio aproximado é a noção de variável lingüística a qual foi definida com segue:

Uma variável lingüística é caracterizada por uma quintupla $(\mathcal{A}, T(\mathcal{A}), U, G, M)$ na qual \mathcal{A} é o nome da variável; $T(\mathcal{A})$ denota o conjunto de termos de \mathcal{A} , isto é, a coleção de seus valores lingüísticos; U é o universo de discurso; G é uma regra sintática que gera os termos em $T(\mathcal{A})$; e M é uma regra semântica que associa a cada valor lingüístico X , o seu significado, $M(X)$, onde $M(X)$ denota um subconjunto difuso de U . (ZADEH,1975)

No QFD podem-se considerar as seguintes variáveis lingüísticas (X): o grau de importância dos requisitos do consumidor, a correlação entre características da qualidade, os relacionamentos entre os requisitos e as características, a análise competitiva externa e as metas dos requisitos.

Utilizando como base a definição de variáveis lingüísticas, tome-se, por exemplo, a variável "relacionamento", cujos termos usualmente adotados são forte, médio e

fraco. Ou seja, $T(\text{relacionamento}) = \{\text{forte, médio, fraco}\}$, cuja regra semântica são os subconjuntos difuso $\tilde{M}(\text{forte})$, $\tilde{M}(\text{médio})$ e $\tilde{M}(\text{fraco})$, conforme ilustra a FIGURA 5.1.

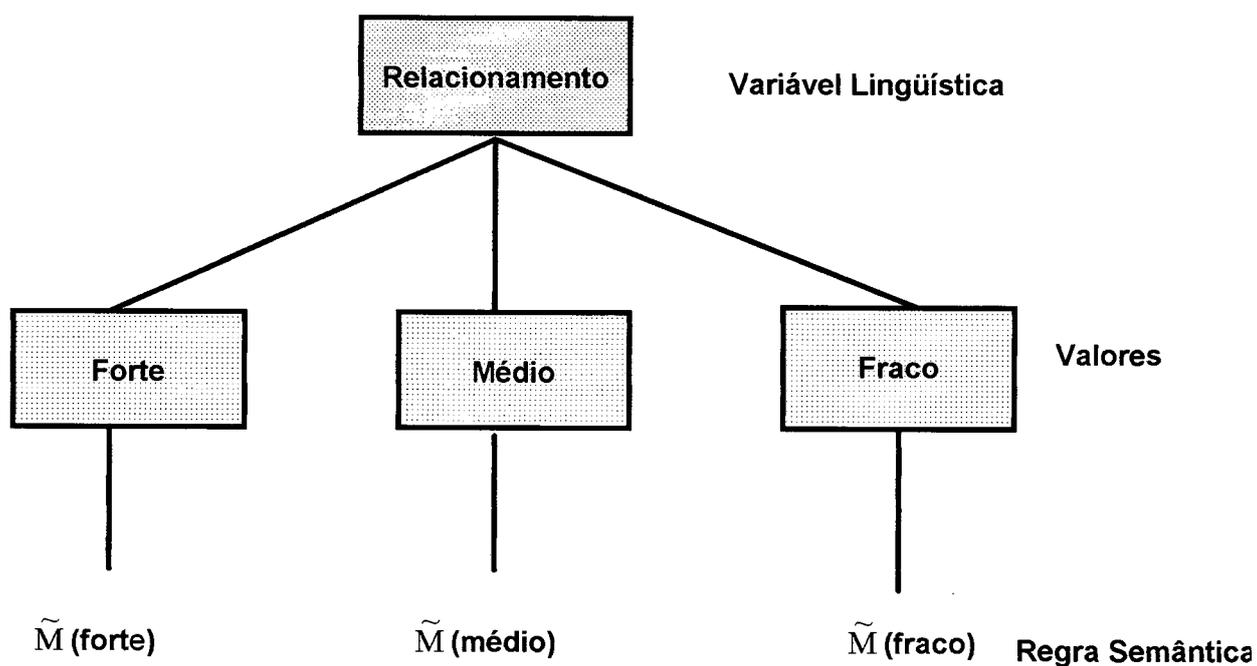


FIGURA 5.1 - Variável Lingüística “Relacionamento”

Fonte: Elaborada pela autora

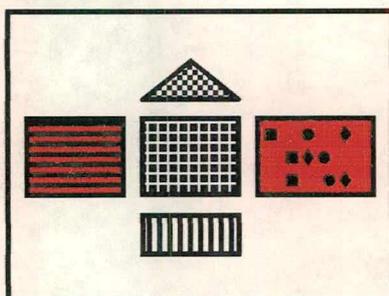
Os valores das variáveis lingüísticas podem também ser gerados de um termo primário; seu antônimo; e uma coleção de quantificadores lingüísticos.²

Para se tratarem as variáveis lingüísticas, podem-se adotar os seguintes procedimentos: (a) utilizar valores e escalas preestabelecidos para as variáveis

lingüísticas;³ (b) utilizar valores preestabelecidos e o time desenvolver as escalas; (c) o time desenvolve os valores e adota escalas preestabelecidas, ou (d) o time desenvolve os valores e as escalas.

A última opção é a que dá maior liberdade ao time de projeto, permitindo que se estabeleça um “acordo semântico” para cada variável lingüística utilizada. Desta forma, é possível obter maior homogeneidade no que concerne ao significado das variáveis adotadas.

5.2.2 A Voz do Consumidor



Como já foi visto, a primeira etapa da metodologia é captar a “voz do consumidor”. Num projeto desenvolvido em parceria com o cliente, existem algumas peculiaridades com relação à obtenção dos requisitos do consumidor, quais sejam: (a) o cliente neste caso conhece claramente suas necessidades e as discute tecnicamente com os outros membros do time; (b) o grau de importância dos requisitos do consumidor é atribuído pelo cliente juntamente com os demais membros do time, através do

² Ver, por exemplo, (Yager,1988). Este autor apresenta os operadores OWA - *Ordered Weighed Aggregation*, que auxiliam na conexão entre a agregação em termos de quantificadores lingüísticos e a realização matemática da agregação estipulada.

³ Podem-se adotar, por exemplo, os valores do QFD tradicional e as escalas desenvolvidas por (CHEN;HWANG;1992).

consenso; e (c) o grau de importância dos requisitos engloba o peso dos pontos de venda.

O grau de importância é tratado como uma variável lingüística, cujos valores são representados por números difusos⁴, (\tilde{G}).

5.2.2.1 Análise Competitiva Externa

No Modelo 1, a análise competitiva externa abrange a avaliação comparativa dos principais produtos concorrentes existentes no mercado, (\tilde{B}_i), e a meta, (\tilde{M}_i), para cada requisito do consumidor. Ambos são tratados como variáveis lingüísticas, representados por um número difuso. A taxa de melhoria (\tilde{T}_i) é uma operação entre números difusos calculada conforme a equação (5.1).

$$\tilde{T}_i = \tilde{M}_i \odot \tilde{B}_{\text{nosso}} \quad (5.1)$$

em que:

- \tilde{T}_i : é o número difuso que representa a taxa de melhoria do requisito i ; e $i = 1$ a m ;
- \tilde{M}_i : número difuso que representa a variável lingüística, meta para o requisito i ;
- \tilde{B}_i : número difuso que representa o valor do nível de satisfação atual do "nosso" produto ao requisito i ;
- \odot : denota a operação de divisão estendida.

⁴ Existem vários tipos de números difusos, bem como diferentes escalas para descrever as variáveis lingüísticas. No exemplo ilustrativo utilizaram-se números difusos triangular conforme descrito no Capítulo 3º, modelo de (MASUD;DEAN;1993), equação (8), no estudo de caso do *mini moon rover*.

5.2.2.2 Peso dos Requisitos do Consumidor

O peso absoluto e relativo de cada requisito do consumidor é calculado conforme as equações (5.2) e (5.3). Na equação (5.3) estabeleceu-se o equivalente não-difuso (*crisp*) utilizando o método da centróide; contudo, outros podem ser utilizados.

$$\tilde{w}_i = \tilde{G}_i \otimes \tilde{T}_i \quad (5.2)$$

em que:

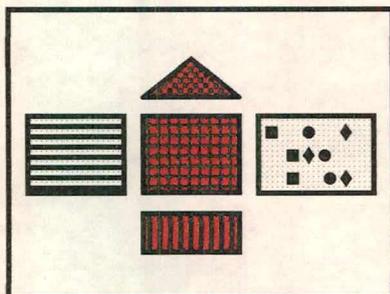
- \tilde{w}_i : número difuso que representa o peso absoluto do requisito i , para $i=1$ a m ;
- \tilde{G}_i : número difuso que representa a variável lingüística "grau de importância" do requisito i , para $i=1$ a m ;
- \otimes : denota a operação de multiplicação estendida.

$$w_i^{\%} = w_i \cdot 100 / \sum_{i=1}^m w_i \quad (5.3)$$

em que:

- $w_i^{\%}$: peso relativo do requisito i ;
- w_i : equivalente *crisp* para do número difuso do peso absoluto do requisito i , utilizando o método da centróide.

5.2.3 As Características da Qualidade



Neste modelo, as características da qualidade são listadas da mesma forma que no QFD tradicional, diferenciando-se apenas pelo fato de que o cliente participa ativamente desta atividade.

5.2.3.1 Matriz de Relacionamentos e de Correlação

O Modelo 1 apresenta os relacionamentos - r_{ij} e as correlações - γ_{jk} como variáveis lingüísticas, ambos representados por números difusos, \tilde{R} e \tilde{C} , respectivamente.

O procedimento de normalização de WASSERMAN (1993) é estendido para operar com números difusos. Desta forma, podem-se acomodar as dependências entre as características, expressas por números difusos - \tilde{C} , e incorporá-las aos relacionamentos - \tilde{R} através do procedimento de normalização descrito pela equação (5.4).

$$\tilde{R}_{ij}^{\text{norm}} = \frac{\sum_{k=1}^n \tilde{R}_{ik} \otimes \tilde{C}_{kj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \tilde{R}_{ij} \otimes \tilde{C}_{jk}} \quad (5.4)$$

em que:

- $\tilde{R}_{ij}^{\text{norm}}$: é o número difuso que representa o relacionamento normalizado, ou seja, após considerar as dependências entre as características da qualidade;
- \tilde{C}_{jk} : é o número difuso que representa a correlação entre as características;
- \tilde{R}_{ij} : é o número difuso que representa os relacionamentos entre os requisitos e as características da qualidade;
- \otimes : denota a operação de multiplicação estendida;
- Σ : denota a operação de adição estendida.

5.2.3.2 Peso das Características da Qualidade do Produto

Com base na Matriz de Relacionamentos Normalizada, formada pelos elementos - $\tilde{R}_{ij}^{\text{norm}}$, e no peso relativo dos requisitos do consumidor, $w_j^{\%}$, é possível estabelecer os pesos absoluto e relativo das características da qualidade, conforme as equações (5.5) e (5.6). O peso relativo fornece uma diretriz para a alocação dos recursos disponíveis, conforme se verá no item seguinte.

$$\tilde{w}_j = \sum_i^m \tilde{R}_{ij}^{norm} \cdot \tilde{w}_i \quad (5.5)$$

em que:

- \tilde{w}_j : número difuso que representa o peso absoluto da característica j , para $j=1, \dots, n$;
- \tilde{w}_i : número difuso que representa o peso absoluto do requisito i , para $i=1, \dots, m$;
- \tilde{R}_{ij}^{norm} : é o número difuso que representa o relacionamento normalizado do requisito i e da característica j ;

$$w_j^{\%} = w_j \cdot 100 / \sum_{j=1}^n w_j \quad (5.6)$$

em que:

- $w_j^{\%}$: peso relativo da característica j ;
- w_j : equivalente *crisp* para do número difuso do peso absoluto da característica j , utilizando o método da centróide.

5.2.3.3 Análise Competitiva Interna e Metas Quantitativas

Como visto no Capítulo 2º, na análise competitiva interna é elaborada uma avaliação quantitativa de cada característica da qualidade, para os principais produtos concorrentes existentes no mercado, e então é estabelecida meta que deve representar o limite técnico, considerado de Classe Mundial.⁵ Desta forma, para cada característica da qualidade, (X_j), se estabelecerá um valor meta (M_j), que representa o melhor valor⁶, tecnicamente possível, a ser obtido por esta característica na unidade de medida mais apropriada para mensurá-la.

⁵Este conceito de meta técnica é coerente com o modelo de otimização utilizado, uma vez que os relacionamentos r_{ij} são considerados unidades incrementais para o atendimento das metas.

⁶O melhor valor pode ser: quanto maior melhor, quanto menor melhor, ou o valor nominal, conforme descrito no Capítulo 2º.

Por conveniência, será assumido que os valores das variáveis de decisão, X , são dados numa escala percentual, em que $x_j = 100\%$ denota que a meta - m_j estabelecida para a característica j foi plenamente atingida. A fim de solucionar conflitos de projeto entre características da qualidade correlacionadas negativamente, será assumida uma escala de (-100% a +100%); isto é, ajuste decrescente dos valores de x_j são permitidos, conforme ilustra a FIGURA 5.1.

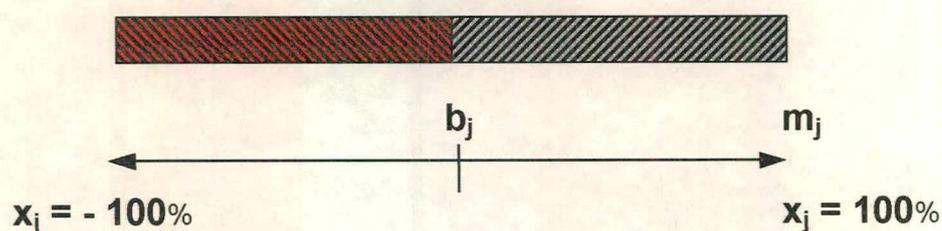


FIGURA 5.2 - Escala das Variáveis de Decisão

Fonte: Elaborado pela autora

Para estabelecer a alocação de recursos na obtenção das metas técnicas das características, será adotado aqui o procedimento de otimização de WASSERMAN (1993), apresentado no Capítulo 3º. O peso relativo do requisito do consumidor, ou seja, o equivalente *crisp* calculado pelo método da centróide, é usado para compor o nível agregado da satisfação do consumidor, sujeito a restrições lineares de custo de acordo com as equações (3.6) e (3.7), do Capítulo 3º. O fator custo - c_j representa o custo requerido para que o valor atual - b_j da característica da qualidade j seja elevado à meta - m_j . A decisão de alocar recursos deve ser baseada estritamente no

valor do índice único formado pelas taxas (w_j / c_j), $j = 1, \dots, n$, conforme discutido no Capítulo 3º.

5.3 Aplicação do Modelo 1

Para demonstrar o funcionamento do método, apresentar-se-á o exemplo do "*mini moon rover*", (MASUD;DEAN;1993), visto no Capítulo 3º.

O exemplo do "*mini moon rover*" foi selecionado como base para demonstrar o Modelo 1, pois apresenta os valores e as escalas das variáveis lingüísticas, grau de importância e relacionamentos, desenvolvidos por um time de projeto. Para a aplicação do Modelo 1, arbitrou-se, numa primeira fase, a correlação entre algumas características. Nesta primeira fase, foi avaliado apenas o impacto da inclusão da variável lingüística - correlação no modelo de MASUD;DEAN (1993). Numa segunda etapa, aplicou-se o Modelo 1 completo, ou seja, arbitraram-se valores para a matriz de *benchmarking* externo, conforme ilustrado na FIGURA 5.2. Neste exemplo, o tipo de número difuso utilizado é o triangular, descrito pela função de pertinência descrita pela equação (3.8) do modelo de MASUD;DEAN (1993). As escalas para todas as variáveis lingüísticas utilizadas no Modelo 1 estão no ANEXO A.

Construiu-se uma versão do QFD tradicional para este exemplo para análise comparativa posterior. Para elaborar esta versão fizeram-se algumas conversões de variáveis lingüísticas para os pesos do QFD tradicional. Os relacionamentos foram convertidos da seguinte forma: (N) recebeu o valor zero, (W) o valor 1, (A) o valor 3 e (S) e (T) receberam o valor 9. O grau de importância foi assim convertido: (vL)

recebeu o valor 1, (L) o valor 2, (M) o valor 3, (H) o valor 4, (vH) o valor 5 e (T) o valor 6. Após a conversão das variáveis lingüísticas do grau de importância nos respectivos valores, calculou-se o valor relativo de cada um, usando-se, portanto, o grau de importância expresso em porcentagem, conforme equação (5.7).

$$g_j\% = g_i \cdot 100 / \sum_{i=1}^m g_i \quad (5.7)$$

em que:

- $g_j\%$: grau de importância relativo do requisito i ;
- g_i : valor atribuído à variável lingüística do grau de importância.

5.3.1 Exemplo do *Mini Moon Rover* - Fase 1

Na primeira fase, utilizaram-se as variáveis grau de importância e relacionamentos do exemplo de MASUD;DEAN (1993) e arbitrou-se a correlação entre as características, conforme ilustra a FIGURA 5.3. Os relacionamentos normalizados foram obtidos pela equação (5.4) e o peso relativo das características pela (5.6). O cálculo do peso absoluto distingue-se da equação (5.8) pela substituição do peso relativo dos requisitos pelo seu grau de importância. Adverte-se, portanto, que nesta fase ainda não foram computados os valores da avaliação competitiva externa. Os cálculos foram feitos pelo *software* MATLAB, e o memorial de cálculo está no ANEXO B.

$$\tilde{w}_j = \sum_i^m \tilde{R}_{ij}^{\text{norm}} \otimes \tilde{G}_i \quad (5.8)$$

em que:

- \tilde{w}_j : número difuso que representa o peso absoluto da característica j , para $j=1, \dots, n$;
- \tilde{G}_i : número difuso que representa a variável lingüística “grau de importância” do requisito i , para $i=1, \dots, m$;
- $\tilde{R}_{ij}^{\text{norm}}$: é o número difuso que representa o relacionamento normalizado do requisito i e da característica j ;

O QFD tradicional para esta primeira fase está representado na FIGURA 5.4.

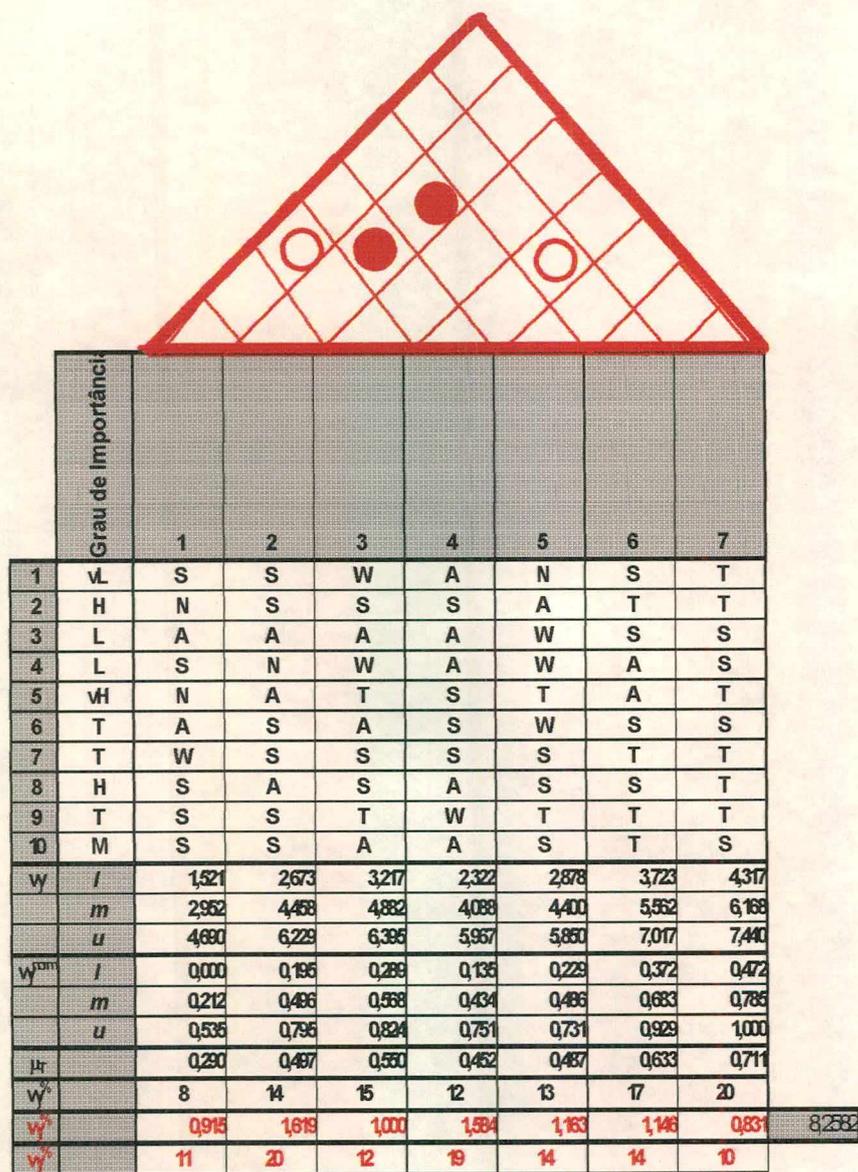
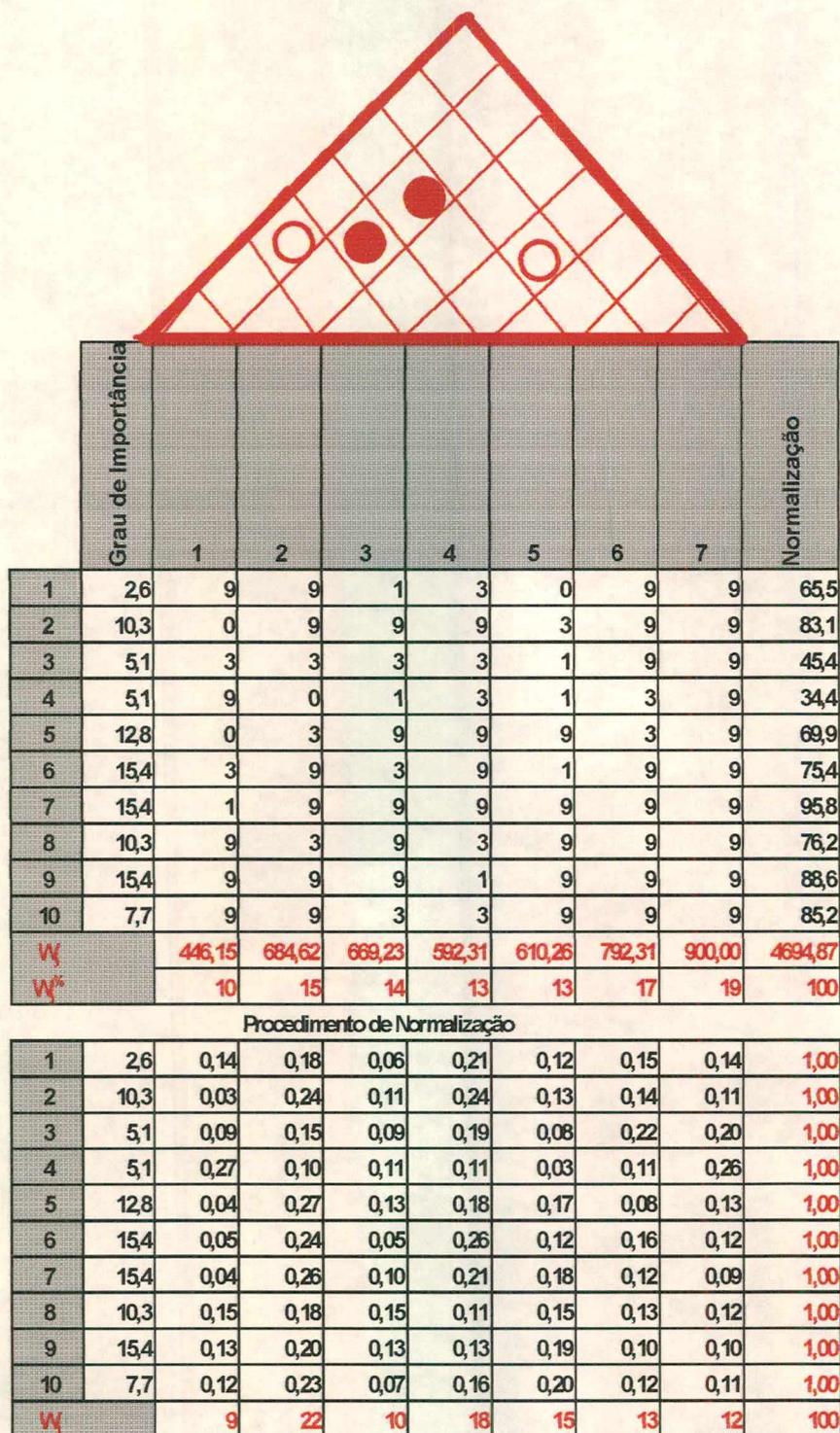


FIGURA 5.3 - Modelo 1: Exemplo do *Mini Moon Rover* - Fase 1

Fonte: Itens em vermelho - Elaborados pela autora

Itens em preto - (MASUD;DEAN;1993)

FIGURA 5.4 - QFD Tradicional: Exemplo do *Mini Moon Rover* - Fase 1

Fonte: Elaborada pela autora

A comparação preliminar dos resultados é feita com base nos obtidos na ordenação das características da qualidade no sistema tradicional e tradicional normalizado, no modelo difuso advogado por MASUD;DEAN (1993) e naquele obtido no Modelo 1, conforme ilustra a TABELA 5.1. A comparação é feita com base nas características da qualidade, uma vez que é o único item comum aos modelos.

TABELA 5.1 - Ordenação das Características da Qualidade - Fase 1

Característica da Qualidade	QFD Tradicional	Tradicional Normalizado	MASUD e DEAN	Modelo 1
1	7º	7º	7º	6º
2	3º	1º	4º	1º
3	4º	6º	3º	5º
4	5º/6º	2º	6º	2º
5	5º/6º	3º	5º	3º/4º
6	2º	4º	2º	3º/4º
7	1º	5º	1º	7º

Fonte: Elaborada pela autora

É importante enfatizar que os resultados obtidos para os procedimentos tradicional e difuso apresentam as mesmas características da qualidade em primeiro e segundo lugar, comparando-se os casos com e sem normalização. Paralelamente, nas características da qualidade em que ocorre alteração nas posições, a diferença em percentuais não ultrapassa 1%. Portanto, é possível assumir que o procedimento de normalização funciona no caso difuso similar ao não-difuso.

5.3.2 Exemplo do *Mini Moon Rover* - Fase 2

Na segunda fase, utilizou-se o Modelo 1 completo, ou seja, trabalharam-se também os dados da análise competitiva externa, cujos valores foram arbitrados pela autora. O exemplo completo está ilustrado na FIGURA 5.5. Os relacionamentos normalizados foram obtidos pela equação (5.4); e os pesos absoluto e relativo das características, pelas equações (5.5) e (5.6), respectivamente. Os cálculos foram feitos pelo *software* MATLAB, e o memorial de cálculo está no ANEXO C. O QFD tradicional para a segunda fase está representado na FIGURA 5.6.

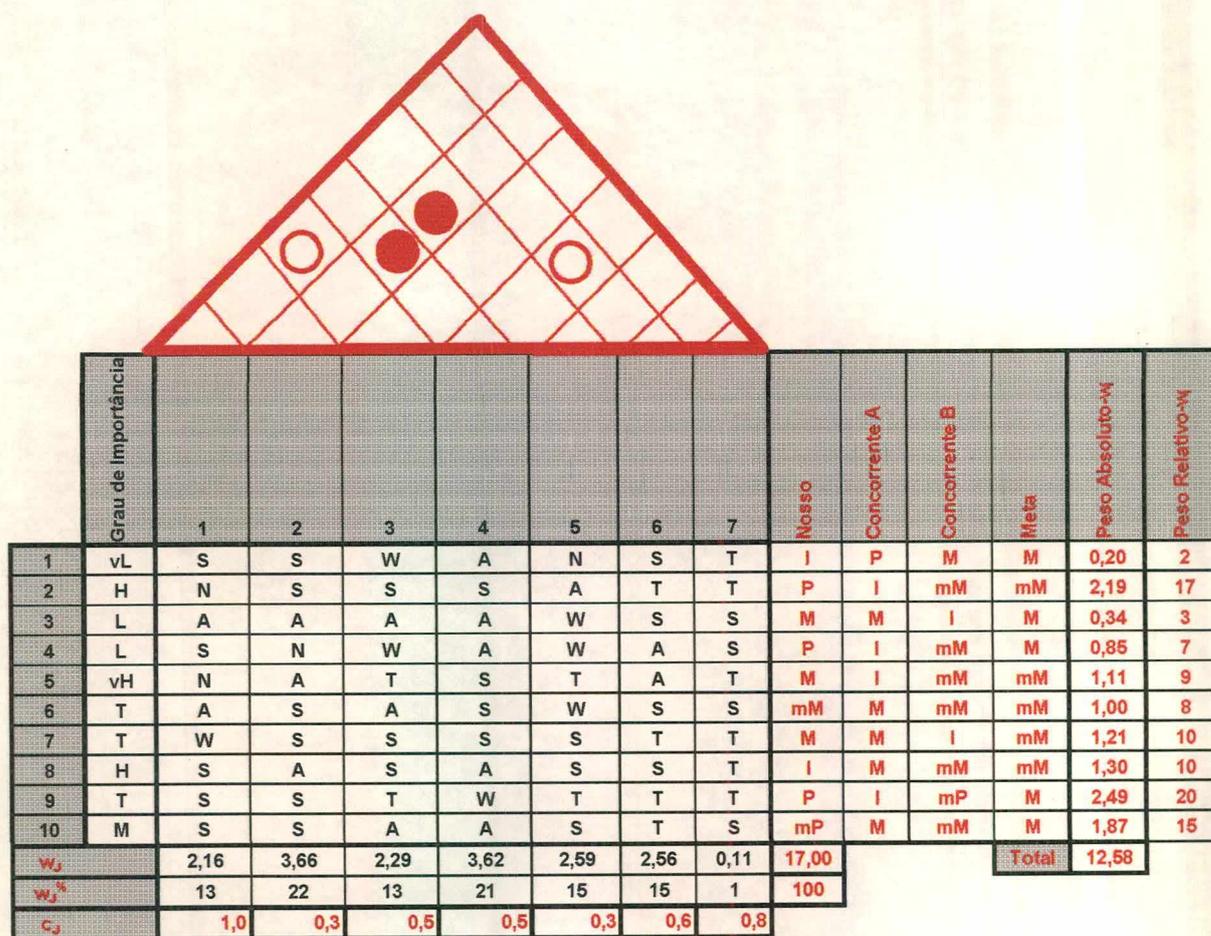


FIGURA 5.5 - Modelo 1: Exemplo do *Mini Moon Rover* - Fase 2

Fonte: Itens em vermelho - Elaborados pela autora

Itens em preto - (MASUD;DEAN;1993)

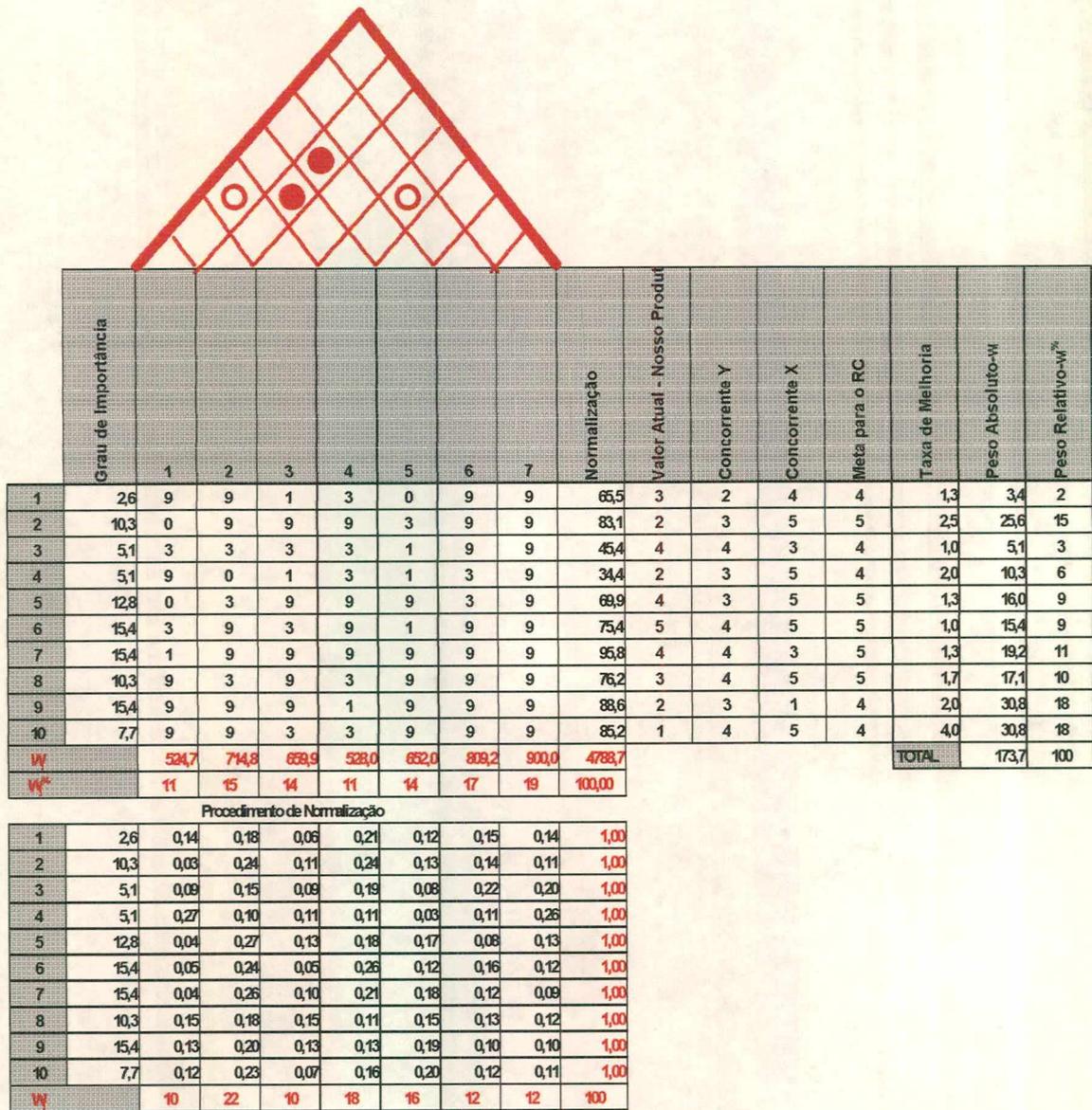


FIGURA 5.6 - QFD Tradicional: Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

Fonte: Elaborada pela autora

A comparação dos resultados da segunda fase é feita com base na ordenação das características da qualidade e dos requisitos do consumidor, cujos resultados estão nas TABELAS 5.2 e 5.3, respectivamente.

Alerta-se para o fato de que a análise da ordenação dos requisitos do consumidor, TABELA 5.3, é feita apenas levando-se em consideração o uso das variáveis difusas ou não, pois o procedimento de normalização não afeta o cálculo do peso do requisito.

TABELA 5.2 - Ordenação das Características da Qualidade - Fase 2

Característica da Qualidade	QFD Tradicional	Tradicional Normalizado	Modelo 1
1	6º/7º	6º/7º	5º/6º
2	3º	1º	1º
3	4º/5º	6º/7º	5º/6º
4	6º/7º	2º	2º
5	4º/5º	3º	3º/4º
6	2º	4º/5º	3º/4º
7	1º	4º/5º	7º

Fonte: Elaborada pela autora

Pode-se observar, na TABELA 5.2, que os resultados obtidos para o procedimento tradicional incorporando a avaliação competitiva mantém basicamente o mesmo *rank* para as características da qualidade. A inversão ocorrida após o procedimento de normalização, tanto no caso difuso como não-difuso, se mantém semelhante aos resultados obtidos na fase 1 e coerente com a inversão ocorrida nos últimos colocados da fase 2.

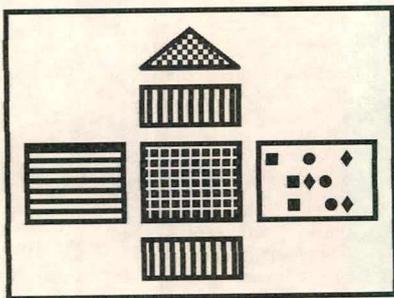
TABELA 5.3 - Ordenação dos Requisitos do Consumidor - Fase 2

Requisitos do Consumidor	QFD Tradicional Fase 1	QFD Tradicional Fase 2	Modelo 1
1	10º	10º	10º
2	5º/6º	3º	2º
3	8º/9º	9º	9º
4	8º/9º	8º	8º
5	4º	6º/7º	6º
6	1º/2º/3º	6º/7º	7º
7	1º/2º/3º	4º	4º/5º
8	5º/6º	5º	4º/5º
9	1º/2º/3º	1º/2º	1º
10	7º	1º/2º	3º

Fonte: Elaborada pela autora

Pode-se observar, na TABELA 5.3, que a substituição do grau de importância do requisito pelo peso relativo traz alteração significativa na classificação geral, uma vez que a taxa de melhoria estimada para alguns itens é bastante elevada, como por exemplo o requisito 10, que passa do 7º lugar para ocupar as primeiras colocações nos modelos que utilizam o peso. Já no Modelo 1 e tradicional - fase 2 verifica-se que os primeiros colocados se mantêm, embora ocorra uma inversão nos 2º e 3º lugares.

Importa destacar, contudo, que não é possível arbitrar qual a ordenação "correta", como já visto. No entanto, a similaridade entre os resultados obtidos pelo Modelo 1 e os modelos tradicional, tradicional normalizado e de MASUD;DEAN (1993) em cada fase indica que não houve inconsistência significativa. Pode-se verificar, portanto, que o procedimento de normalização funciona com as variáveis lingüísticas, bem como o cálculo do peso relativo dos requisitos.



CAPÍTULO 6° -
MODELO 2 - AHP E DIFUSOS

6.1 Introdução

Este capítulo apresenta o segundo enfoque adotado no tratamento do problema de QFD para aplicações em parceria com o cliente. Nesta formulação, apenas os relacionamentos entre os requisitos e as características da qualidade e a correlação entre as características são consideradas variáveis difusas. O grau de importância dos requisitos do consumidor e a avaliação competitiva externa são calculados com base no AHP- Método da Análise Hierárquica¹.

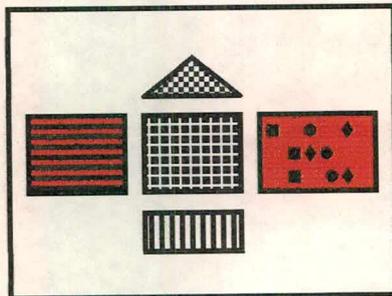
Neste modelo também se considerou uma extensão do procedimento de normalização de WASSERMAN (1993) para números difusos, como forma de tratamento das correlações entre características da qualidade, bem como o procedimento de otimização advogado por ele para a alocação dos recursos na obtenção das metas, conforme apresentado no Modelo 1.

6.2 Descrição do Modelo

Os Modelos 1 e 2 se diferenciam basicamente na fase de obtenção da voz do consumidor, conforme se detalha a seguir.

¹ Tradução para o português de AHP - *Analytic Hierarchy Process*

6.2.1 A Voz do Consumidor



No Modelo 2, o time utiliza o Método da Análise Hierárquica - AHP para obter o grau de importância relativa dos requisitos do consumidor e a avaliação competitiva externa.²

O Método da Análise Hierárquica (AHP), desenvolvido por SAATY (1980), estrutura o processo de tomada de decisão como um hierarquia de objetivos que contribuem para o objetivo global. O método identifica as preferências através da comparação dos atributos par-a-par³. A hierarquia adotada para a aplicação do método no QFD está descrita na FIGURA 6.1. Esta hierarquia é composta de três níveis⁴: no topo da hierarquia tem-se a satisfação do consumidor, seguida dos requisitos do consumidor e dos produtos concorrentes.

² LU;MADU;KUEI;WINOKUR (1994) apresentam uma aplicação de QFD, adotando o Método da Análise Hierárquica para o cálculo do grau de importância do requisito do consumidor, o qual não inclui a avaliação comparativa.

³ Este método utiliza uma escala de 1 a 9, para medir as importâncias relativas entre os atributos, tal que 1 significa que os atributos têm igual importância e 9 que um atributo é "absolutamente" mais importante do que o outro. O AHP possui prós e contras, e o debate em torno deste método pode ser aprofundado em (DYER;1990a;1990b) e (SAATY;1990).

⁴ Podem existir mais níveis hierárquicos, caso os requisitos sejam classificados em primários secundários e terciários.

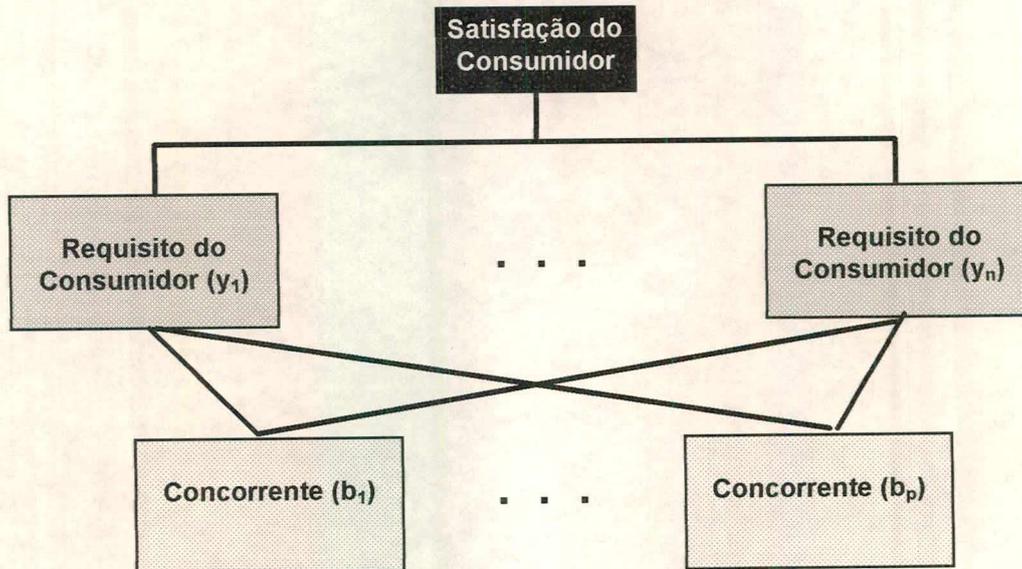


FIGURA 6.1 - Hierarquia da Aplicação

Fonte: Elaborada pela autora

Para obter o grau de importância dos requisitos do consumidor e proceder à avaliação comparativa externa, ou seja, adquirir os respectivos vetores de prioridades, é conduzido o processo de comparação par-a-par, conforme ilustrado na FIGURA 6.2. O primeiro passo é construir a matriz de comparação entre os requisitos do consumidor, a qual é quadrada e recíproca, para posteriormente comparar cada competidor sob o prisma de um mesmo requisito, mantendo, portanto, a forma de trabalho do QFD tradicional.

Comparação entre os Requisitos do Consumidor (y_i)

	y_1	y_2	...	y_m
y_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
y_2	a_{21}	a_{22}	...	
.
.
.
y_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mm}

Comparação entre os Competidores (b_i)

Requisito do Consumidor (y_1)

	b_1	b_2	...	b_p
b_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1p}
b_2	a_{21}	a_{22}	...	
.
.
.
b_p	a_{p1}	a_{p2}	...	a_{pp}

Requisito do Consumidor (y_m)

	b_1	b_2	...	b_p
b_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1p}
b_2	a_{21}	a_{22}	...	
.
.
.
b_p	a_{p1}	a_{p2}	...	a_{pp}

FIGURA 6.2 - Matrizes de Comparação

Fonte: Elaborada pela autora

⁵ A matriz composta pelos elementos a_{ij} tem entradas positivas e satisfaz a propriedade de reciprocidade, ou seja, $a_{pi} = 1/a_{ip}$ e $a_{ii} = 1$ sempre.

O grau de importância dos requisitos do consumidor e a avaliação competitiva dos concorrentes são obtidos pela técnica da AHP, ou seja, é o próprio vetor de prioridades⁶. A análise da consistência é feita com base na razão da consistência R.C.⁷

O peso absoluto dos requisitos do consumidor é o grau de importância estabelecido pela comparação entre os requisitos do consumidor. Alerta-se para o fato de que a taxa de melhoria⁸ não é utilizada na composição do peso do requisito⁹. A avaliação da melhoria é feita *a posteriori*, repetindo a comparação dos competidores, considerando-se que as metas técnicas estabelecidas para as características da qualidade em que os recursos foram alocados serão atingidas. Resumindo, haverá uma comparação no instante inicial do desenvolvimento, (t_0), e no instante final (t).

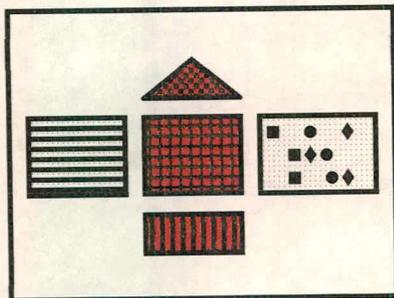
⁶ Para maiores detalhes do cálculo dos pesos, ver (SAATY;1990)

⁷ Para calcular a R.C., utiliza-se o autovalor (λ), o índice de consistência e o índice randômico tabelado em função da ordem da matriz de comparação.

⁸ A taxa de melhoria não teria significado neste caso, uma vez que o valor obtido pela AHP na comparação dos competidores é uma ordenação dos competidores para um determinado requisito, ou seja, representa a dominância e não uma avaliação numa escala predeterminada, para a qual se possa estabelecer meta de melhoria.

⁹ O conceito de ponto de vendas, tal como visto no capítulo anterior, não se aplica ao foco de estudo do presente trabalho.

6.2.2 As Características da Qualidade e Metas Quantitativas



O Modelo 2 também apresenta os relacionamentos- r_{ij} e as correlações- γ_{jk} como variáveis lingüísticas, e utiliza os procedimentos de normalização e otimização de WASSERMAN, conforme apresentado no Capítulo 5º - Modelo 1. A única adaptação a ser feita é a substituição do peso relativo dos requisitos do consumidor pelo vetor de prioridades, calculado pela AHP, no procedimento de cálculo do peso das características da qualidade, conforme descrito pela equação (6.1) e (6.2).

$$w_j = \sum_i^m R_{ij}^{norm} \cdot g_i \quad (6.1)$$

em que:

- w_j : peso absoluto da característica j , para $j=1, \dots, n$;
- g_i : grau de importância do requisito i , obtido pela técnica da AHP, para $i = 1, \dots, m$;
- R_{ij}^{norm} : número *crisp*, obtido pelo método da centroide, equivalente ao número difuso \tilde{R}_{ij}^{norm} que representa o relacionamento normalizado do requisito i e da característica j ;

$$w_j^{\%} = w_j \cdot 100 / \sum_{j=1}^n w_j \quad (6.2)$$

em que:

- $w_j^{\%}$: peso relativo da característica j ;

6.3 Exemplo Ilustrativo

Utilizar-se-á o mesmo exemplo apresentado no capítulo anterior como base para demonstrar o Modelo . Observe-se que este procedimento se presta apenas à exemplificação e comparação dos modelos. Para tal, foram feitas algumas adaptações para a aplicação do método da AHP. A matriz de comparação dos requisitos do consumidor foi construída procurando-se estabelecer uma conversão das variáveis lingüísticas adotadas no exemplo do *mini moon rover* para a técnica da AHP. Raciocínio semelhante foi adotado para a montagem das matrizes de comparação entre concorrentes. A matriz de comparação dos requisitos do consumidor para obtenção do grau de importância está ilustrada na FIGURA 6.3. As matrizes de comparação dos concorrentes podem ser vistas na FIGURA 6.4.

É possível notar, na TABELA 6.1, que a ordenação dos requisitos é exatamente a mesma obtida pelo QFD tradicional apresentada no capítulo anterior. Isto se deve ao fato de não se considerar neste modelo a taxa de melhoria para o cálculo do peso absoluto.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Vetor Prioridade
1	1	(6)	(2)	(2)	(7)	(8)	(8)	(6)	(8)	(4)	0,020
2		1	5	5	(2)	(3)	(3)	1	(3)	3	0,087
3			1	1	(6)	(7)	(7)	(5)	(7)	(3)	0,024
4				1	(6)	(7)	(7)	(5)	(7)	(3)	0,024
5					1	(2)	(2)	2	(2)	4	0,128
6						1	1	(3)	1	5	0,196
7							1	3	1	5	0,196
8								1	(3)	3	0,087
9									1	5	0,196
10										1	0,046

(λ)=10,379, ;I.C.= 0,042; R.C.=0,028

FIGURA 6.3 - Grau de importância dos Requisitos do Consumidor

Fonte: Elaborada pela autora¹⁰

TABELA 6.1 - Ordenação dos Requisitos do Consumidor

Requisitos do Consumidor	QFD Tradicional Fase 1	QFD Tradicional Fase 2	Modelo 1	Modelo 2
1	10°	10°	10°	10°
2	5°/6°	3°	2°	5°/6°
3	8°/9°	9°	9°	8°/9°
4	8°/9°	8°	8°	8°/9°
5	4°	6°/7°	6°	4°
6	1°/2°/3°	6°/7°	7°	1°/2°/3°
7	1°/2°/3°	4°	4°/5°	1°/2°/3°
8	5°/6°	5°	4°/5°	5°/6°
9	1°/2°/3°	1°/2°	1°	1°/2°/3°
10	7°	1°/2°	3°	7°

Fonte: Elaborada pela autora

¹⁰Valores da razão de consistência R.C. \leq 0,10 são considerados aceitáveis.

Requisito do Consumidor (y_1)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	3	(3)	0,260
A		1	(5)	0,106
B			1	0,633

Requisito do Consumidor (y_2)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	(3)	(7)	0,083
A		1	(5)	0,193
B			1	0,724

Requisito do Consumidor (y_3)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	1	3	0,429
A		1	3	0,429
B			1	0,143

Requisito do Consumidor (y_4)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	(3)	(7)	0,083
A		1	(5)	0,193
B			1	0,724

Requisito do Consumidor (y_5)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	3	(3)	0,260
A		1	(5)	0,106
B			1	0,633

Requisito do Consumidor (y_6)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	3	1	0,429
A		1	(3)	0,143
B			1	0,429

Requisito do Consumidor (y_7)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	1	3	0,429
A		1	3	0,429
B			1	0,143

Requisito do Consumidor (y_8)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	(3)	(5)	0,106
A		1	(3)	0,260
B			1	0,633

Requisito do Consumidor (y_9)

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	(3)	3	0,260
A		1	5	0,633
B			1	0,106

Requisito do Consumidor (y_{10})

	Nosso	A	B	Vetor
Nosso	1	(7)	(9)	0,057
A		1	(3)	0,295
B			1	0,649

FIGURA 6.4 - Avaliação Competitiva Externa Inicial

Fonte: Elaborada pela autora¹¹

¹¹ O cálculo de λ , I.C. e R.C. estão no ANEXO D.

As matrizes de comparação dos requisitos do consumidor para a avaliação competitiva externa estão ilustradas na FIGURA 6.4. Pode-se observar, na aplicação do método da AHP para a avaliação competitiva externa inicial, que o concorrente B é aquele que melhor satisfaz as necessidades do consumidor, seguido do concorrente A; e, em último lugar, o “nosso” produto, conforme vetor de prioridades [0,29 0,32 0,40].

A FIGURA 6.5 apresenta a Casa da Qualidade completa para a aplicação do Modelo 2.¹² Os relacionamentos normalizados foram obtidos pela equação (5.4), Capítulo 5º; e os pesos absoluto e relativo das características, pelas equações (6.1) e (6.2), respectivamente. Os cálculos foram feitos pelos *softwares* MATLAB e EXCELL, e a memória de cálculo está no ANEXO D.

¹² Note-se que a Matriz de Relacionamentos Normalizada é a mesma do exemplo 5.3.

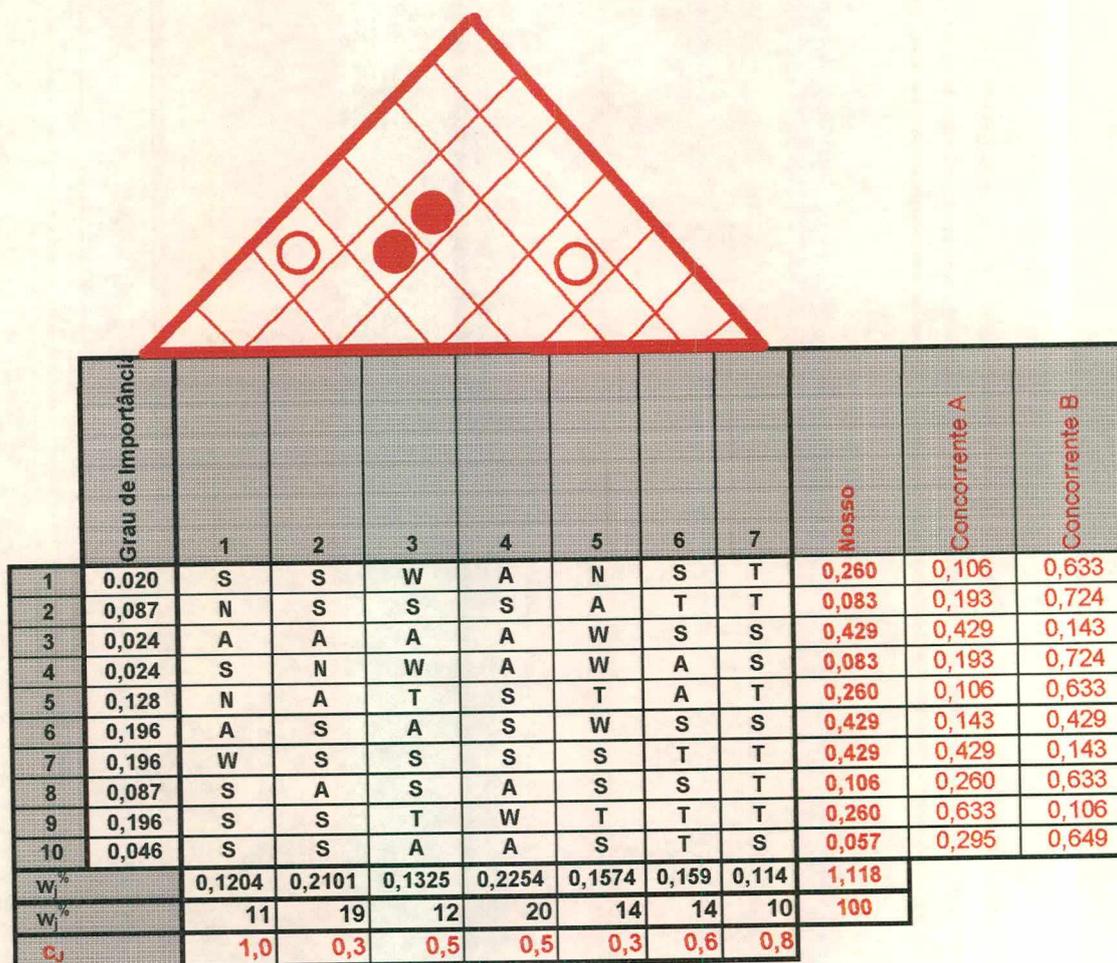


FIGURA 6.5 - Exemplo do *Mini Moon Rover* - Modelo 2

Fonte: Elaborada pela autora

A comparação feita com base na ordenação das características da qualidade está representada na TABELA 6.2.

TABELA 6.2 - Ordenação das Características da Qualidade

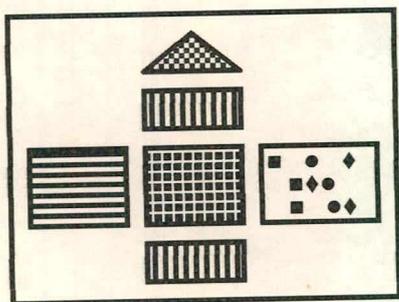
Característica da Qualidade	Tradicional Normalizado	Modelo 1	Modelo 2
1	6º/7º	5º/6º	6º
2	1º	1º	2º
3	6º/7º	5º/6º	5º
4	2º	2º	1º
5	3º	3º/4º	3º/4º
6	4º/5º	3º/4º	3º/4º
7	4º/5º	7º	7º

Fonte: Elaborada pela autora

Pode-se observar na TABELA 6.2 que os resultados obtidos para o Modelo 2 são compatíveis com aqueles adquiridos pelo procedimento tradicional normalizado.

Conforme comentado no capítulo anterior, não é possível arbitrar qual a ordenação “correta”. Contudo, os modelos apresentados até o momento parecem convergir para a mesma ordenação, dependendo das variáveis consideradas nos modelos. É importante ressaltar que o modelo chamado de tradicional normalizado também foi elaborado pela autora com base na incorporação do procedimento de normalização ao modelo mais abrangente de Casa da Qualidade.¹³

¹³ Ver Capítulo 2º.



**CAPÍTULO 7º -
CONCLUSÕES E
RECOMENDAÇÕES**

7.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se as conclusões da tese e recomendações para trabalhos futuros.

7.2 Conclusões

Na primeira parte da tese fez-se o levantamento do “estado da arte” em QFD, no qual foram identificadas quatro abordagens associando modelos de tomada de decisão ao QFD. Na avaliação comparativa preliminar dos quatro modelos, feita no Capítulo 4º, foi possível concluir que nenhum deles é normativo e a aplicabilidade deve ser analisada levando-se em consideração o tipo de desenvolvimento de produto desejado.

A avaliação dos dois modelos propostos nos Capítulos 5º e 6º aos demais modelos apresentados, efetuou-se com base nos objetivos estabelecidos para a tese. Este procedimento foi adotado porque os modelos propostos também não são normativos e se aplicam a desenvolvimento de produtos em parceria com o cliente, por conseguinte, a classificação obtida reflete a aderência dos modelos aos objetivos propostos.

Adotou-se três critérios comparativos que traduzem os objetivos desta tese, quais sejam: (a) abrangência; (b) variáveis lingüísticas; e (c) fronteira de atuação do time.

O critério “abrangência” diz respeito ao número de campos da matriz utilizados no modelo e agrega os seguintes aspectos:

1. ordenar os requisitos do consumidor, trabalhando as informações de *benchmarking* externo;
2. ordenar as características da qualidade e selecionar aquelas que irão para o desdobramento, levando em consideração o fator custo e eventualmente outros, como dificuldade técnica e facilidade de implementação, bem como a dependência entre características da qualidade;
3. estabelecer as metas quantitativas das características da qualidade, trabalhando as informações de *benchmarking* interno.

Especial importância é conferida ao critério relativo ao tratamento das variáveis lingüísticas, pois esta foi a motivação inicial para o desenvolvimento deste trabalho. Acredita-se que o tratamento das variáveis lingüísticas como números reais não capta o verdadeiro significado do julgamento expresso pelo time. A possibilidade de discussão das escalas para as variáveis lingüísticas, permite ao time estabelecer um “acordo semântico”, que torna homogênea a linguagem do time. A comparação dos modelos é feita com base no número de variáveis de entrada tratadas com lingüística ou numéricas.

A estes, acrescentou-se mais um critério, que se julgou relevante para o problema de tomada de decisão em projetos, que é a fronteira de tomada de decisão do time. Acredita-se que o time seja a célula vital do desenvolvimento do projeto; portanto, o modelo não deve restringir o seu campo de decisão, nem inibir sua dinâmica de trabalho. Para comparar os modelos fez-se a contagem do número de campos da matriz em que o time arbitra.

Para estabelecer comparação entre os modelos estudados, aplicar-se-á o método AHP para os critérios apresentados acima. Espera-se que esta análise evidencie alguma dominância dos modelos propostos em relação aos disponíveis na literatura técnica, no que concerne aos critérios - abrangência, variáveis lingüísticas e fronteira de atuação do time. A hierarquia desta análise está descrita na FIGURA 7.1; e a memória dos cálculos, no ANEXO E.

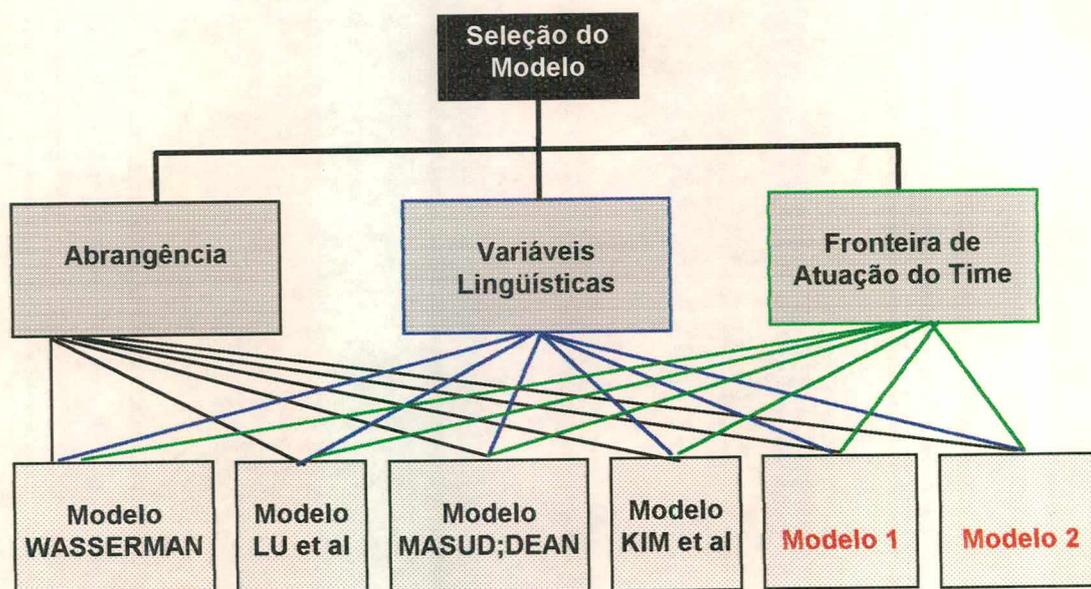


FIGURA 7.1 - Hierarquia dos Modelos

Fonte: Elaborada pela autora

A avaliação comparativa estabeleceu pesos iguais para os três critérios escolhidos¹.

A TABELA 7.1 apresenta a síntese dos resultados obtidos.

¹ Pela técnica da AHP, os pesos iguais têm RC e IC=0.

TABELA 7.1 - Comparação dos Modelos

Modelo	Classificação do Modelo	Vetor de Prioridade
WASSERMAN	5º	0,10
LU et al	6º	0,05
MASUD;DEAN	4º	0,11
KIM et al	3º	0,14
Modelo 1	1º	0,40
Modelo 2	2º	0,20

Fonte: Elaborada pela autora

Pode-se observar, na TABELA 7.1, que o Modelo 1 atinge os objetivos estabelecidos para a tese, no que concerne à abrangência, tratamento das variáveis lingüísticas e fronteira do time. Para estes critérios, o modelo apresenta significativa dominância.

O Modelo 2 mostra algumas deficiências, uma vez que trabalha apenas a dominância entre os concorrentes no tópico de análise competitiva externa, excluindo as metas para os requisitos e, conseqüentemente, a taxa de melhoria. Está sendo estudada a possibilidade de adequar a Matriz de *Benchmarking* Externo àquela apresentada no Modelo 1, utilizando-se a AHP para estabelecer o cenário inicial e final da concorrência, ou seja, a dominância entre os concorrentes antes do desenvolvimento do projeto e após a obtenção das metas.

Destaca-se novamente que esta dominância reflete que os objetivos da tese foram atingidos, contudo, dentro do foco de aplicação determinado e para os pressupostos adotados. Uma avaliação comparativa destes seis modelos com base em critérios diferentes daqueles adotados poderia chegar a classificações dispares.

7.3 Contribuição Original

Como contribuição original desta tese, destacam-se os seguintes pontos:

- procedimento difuso para a normalização da Matriz de Relacionamentos;
- tratamento da Matriz de *Benchmarking* Externo com números difusos;
- ampliação do modelo tradicional para incorporar dependência entre características;
- aplicação do modelo de AHP para a Matriz de *Benchmarking* Externo.

7.4 Recomendações

Existem muitos pontos a ser validados em aplicações práticas. Neste sentido, está sendo aplicado o Modelo 1 em projeto de P&D para desenvolvimento de aço elétrico, o que possibilitará um avanço em algumas questões relativas à facilidade de utilização deste modelo pelo time, principalmente no que concerne ao desenvolvimento dos valores e das escalas para as variáveis lingüísticas.

Outro aspecto a ser investigado está relacionado ao emprego de diferentes números difusos. Neste trabalho, fez-se a investigação usando-se o número difuso triangular. No estudo acima, está-se tentando utilizar os números difuso triangular e tipo L-R². A escolha deste tipo de número difuso está associada à velocidade de cálculo das operações imprimidas por sua formulação simplificada³.

² O número difuso do Tipo L - R, que significa *Left - Right*

³ Ver (DUBOIS;PRADE;1980)

Investigações utilizando quantificadores lingüísticos para desenvolvimento dos valores e escalas, com o auxílio de operadores, como OWA⁴ proposto por YAGER (1988), também devem ser realizadas.

Para a adoção dos modelos pelos times de desenvolvimento, devem-se atingir basicamente dois pré-requisitos, a compreensão do conceito de variável lingüística e um *software* que execute operações com números difusos. Neste trabalho, utilizou-se o *software MATLAB*, que, embora não seja muito amigável, não representa restrição ao uso do modelo. A adoção do número difuso do tipo L-R pode viabilizar a aplicação dos modelos utilizando-se apenas planilhas, como *EXCEL*, por exemplo.

No Modelo 2, seria interessante investigar a aplicabilidade do modelo multi-atributo difuso advogado por YAGER (1978), que utiliza o AHP para a geração do vetor de prioridades, (ZIMMEMANN,1994) apud (YAGER,1978).

Outro ponto importante diz respeito à possibilidade de aplicação de várias ferramentas ao QFD. A investigação da possibilidade de utilização de ferramentas estatísticas para a quantificação de preferências, na obtenção da voz do consumidor em aplicações destinadas ao consumidor final, permitiria também avançar no sentido de impor maior robustez ao QFD. Existem também alguns trabalhos em curso, estudando a aplicabilidade de ferramentas do campo da tomada de decisão e da inteligência artificial ao QFD, tais como análise de utilidade multiatributo⁵ e Redes Neurais⁶.

⁴ OWA - *Ordered Weighed Aggregation*, (YAGER,1988), (YAGER,1992).

⁵ Ver (LOCASCIO; THURSTON;1993)

⁶ Ver (ZHANG;BODE;REN;1996)

ANEXO A - ESCALA DAS VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS

Escala dos Relacionamentos

Valor	None (N)	Weak (W)	Average (A)	Strong (S)	Total (T)
l	0,0000	0,0500	0,3000	0,6000	0,9000
m	0,0000	0,2000	0,5000	0,8000	1,0000
u	0,1000	0,4000	0,7000	0,9500	1,0000

Escala do Grau de Importância

Valor	None (N)	Very Low (VL)	Low (L)	Medium (M)	High (H)	Very High (vH)	Total (T)
l	0,000	0,030	0,100	0,300	0,550	0,800	0,950
m	0,000	0,100	0,280	0,500	0,760	0,900	1,000
u	0,005	0,200	0,450	0,700	0,900	0,970	1,000

Escala das Correlações

Valor	Média	Forte
l	0,4	0,6
m	0,6	0,8
u	0,8	1,0

Escala da Avaliação Competitiva Externa

Valor	Muito Pior(mP)	Pior (P)	Igual (I)	Melhor (M)	Muito Melhor(mM)
l	1	1	2	3	4
m	1	2	3	4	5
u	2	3	4	5	5

ANEXO B -
MEMORIAL DE CÁLCULO: MODELO 1 - FASE 1

- **MATLAB - pp 125-131;**
- **EXCEL - pp 132.**

Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1

```

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Rij)

N11=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R11=fuzarith(x,N11,D1,'div');
N21=trimf(x,[0.24 0.48 0.86]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R21=fuzarith(x,N21,D2,'div');
N31=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R31=fuzarith(x,N31,D3,'div');
N41=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R41=fuzarith(x,N41,D4,'div');
N51=trimf(x,[0.36 0.6 0.9]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R51=fuzarith(x,N51,D5,'div');
N61=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R61=fuzarith(x,N61,D6,'div');
N71=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R71=fuzarith(x,N71,D7,'div');
N81=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R81=fuzarith(x,N81,D8,'div');
N91=trimf(x,[0.96 1.4 1.75]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R91=fuzarith(x,N91,D9,'div');
N101=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R101=fuzarith(x,N101,D10,'div');

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 1 - W1

G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);P11=fuzarith(x,G1,R11,'prod');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P21=fuzarith(x,G2,R21,'prod');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P31=fuzarith(x,G3,R31,'prod');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P41=fuzarith(x,G4,R41,'prod');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);P51=fuzarith(x,G5,R51,'prod');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);P61=fuzarith(x,G6,R61,'prod');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);P71=fuzarith(x,G7,R71,'prod');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P81=fuzarith(x,G8,R81,'prod');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);P91=fuzarith(x,G9,R91,'prod');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);P101=fuzarith(x,G10,R101,'prod');
S1=fuzarith(x,P11,P21,'sum');S2=fuzarith(x,P31,P41,'sum');
S3=fuzarith(x,P51,P61,'sum');S4=fuzarith(x,P71,P81,'sum');
S5=fuzarith(x,P91,P101,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W1=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W1,'centroid')

ans =

    0.9151

»

```

```
%
```

Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Rij)
```

```
N12=trimf(x,[0.78 1.2 1.75]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R12=fuzarith(x,N12,D1,'div');
N22=trimf(x,[1.14 1.84 2.6]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R22=fuzarith(x,N22,D2,'div');
N32=trimf(x,[0.51 1.06 1.8]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R32=fuzarith(x,N32,D3,'div');
N42=trimf(x,[0.21 0.56 1.2]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R42=fuzarith(x,N42,D4,'div');
N52=trimf(x,[1.2 1.94 2.65]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R52=fuzarith(x,N52,D5,'div');
N62=trimf(x,[0.99 1.6 2.3]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R62=fuzarith(x,N62,D6,'div');
N72=trimf(x,[1.32 2.08 2.85]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R72=fuzarith(x,N72,D7,'div');
N82=trimf(x,[0.84 1.54 2.35]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R82=fuzarith(x,N82,D8,'div');
N92=trimf(x,[1.17 1.76 2.35]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R92=fuzarith(x,N92,D9,'div');
N102=trimf(x,[1.14 1.84 2.6]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R102=fuzarith(x,N102,D10,'div');
```

```
% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 2 - W2
```

```
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);P12=fuzarith(x,G1,R12,'prod');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P22=fuzarith(x,G2,R22,'prod');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P32=fuzarith(x,G3,R32,'prod');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P42=fuzarith(x,G4,R42,'prod');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);P52=fuzarith(x,G5,R52,'prod');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);P62=fuzarith(x,G6,R62,'prod');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);P72=fuzarith(x,G7,R72,'prod');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P82=fuzarith(x,G8,R82,'prod');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);P92=fuzarith(x,G9,R92,'prod');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);P102=fuzarith(x,G10,R102,'prod');
S1=fuzarith(x,P12,P22,'sum');S2=fuzarith(x,P32,P42,'sum');
S3=fuzarith(x,P52,P62,'sum');S4=fuzarith(x,P72,P82,'sum');
S5=fuzarith(x,P92,P102,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W2=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W2,'centroid');
```

```
ans =
```

```
1.6187
```

```
»
```

```

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);

% Matriz de Relcionamentos Normalizada (Elementos Rij)

N13=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R13=fuzarith(x,N13,D1,'div');
N23=trimf(x,[0.6 0.8 1.03]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R23=fuzarith(x,N23,D2,'div');
N33=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R33=fuzarith(x,N33,D3,'div');
N43=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R43=fuzarith(x,N43,D4,'div');
N53=trimf(x,[0.9 1 1.08]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R53=fuzarith(x,N53,D5,'div');
N63=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R63=fuzarith(x,N63,D6,'div');
N73=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R73=fuzarith(x,N73,D7,'div');
N83=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R83=fuzarith(x,N83,D8,'div');
N93=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R93=fuzarith(x,N93,D9,'div');
N103=trimf(x,[0.54 0.98 1.46]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R103=fuzarith(x,N103,D10,'div');

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 1 - W3

G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);P13=fuzarith(x,G1,R13,'prod');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P23=fuzarith(x,G2,R23,'prod');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P33=fuzarith(x,G3,R33,'prod');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P43=fuzarith(x,G4,R43,'prod');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);P53=fuzarith(x,G5,R53,'prod');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);P63=fuzarith(x,G6,R63,'prod');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);P73=fuzarith(x,G7,R73,'prod');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P83=fuzarith(x,G8,R83,'prod');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);P93=fuzarith(x,G9,R93,'prod');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);P103=fuzarith(x,G10,R103,'prod');
S1=fuzarith(x,P13,P23,'sum');S2=fuzarith(x,P33,P43,'sum');
S3=fuzarith(x,P53,P63,'sum');S4=fuzarith(x,P73,P83,'sum');
S5=fuzarith(x,P93,P103,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W3=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W3,'centroid')

ans =

    0.9998

»

```

```

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Rij)

N14=trimf(x,[0.9 1.62 2.41]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R14=fuzarith(x,N14,D1,'div');
N24=trimf(x,[1.32 2.04 2.7]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R24=fuzarith(x,N24,D2,'div');
N34=trimf(x,[0.72 1.38 2.16]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R34=fuzarith(x,N34,D3,'div');
N44=trimf(x,[0.42 0.8 1.36]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R44=fuzarith(x,N44,D4,'div');
N54=trimf(x,[0.9 1.5 2.21]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R54=fuzarith(x,N54,D5,'div');
N64=trimf(x,[1.2 1.92 2.66]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R64=fuzarith(x,N64,D6,'div');
N74=trimf(x,[1.32 2.04 2.7]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R74=fuzarith(x,N74,D7,'div');
N84=trimf(x,[0.72 1.38 2.16]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R84=fuzarith(x,N84,D8,'div');
N94=trimf(x,[0.77 1.44 2.15]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R94=fuzarith(x,N94,D9,'div');
N104=trimf(x,[1.02 1.74 2.45]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R104=fuzarith(x,N104,D10,'div');

% Peso Absoluto da Caracteristica da Qualidade 4 - W4

G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);P14=fuzarith(x,G1,R14,'prod');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P24=fuzarith(x,G2,R24,'prod');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P34=fuzarith(x,G3,R34,'prod');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P44=fuzarith(x,G4,R44,'prod');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);P54=fuzarith(x,G5,R54,'prod');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);P64=fuzarith(x,G6,R64,'prod');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);P74=fuzarith(x,G7,R74,'prod');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P84=fuzarith(x,G8,R84,'prod');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);P94=fuzarith(x,G9,R94,'prod');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);P104=fuzarith(x,G10,R104,'prod');
S1=fuzarith(x,P14,P24,'sum');S2=fuzarith(x,P34,P44,'sum');
S3=fuzarith(x,P54,P64,'sum');S4=fuzarith(x,P74,P84,'sum');
S5=fuzarith(x,P94,P104,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W4=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W4,'centroid')

ans =

1.5844

»

```

```

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Rij)

N15=trimf(x,[0.36 0.64 1.05]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R15=fuzarith(x,N15,D1,'div');
N25=trimf(x,[0.66 1.14 1.65]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R25=fuzarith(x,N25,D2,'div');
N35=trimf(x,[0.23 0.6 1.1]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R35=fuzarith(x,N35,D3,'div');
N45=trimf(x,[0.05 0.2 0.5]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R45=fuzarith(x,N45,D4,'div');
N55=trimf(x,[1.08 1.4 1.7]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R55=fuzarith(x,N55,D5,'div');
N65=trimf(x,[0.41 0.84 1.35]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R65=fuzarith(x,N65,D6,'div');
N75=trimf(x,[0.96 1.44 1.9]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R75=fuzarith(x,N75,D7,'div');
N85=trimf(x,[0.78 1.2 1.65]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R85=fuzarith(x,N85,D8,'div');
N95=trimf(x,[1.26 1.64 1.95]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R95=fuzarith(x,N95,D9,'div');
N105=trimf(x,[0.96 1.44 1.9]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R105=fuzarith(x,N105,D10,'div');

% Peso Absoluto da Caracteristica da Qualidade 5 - W5

G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);P15=fuzarith(x,G1,R15,'prod');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P25=fuzarith(x,G2,R25,'prod');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P35=fuzarith(x,G3,R35,'prod');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P45=fuzarith(x,G4,R45,'prod');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);P55=fuzarith(x,G5,R55,'prod');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);P65=fuzarith(x,G6,R65,'prod');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);P75=fuzarith(x,G7,R75,'prod');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P85=fuzarith(x,G8,R85,'prod');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);P95=fuzarith(x,G9,R95,'prod');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);P105=fuzarith(x,G10,R105,'prod');
S1=fuzarith(x,P15,P25,'sum');S2=fuzarith(x,P35,P45,'sum');
S3=fuzarith(x,P55,P65,'sum');S4=fuzarith(x,P75,P85,'sum');
S5=fuzarith(x,P95,P105,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W5=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W5,'centroid')

ans =

1.1631

»

```

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Rij)

```
N16=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R16=fuzarith(x,N16,D1,'div');  
N26=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R26=fuzarith(x,N26,D2,'div');  
N36=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R36=fuzarith(x,N36,D3,'div');  
N46=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R46=fuzarith(x,N46,D4,'div');  
N56=trimf(x,[0.54 0.98 1.46]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R56=fuzarith(x,N56,D5,'div');  
N66=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R66=fuzarith(x,N66,D6,'div');  
N76=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R76=fuzarith(x,N76,D7,'div');  
N86=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R86=fuzarith(x,N86,D8,'div');  
N96=trimf(x,[0.92 1.12 1.32]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R96=fuzarith(x,N96,D9,'div');  
N106=trimf(x,[1.02 1.3 1.56]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R106=fuzarith(x,N106,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 6 - W6

```
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);P16=fuzarith(x,G1,R16,'prod');  
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P26=fuzarith(x,G2,R26,'prod');  
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P36=fuzarith(x,G3,R36,'prod');  
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P46=fuzarith(x,G4,R46,'prod');  
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);P56=fuzarith(x,G5,R56,'prod');  
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);P66=fuzarith(x,G6,R66,'prod');  
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);P76=fuzarith(x,G7,R76,'prod');  
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P86=fuzarith(x,G8,R86,'prod');  
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);P96=fuzarith(x,G9,R96,'prod');  
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);P106=fuzarith(x,G10,R106,'prod');  
S1=fuzarith(x,P16,P26,'sum');S2=fuzarith(x,P36,P46,'sum');  
S3=fuzarith(x,P56,P66,'sum');S4=fuzarith(x,P76,P86,'sum');  
S5=fuzarith(x,P96,P106,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');  
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');  
W6=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W6,'centroid')
```

ans =

1.1459

»

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 1

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

% Matriz de Relacionmentos Normalizada (Elementos Rij)

```
N17=trimf(x,[0.9 1 1]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R17=fuzarith(x,N17,D1,'div');
N27=trimf(x,[0.9 1 1]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R27=fuzarith(x,N27,D2,'div');
N37=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R37=fuzarith(x,N37,D3,'div');
N47=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R47=fuzarith(x,N47,D4,'div');
N57=trimf(x,[0.9 1 1]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R57=fuzarith(x,N57,D5,'div');
N67=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R67=fuzarith(x,N67,D6,'div');
N77=trimf(x,[0.9 1 1]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R77=fuzarith(x,N77,D7,'div');
N87=trimf(x,[0.9 1 1]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R87=fuzarith(x,N87,D8,'div');
N97=trimf(x,[0.9 1 1]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R97=fuzarith(x,N97,D9,'div');
N107=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R107=fuzarith(x,N107,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 7 - W7

```
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);P17=fuzarith(x,G1,R17,'prod');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P27=fuzarith(x,G2,R27,'prod');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P37=fuzarith(x,G3,R37,'prod');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);P47=fuzarith(x,G4,R47,'prod');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);P57=fuzarith(x,G5,R57,'prod');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);P67=fuzarith(x,G6,R67,'prod');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);P77=fuzarith(x,G7,R77,'prod');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);P87=fuzarith(x,G8,R87,'prod');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);P97=fuzarith(x,G9,R97,'prod');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);P107=fuzarith(x,G10,R107,'prod');
S1=fuzarith(x,P17,P27,'sum');S2=fuzarith(x,P37,P47,'sum');
S3=fuzarith(x,P57,P67,'sum');S4=fuzarith(x,P77,P87,'sum');
S5=fuzarith(x,P97,P107,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W7=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W7,'centroid')
```

ans =

0.8312

»

Valores Difusos do Grau de Importância e Relacionamentos

		CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE								
		gi	1	2	3	4	5	6	7	Normalização
REQUISITOS DO CONSUMIDOR	1	0,03	0,6000	0,6000	0,0500	0,3000	0,0000	0,6000	0,9000	4,57
		0,10	0,8000	0,8000	0,2000	0,5000	0,0000	0,8000	1,0000	7,16
		0,20	0,9500	0,9500	0,4000	0,7000	0,1000	0,9500	1,0000	10,15
	2	0,55	0,0000	0,6000	0,6000	0,6000	0,3000	0,9000	0,9000	6,00
		0,76	0,0000	0,8000	0,8000	0,8000	0,5000	1,0000	1,0000	8,78
		0,90	0,1000	0,9500	0,9500	0,9500	0,7000	1,0000	1,0000	11,60
	3	0,10	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,0500	0,6000	0,6000	3,62
		0,28	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,2000	0,8000	0,8000	6,54
		0,45	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,4000	0,9500	0,9500	10,04
	4	0,10	0,6000	0,0000	0,0500	0,3000	0,0500	0,3000	0,6000	2,61
		0,28	0,8000	0,0000	0,2000	0,5000	0,2000	0,5000	0,8000	4,76
		0,45	0,9500	0,1000	0,4000	0,7000	0,4000	0,7000	0,9500	7,79
	5	0,80	0,0000	0,3000	0,9000	0,6000	0,9000	0,3000	0,9000	5,88
		0,90	0,0000	0,5000	1,0000	0,8000	1,0000	0,5000	1,0000	8,42
		0,97	0,1000	0,7000	1,0000	0,9500	1,0000	0,7000	1,0000	11,00
	6	0,95	0,3000	0,6000	0,3000	0,6000	0,0500	0,6000	0,6000	4,88
		1,00	0,5000	0,8000	0,5000	0,8000	0,2000	0,8000	0,8000	8,04
		1,00	0,7000	0,9500	0,7000	0,9500	0,4000	0,9500	0,9500	11,49
	7	0,95	0,0500	0,6000	0,6000	0,6000	0,6000	0,9000	0,9000	6,55
		1,00	0,2000	0,8000	0,8000	0,8000	0,8000	1,0000	1,0000	9,64
		1,00	0,4000	0,9500	0,9500	0,9500	0,9500	1,0000	1,0000	12,64
	8	0,55	0,6000	0,3000	0,6000	0,3000	0,6000	0,6000	0,9000	5,64
		0,76	0,8000	0,5000	0,8000	0,5000	0,8000	0,8000	1,0000	8,78
		0,90	0,9500	0,7000	0,9500	0,7000	0,9500	0,9500	1,0000	12,09
	9	0,95	0,6000	0,6000	0,9000	0,0500	0,9000	0,9000	0,9000	7,12
		1,00	0,8000	0,8000	1,0000	0,2000	1,0000	1,0000	1,0000	9,84
		1,00	0,9500	0,9500	1,0000	0,4000	1,0000	1,0000	1,0000	12,28
	10	0,30	0,6000	0,6000	0,3000	0,3000	0,6000	0,9000	0,6000	6,00
		0,50	0,8000	0,8000	0,5000	0,5000	0,8000	1,0000	0,8000	9,20
		0,70	0,9500	0,9500	0,7000	0,7000	0,9500	1,0000	0,9500	12,43
w_j	l	1,5210	2,6730	3,2170	2,3220	2,5930	3,7230	4,3170		
	m	2,9520	4,4580	4,8820	4,0880	4,2000	5,5620	6,1680		
	u	4,6900	6,2290	6,3950	5,9670	5,8000	7,0170	7,4400		
w_{NORM}	l	0,0000	0,1946	0,2865	0,1353	0,1811	0,3720	0,4724		
	m	0,2418	0,4962	0,5678	0,4337	0,4526	0,6827	0,7851		
	u	0,5354	0,7954	0,8234	0,7511	0,7229	0,9285	1,0000		
μ_t		0,3043	0,4967	0,5495	0,4521	0,4625	0,6331	0,7106	3,6088	
$w_j\%$		8	14	15	13	13	18	20		
w_j		0,9151	1,6187	0,9998	1,5844	1,1631	1,1459	0,8312	8,2582	
$w_j\%$		11	20	12	19	14	14	10		

Obs: Itens em vermelho - Modelo 1 - Fase 1 - Procedimento de Normalização Difuso

ANEXO C -
MEMORIAL DE CÁLCULO: MODELO 1 - FASE 2

- **MATLAB - pp 134 - 142.**

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
N11=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R11=fuzarith(x,N11,D1,'div');
N21=trimf(x,[0.24 0.48 0.86]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R21=fuzarith(x,N21,D2,'div');
N31=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R31=fuzarith(x,N31,D3,'div');
N41=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R41=fuzarith(x,N41,D4,'div');
N51=trimf(x,[0.36 0.6 0.9]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R51=fuzarith(x,N51,D5,'div');
N61=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R61=fuzarith(x,N61,D6,'div');
N71=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R71=fuzarith(x,N71,D7,'div');
N81=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R81=fuzarith(x,N81,D8,'div');
N91=trimf(x,[0.96 1.4 1.75]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R91=fuzarith(x,N91,D9,'div');
N101=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R101=fuzarith(x,N101,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 1 - W1

```
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');
P11=fuzarith(x,WR1,R11,'prod');P21=fuzarith(x,WR2,R21,'prod');
P31=fuzarith(x,WR3,R31,'prod');P41=fuzarith(x,WR4,R41,'prod');
P51=fuzarith(x,WR5,R51,'prod');P61=fuzarith(x,WR6,R61,'prod');
P71=fuzarith(x,WR7,R71,'prod');P81=fuzarith(x,WR8,R81,'prod');
P91=fuzarith(x,WR9,R91,'prod');P101=fuzarith(x,WR10,R101,'prod');
S1=fuzarith(x,P11,P21,'sum');S2=fuzarith(x,P31,P41,'sum');
S3=fuzarith(x,P51,P61,'sum');S4=fuzarith(x,P71,P81,'sum');
S5=fuzarith(x,P91,P101,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W1=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W1,'centroid')
```

ans =

2.1607

»

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
N12=trimf(x,[0.78 1.2 1.75]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R12=fuzarith(x,N12,D1,'div');
N22=trimf(x,[1.14 1.84 2.6]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R22=fuzarith(x,N22,D2,'div');
N32=trimf(x,[0.51 1.06 1.8]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R32=fuzarith(x,N32,D3,'div');
N42=trimf(x,[0.21 0.56 1.2]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R42=fuzarith(x,N42,D4,'div');
N52=trimf(x,[1.2 1.94 2.65]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R52=fuzarith(x,N52,D5,'div');
N62=trimf(x,[0.99 1.6 2.3]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R62=fuzarith(x,N62,D6,'div');
N72=trimf(x,[1.32 2.08 2.85]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R72=fuzarith(x,N72,D7,'div');
N82=trimf(x,[0.84 1.54 2.35]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R82=fuzarith(x,N82,D8,'div');
N92=trimf(x,[1.17 1.76 2.35]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R92=fuzarith(x,N92,D9,'div');
N102=trimf(x,[1.14 1.84 2.6]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R102=fuzarith(x,N102,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 2 - W2

```
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');
P12=fuzarith(x,WR1,R12,'prod');P22=fuzarith(x,WR2,R22,'prod');
P32=fuzarith(x,WR3,R32,'prod');P42=fuzarith(x,WR4,R42,'prod');
P52=fuzarith(x,WR5,R52,'prod');P62=fuzarith(x,WR6,R62,'prod');
P72=fuzarith(x,WR7,R72,'prod');P82=fuzarith(x,WR8,R82,'prod');
P92=fuzarith(x,WR9,R92,'prod');P102=fuzarith(x,WR10,R102,'prod');
S1=fuzarith(x,P12,P22,'sum');S2=fuzarith(x,P32,P42,'sum');
S3=fuzarith(x,P52,P62,'sum');S4=fuzarith(x,P72,P82,'sum');
S5=fuzarith(x,P92,P102,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W2=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W2,'centroid')
```

ans =

3.6585

»

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
N13=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R13=fuzarith(x,N13,D1,'div');
N23=trimf(x,[0.6 0.8 1.03]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R23=fuzarith(x,N23,D2,'div');
N33=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R33=fuzarith(x,N33,D3,'div');
N43=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R43=fuzarith(x,N43,D4,'div');
N53=trimf(x,[0.9 1 1.08]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R53=fuzarith(x,N53,D5,'div');
N63=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R63=fuzarith(x,N63,D6,'div');
N73=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R73=fuzarith(x,N73,D7,'div');
N83=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R83=fuzarith(x,N83,D8,'div');
N93=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R93=fuzarith(x,N93,D9,'div');
N103=trimf(x,[0.54 0.98 1.46]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R103=fuzarith(x,N103,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 3 - W3

```
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');xx1=DEFUZZ(x,WR1,'centroid');
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');xx2=DEFUZZ(x,WR2,'centroid');
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');xx3=DEFUZZ(x,WR3,'centroid');
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');xx4=DEFUZZ(x,WR4,'centroid');
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');xx5=DEFUZZ(x,WR5,'centroid');
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');xx6=DEFUZZ(x,WR6,'centroid');
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');xx7=DEFUZZ(x,WR7,'centroid');
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');xx8=DEFUZZ(x,WR8,'centroid');
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');xx9=DEFUZZ(x,WR9,'centroid');
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');xx10=DEFUZZ(x,WR10,'centroid');
P13=fuzarith(x,WR1,R13,'prod');P23=fuzarith(x,WR2,R23,'prod');
P33=fuzarith(x,WR3,R33,'prod');P43=fuzarith(x,WR4,R43,'prod');
P53=fuzarith(x,WR5,R53,'prod');P63=fuzarith(x,WR6,R63,'prod');
P73=fuzarith(x,WR7,R73,'prod');P83=fuzarith(x,WR8,R83,'prod');
P93=fuzarith(x,WR9,R93,'prod');P103=fuzarith(x,WR10,R103,'prod');
S1=fuzarith(x,P13,P23,'sum');S2=fuzarith(x,P33,P43,'sum');
S3=fuzarith(x,P53,P63,'sum');S4=fuzarith(x,P73,P83,'sum');
S5=fuzarith(x,P93,P103,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W3=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W3,'centroid')
```

ans =

2.2876

»

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
N14=trimf(x,[0.9 1.62 2.41]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R14=fuzarith(x,N14,D1,'div');
N24=trimf(x,[1.32 2.04 2.7]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R24=fuzarith(x,N24,D2,'div');
N34=trimf(x,[0.72 1.38 2.16]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R34=fuzarith(x,N34,D3,'div');
N44=trimf(x,[0.42 0.8 1.36]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R44=fuzarith(x,N44,D4,'div');
N54=trimf(x,[0.9 1.5 2.21]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R54=fuzarith(x,N54,D5,'div');
N64=trimf(x,[1.2 1.92 2.66]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R64=fuzarith(x,N64,D6,'div');
N74=trimf(x,[1.32 2.04 2.7]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R74=fuzarith(x,N74,D7,'div');
N84=trimf(x,[0.72 1.38 2.16]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R84=fuzarith(x,N84,D8,'div');
N94=trimf(x,[0.77 1.44 2.15]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R94=fuzarith(x,N94,D9,'div');
N104=trimf(x,[1.02 1.74 2.45]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R104=fuzarith(x,N104,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 4 - W4

```
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');xx1=DEFUZZ(x,WR1,'centroid');
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');xx2=DEFUZZ(x,WR2,'centroid');
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');xx3=DEFUZZ(x,WR3,'centroid');
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');xx4=DEFUZZ(x,WR4,'centroid');
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');xx5=DEFUZZ(x,WR5,'centroid');
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');xx6=DEFUZZ(x,WR6,'centroid');
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');xx7=DEFUZZ(x,WR7,'centroid');
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');xx8=DEFUZZ(x,WR8,'centroid');
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');xx9=DEFUZZ(x,WR9,'centroid');
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');xx10=DEFUZZ(x,WR10,'centroid');
P14=fuzarith(x,WR1,R14,'prod');P24=fuzarith(x,WR2,R24,'prod');
P34=fuzarith(x,WR3,R34,'prod');P44=fuzarith(x,WR4,R44,'prod');
P54=fuzarith(x,WR5,R54,'prod');P64=fuzarith(x,WR6,R64,'prod');
P74=fuzarith(x,WR7,R74,'prod');P84=fuzarith(x,WR8,R84,'prod');
P94=fuzarith(x,WR9,R94,'prod');P104=fuzarith(x,WR10,R104,'prod');
S1=fuzarith(x,P14,P24,'sum');S2=fuzarith(x,P34,P44,'sum');
S3=fuzarith(x,P54,P64,'sum');S4=fuzarith(x,P74,P84,'sum');
S5=fuzarith(x,P94,P104,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W4=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W4,'centroid')
```

ans =

3.6222

»

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
N15=trimf(x,[0.36 0.64 1.05]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R15=fuzarith(x,N15,D1,'div');
N25=trimf(x,[0.66 1.14 1.65]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R25=fuzarith(x,N25,D2,'div');
N35=trimf(x,[0.23 0.6 1.1]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R35=fuzarith(x,N35,D3,'div');
N45=trimf(x,[0.05 0.2 0.5]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R45=fuzarith(x,N45,D4,'div');
N55=trimf(x,[1.08 1.4 1.7]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R55=fuzarith(x,N55,D5,'div');
N65=trimf(x,[0.41 0.84 1.35]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R65=fuzarith(x,N65,D6,'div');
N75=trimf(x,[0.96 1.44 1.9]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R75=fuzarith(x,N75,D7,'div');
N85=trimf(x,[0.78 1.2 1.65]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R85=fuzarith(x,N85,D8,'div');
N95=trimf(x,[1.26 1.64 1.95]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R95=fuzarith(x,N95,D9,'div');
N105=trimf(x,[0.96 1.44 1.9]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R105=fuzarith(x,N105,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 5 - W5

```
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');xx1=DEFUZZ(x,WR1,'centroid');
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');xx2=DEFUZZ(x,WR2,'centroid');
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');xx3=DEFUZZ(x,WR3,'centroid');
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');xx4=DEFUZZ(x,WR4,'centroid');
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');xx5=DEFUZZ(x,WR5,'centroid');
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');xx6=DEFUZZ(x,WR6,'centroid');
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');xx7=DEFUZZ(x,WR7,'centroid');
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');xx8=DEFUZZ(x,WR8,'centroid');
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');xx9=DEFUZZ(x,WR9,'centroid');
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');xx10=DEFUZZ(x,WR10,'centroid');
P15=fuzarith(x,WR1,R15,'prod');P25=fuzarith(x,WR2,R25,'prod');
P35=fuzarith(x,WR3,R35,'prod');P45=fuzarith(x,WR4,R45,'prod');
P55=fuzarith(x,WR5,R55,'prod');P65=fuzarith(x,WR6,R65,'prod');
P75=fuzarith(x,WR7,R75,'prod');P85=fuzarith(x,WR8,R85,'prod');
P95=fuzarith(x,WR9,R95,'prod');P105=fuzarith(x,WR10,R105,'prod');
S1=fuzarith(x,P15,P25,'sum');S2=fuzarith(x,P35,P45,'sum');
S3=fuzarith(x,P55,P65,'sum');S4=fuzarith(x,P75,P85,'sum');
S5=fuzarith(x,P95,P105,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W5=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W5,'centroid')
```

ans =

2.5948

»

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
N16=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R16=fuzarith(x,N16,D1,'div');
N26=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R26=fuzarith(x,N26,D2,'div');
N36=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R36=fuzarith(x,N36,D3,'div');
N46=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R46=fuzarith(x,N46,D4,'div');
N56=trimf(x,[0.54 0.98 1.46]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R56=fuzarith(x,N56,D5,'div');
N66=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R66=fuzarith(x,N66,D6,'div');
N76=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R76=fuzarith(x,N76,D7,'div');
N86=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R86=fuzarith(x,N86,D8,'div');
N96=trimf(x,[0.92 1.12 1.32]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R96=fuzarith(x,N96,D9,'div');
N106=trimf(x,[1.02 1.3 1.56]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R106=fuzarith(x,N106,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 6 - W6

```
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');xx1=DEFUZZ(x,WR1,'centroid');
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');xx2=DEFUZZ(x,WR2,'centroid');
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');xx3=DEFUZZ(x,WR3,'centroid');
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');xx4=DEFUZZ(x,WR4,'centroid');
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');xx5=DEFUZZ(x,WR5,'centroid');
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');xx6=DEFUZZ(x,WR6,'centroid');
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');xx7=DEFUZZ(x,WR7,'centroid');
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');xx8=DEFUZZ(x,WR8,'centroid');
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');xx9=DEFUZZ(x,WR9,'centroid');
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');xx10=DEFUZZ(x,WR10,'centroid');
P16=fuzarith(x,WR1,R16,'prod');P26=fuzarith(x,WR2,R26,'prod');
P36=fuzarith(x,WR3,R36,'prod');P46=fuzarith(x,WR4,R46,'prod');
P56=fuzarith(x,WR5,R56,'prod');P66=fuzarith(x,WR6,R66,'prod');
P76=fuzarith(x,WR7,R76,'prod');P86=fuzarith(x,WR8,R86,'prod');
P96=fuzarith(x,WR9,R96,'prod');P106=fuzarith(x,WR10,R106,'prod');
S1=fuzarith(x,P16,P26,'sum');S2=fuzarith(x,P36,P46,'sum');
S3=fuzarith(x,P56,P66,'sum');S4=fuzarith(x,P76,P86,'sum');
S5=fuzarith(x,P96,P106,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W6=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W6,'centroid')
```

ans =

2.5621

»

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2

```
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
```

```
N17=trimf(x,[0.9 1 1]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R17=fuzarith(x,N17,D1,'div');
N27=trimf(x,[0.9 1 1]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R27=fuzarith(x,N27,D2,'div');
N37=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R37=fuzarith(x,N37,D3,'div');
N47=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R47=fuzarith(x,N47,D4,'div');
N57=trimf(x,[0.9 1 1]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R57=fuzarith(x,N57,D5,'div');
N67=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R67=fuzarith(x,N67,D6,'div');
N77=trimf(x,[0.9 1 1]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R77=fuzarith(x,N77,D7,'div');
N87=trimf(x,[0.9 1 1]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R87=fuzarith(x,N87,D8,'div');
N97=trimf(x,[0.9 1 1]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R97=fuzarith(x,N97,D9,'div');
N107=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R107=fuzarith(x,N107,D10,'div');
```

% Peso Absoluto da Característica da Qualidade 7 - W7

```
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');xx1=DEFUZZ(x,WR1,'centroid');
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');xx2=DEFUZZ(x,WR2,'centroid');
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');xx3=DEFUZZ(x,WR3,'centroid');
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');xx4=DEFUZZ(x,WR4,'centroid');
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');xx5=DEFUZZ(x,WR5,'centroid');
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');xx6=DEFUZZ(x,WR6,'centroid');
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');xx7=DEFUZZ(x,WR7,'centroid');
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');xx8=DEFUZZ(x,WR8,'centroid');
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');xx9=DEFUZZ(x,WR9,'centroid');
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');xx10=DEFUZZ(x,WR10,'centroid');
P17=fuzarith(x,xx1,R17,'prod');P27=fuzarith(x,xx2,R27,'prod');
P37=fuzarith(x,xx3,R37,'prod');P47=fuzarith(x,xx4,R47,'prod');
P57=fuzarith(x,xx5,R57,'prod');P67=fuzarith(x,xx6,R67,'prod');
P77=fuzarith(x,xx7,R77,'prod');P87=fuzarith(x,xx8,R87,'prod');
P97=fuzarith(x,xx9,R97,'prod');P107=fuzarith(x,xx10,R107,'prod');
S1=fuzarith(x,P17,P27,'sum');S2=fuzarith(x,P37,P47,'sum');
S3=fuzarith(x,P57,P67,'sum');S4=fuzarith(x,P77,P87,'sum');
S5=fuzarith(x,P97,P107,'sum');S6=fuzarith(x,S1,S2,'sum');
S7=fuzarith(x,S3,S6,'sum');S8=fuzarith(x,S4,S7,'sum');
W7=fuzarith(x,S5,S8,'sum');DEFUZZ(x,W7,'centroid')
```

ans =

0.1149

»

```

%

% Exemplo do Mini Moon Rover - Fase 2
% Cálculo do Peso Absoluto dos Requisitos

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);

% Peso Absoluto do Requisito 1 - WR1
V1=trimf(x,[2 3 4]);M1=trimf(x,[3 4 5]);T1=fuzarith(x,M1,V1,'div');
G1=trimf(x,[0.03 0.1 0.2]);WR1=fuzarith(x,G1,T1,'prod');xx1=DEFUZZ(x,WR1,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 2 - WR2
V2=trimf(x,[1 2 3]);M2=trimf(x,[4 5 5]);T2=fuzarith(x,M2,V2,'div');
G2=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR2=fuzarith(x,G2,T2,'prod');xx2=DEFUZZ(x,WR2,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 3 - WR3
V3=trimf(x,[3 4 5]);M3=trimf(x,[3 4 5]);T3=fuzarith(x,M3,V3,'div');
G3=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR3=fuzarith(x,G3,T3,'prod');xx3=DEFUZZ(x,WR3,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 4 - WR4
V4=trimf(x,[1 2 3]);M4=trimf(x,[3 4 5]);T4=fuzarith(x,M4,V4,'div');
G4=trimf(x,[0.1 0.28 0.45]);WR4=fuzarith(x,G4,T4,'prod');xx4=DEFUZZ(x,WR4,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 5 - WR5
V5=trimf(x,[3 4 5]);M5=trimf(x,[4 5 5]);T5=fuzarith(x,M5,V5,'div');
G5=trimf(x,[0.8 0.9 0.97]);WR5=fuzarith(x,G5,T5,'prod');xx5=DEFUZZ(x,WR5,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 6 - WR6
V6=trimf(x,[4 5 5]);M6=trimf(x,[4 5 5]);T6=fuzarith(x,M6,V6,'div');
G6=trimf(x,[0.95 1 1]);WR6=fuzarith(x,G6,T6,'prod');xx6=DEFUZZ(x,WR6,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 7 - WR7
V7=trimf(x,[3 4 5]);M7=trimf(x,[4 5 5]);T7=fuzarith(x,M7,V7,'div');
G7=trimf(x,[0.95 1 1]);WR7=fuzarith(x,G7,T7,'prod');xx7=DEFUZZ(x,WR7,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 8 - WR8
V8=trimf(x,[2 3 4]);M8=trimf(x,[4 5 5]);T8=fuzarith(x,M8,V8,'div');
G8=trimf(x,[0.55 0.76 0.9]);WR8=fuzarith(x,G8,T8,'prod');xx8=DEFUZZ(x,WR8,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 9 - WR9
V9=trimf(x,[1 2 3]);M9=trimf(x,[3 4 5]);T9=fuzarith(x,M9,V9,'div');
G9=trimf(x,[0.95 1 1]);WR9=fuzarith(x,G9,T9,'prod');xx9=DEFUZZ(x,WR9,'centroid')

% Peso Absoluto do Requisito 10 - WR10
V10=trimf(x,[1 1 2]);M10=trimf(x,[3 4 5]);T10=fuzarith(x,M10,V10,'div');
G10=trimf(x,[0.3 0.5 0.7]);WR10=fuzarith(x,G10,T10,'prod');xx10=DEFUZZ(x,WR10,'centroid')

```

xx1 =

0.2047

xx2 =

2.1908

xx3 =

0.3414

xx4 =

0.8549

xx5 =

1.1062

xx6 =

1.0016

xx7 =

1.2098

xx8 =

1.3004

xx9 =

2.4929

xx10 =

1.8746

ANEXO D -
MEMORIAL DE CÁLCULO: MODELO 2

- **MATLAB - pp 144 - 151;**
- **EXCEL - pp 151 - 152.**

```

% Exemplo do Mini Moon Rover - Modelo 2

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Ri1)

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
N11=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R11=fuzarith(x,N11,D1,'div');
N21=trimf(x,[0.24 0.48 0.86]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R21=fuzarith(x,N21,D2,'div');
N31=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R31=fuzarith(x,N31,D3,'div');
N41=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R41=fuzarith(x,N41,D4,'div');
N51=trimf(x,[0.36 0.6 0.9]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R51=fuzarith(x,N51,D5,'div');
N61=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R61=fuzarith(x,N61,D6,'div');
N71=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R71=fuzarith(x,N71,D7,'div');
N81=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R81=fuzarith(x,N81,D8,'div');
N91=trimf(x,[0.96 1.4 1.75]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R91=fuzarith(x,N91,D9,'div');
N101=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R101=fuzarith(x,N101,D10,'div');
DEFUZZ(x,R11,'centroid')
DEFUZZ(x,R21,'centroid')
DEFUZZ(x,R31,'centroid')
DEFUZZ(x,R41,'centroid')
DEFUZZ(x,R51,'centroid')
DEFUZZ(x,R61,'centroid')
DEFUZZ(x,R71,'centroid')
DEFUZZ(x,R81,'centroid')
DEFUZZ(x,R91,'centroid')
DEFUZZ(x,R101,'centroid')

ans =

    0.1546

ans =

    0.0687

ans =

    0.1572

ans =

    0.2353

ans =

    0.0836

ans =

    0.1237

ans =

    0.0853

ans =

    0.1649

ans =

    0.1510

ans =

    0.1379

»

```

```

% Exemplo do Mini Moon Rover - Modelo 2

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Ri2)

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
N12=trimf(x,[0.78 1.2 1.75]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R12=fuzarith(x,N12,D1,'div');
N22=trimf(x,[1.14 1.84 2.6]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R22=fuzarith(x,N22,D2,'div');
N32=trimf(x,[0.51 1.06 1.8]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R32=fuzarith(x,N32,D3,'div');
N42=trimf(x,[0.21 0.56 1.2]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R42=fuzarith(x,N42,D4,'div');
N52=trimf(x,[1.2 1.94 2.65]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R52=fuzarith(x,N52,D5,'div');
N62=trimf(x,[0.99 1.6 2.3]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R62=fuzarith(x,N62,D6,'div');
N72=trimf(x,[1.32 2.08 2.85]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R72=fuzarith(x,N72,D7,'div');
N82=trimf(x,[0.84 1.54 2.35]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R82=fuzarith(x,N82,D8,'div');
N92=trimf(x,[1.17 1.76 2.35]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R92=fuzarith(x,N92,D9,'div');
N102=trimf(x,[1.14 1.84 2.6]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R102=fuzarith(x,N102,D10,'div');
DEFUZZ(x,R12,'centroid')
DEFUZZ(x,R22,'centroid')
DEFUZZ(x,R32,'centroid')
DEFUZZ(x,R42,'centroid')
DEFUZZ(x,R52,'centroid')
DEFUZZ(x,R62,'centroid')
DEFUZZ(x,R72,'centroid')
DEFUZZ(x,R82,'centroid')
DEFUZZ(x,R92,'centroid')
DEFUZZ(x,R102,'centroid')

ans =

    0.2056

ans =

    0.2377

ans =

    0.2176

ans =

    0.1833

ans =

    0.2541

ans =

    0.2386

ans =

    0.2422

ans =

    0.2090

ans =

    0.1025

ans =

    0.2319

»

```

```

% Exemplo do Mini Moon Rover - Modelo 2

% Matriz de Relcionamentos Normalizada (Elementos Ri3)

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
N13=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R13=fuzarith(x,N13,D1,'div');
N23=trimf(x,[0.6 0.8 1.03]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R23=fuzarith(x,N23,D2,'div');
N33=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R33=fuzarith(x,N33,D3,'div');
N43=trimf(x,[0.29 0.68 1.16]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R43=fuzarith(x,N43,D4,'div');
N53=trimf(x,[0.9 1 1.08]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R53=fuzarith(x,N53,D5,'div');
N63=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R63=fuzarith(x,N63,D6,'div');
N73=trimf(x,[0.62 0.92 1.27]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R73=fuzarith(x,N73,D7,'div');
N83=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R83=fuzarith(x,N83,D8,'div');
N93=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R93=fuzarith(x,N93,D9,'div');
N103=trimf(x,[0.54 0.98 1.46]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R103=fuzarith(x,N103,D10,'div');
DEFUZZ(x,R13,'centroid')
DEFUZZ(x,R23,'centroid')
DEFUZZ(x,R33,'centroid')
DEFUZZ(x,R43,'centroid')
DEFUZZ(x,R53,'centroid')
DEFUZZ(x,R63,'centroid')
DEFUZZ(x,R73,'centroid')
DEFUZZ(x,R83,'centroid')
DEFUZZ(x,R93,'centroid')
DEFUZZ(x,R103,'centroid')

ans =

    0.1236

ans =

    0.1006

ans =

    0.1572

ans =

    0.1902

ans =

    0.1244

ans =

    0.1237

ans =

    0.1080

ans =

    0.1649

ans =

    0.1607

ans =

    0.1245

»

```

```

% Exemplo do Mini Moon Rover - Modelo 2

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Ri4)

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
N14=trimf(x,[0.9 1.62 2.41]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R14=fuzarith(x,N14,D1,'div');
N24=trimf(x,[1.32 2.04 2.7]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R24=fuzarith(x,N24,D2,'div');
N34=trimf(x,[0.72 1.38 2.16]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R34=fuzarith(x,N34,D3,'div');
N44=trimf(x,[0.42 0.8 1.36]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R44=fuzarith(x,N44,D4,'div');
N54=trimf(x,[0.9 1.5 2.21]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R54=fuzarith(x,N54,D5,'div');
N64=trimf(x,[1.2 1.92 2.66]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R64=fuzarith(x,N64,D6,'div');
N74=trimf(x,[1.32 2.04 2.7]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R74=fuzarith(x,N74,D7,'div');
N84=trimf(x,[0.72 1.38 2.16]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R84=fuzarith(x,N84,D8,'div');
N94=trimf(x,[0.77 1.44 2.15]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R94=fuzarith(x,N94,D9,'div');
N104=trimf(x,[1.02 1.74 2.45]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R104=fuzarith(x,N104,D10,'div');
DEFUZZ(x,R14,'centroid')
DEFUZZ(x,R24,'centroid')
DEFUZZ(x,R34,'centroid')
DEFUZZ(x,R44,'centroid')
DEFUZZ(x,R54,'centroid')
DEFUZZ(x,R64,'centroid')
DEFUZZ(x,R74,'centroid')
DEFUZZ(x,R84,'centroid')
DEFUZZ(x,R94,'centroid')
DEFUZZ(x,R104,'centroid')

ans =

    0.2762

ans =

    0.2557

ans =

    0.2702

ans =

    0.2276

ans =

    0.2040

ans =

    0.2798

ans =

    0.2337

ans =

    0.1903

ans =

    0.1652

ans =

    0.2164

»

```

```

% Exemplo do Mini Moon Rover - Modelo 2

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Ri5)
point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
N15=trimf(x,[0.36 0.64 1.05]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R15=fuzarith(x,N15,D1,'div');
N25=trimf(x,[0.66 1.14 1.65]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R25=fuzarith(x,N25,D2,'div');
N35=trimf(x,[0.23 0.6 1.1]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R35=fuzarith(x,N35,D3,'div');
N45=trimf(x,[0.05 0.2 0.5]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R45=fuzarith(x,N45,D4,'div');
N55=trimf(x,[1.08 1.4 1.7]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R55=fuzarith(x,N55,D5,'div');
N65=trimf(x,[0.41 0.84 1.35]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R65=fuzarith(x,N65,D6,'div');
N75=trimf(x,[0.96 1.44 1.9]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R75=fuzarith(x,N75,D7,'div');
N85=trimf(x,[0.78 1.2 1.65]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R85=fuzarith(x,N85,D8,'div');
N95=trimf(x,[1.26 1.64 1.95]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R95=fuzarith(x,N95,D9,'div');
N105=trimf(x,[0.96 1.44 1.9]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R105=fuzarith(x,N105,D10,'div');
DEFUZZ(x,R15,'centroid')
DEFUZZ(x,R25,'centroid')
DEFUZZ(x,R35,'centroid')
DEFUZZ(x,R45,'centroid')
DEFUZZ(x,R55,'centroid')
DEFUZZ(x,R65,'centroid')
DEFUZZ(x,R75,'centroid')
DEFUZZ(x,R85,'centroid')
DEFUZZ(x,R95,'centroid')
DEFUZZ(x,R105,'centroid')

ans =

    0.1161

ans =

    0.1482

ans =

    0.1272

ans =

    0.0731

ans =

    0.1797

ans =

    0.1307

ans =

    0.1652

ans =

    0.1578

ans =

    0.1765

ans =

    0.1756

»

```

```

% Exemplo do Mini Moon Rover - Modelo 2

% Matriz de Relacionamentos Normalizada (Elementos Ri6)

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
N16=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R16=fuzarith(x,N16,D1,'div');
N26=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R26=fuzarith(x,N26,D2,'div');
N36=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R36=fuzarith(x,N36,D3,'div');
N46=trimf(x,[0.42 0.8 1.26]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R46=fuzarith(x,N46,D4,'div');
N56=trimf(x,[0.54 0.98 1.46]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R56=fuzarith(x,N56,D5,'div');
N66=trimf(x,[0.84 1.28 1.71]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R66=fuzarith(x,N66,D6,'div');
N76=trimf(x,[1.14 1.48 1.76]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R76=fuzarith(x,N76,D7,'div');
N86=trimf(x,[0.72 1.1 1.51]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R86=fuzarith(x,N86,D8,'div');
N96=trimf(x,[0.92 1.12 1.32]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R96=fuzarith(x,N96,D9,'div');
N106=trimf(x,[1.02 1.3 1.56]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R106=fuzarith(x,N106,D10,'div');
DEFUZZ(x,R16,'centroid')
DEFUZZ(x,R26,'centroid')
DEFUZZ(x,R36,'centroid')
DEFUZZ(x,R46,'centroid')
DEFUZZ(x,R56,'centroid')
DEFUZZ(x,R66,'centroid')
DEFUZZ(x,R76,'centroid')
DEFUZZ(x,R86,'centroid')
DEFUZZ(x,R96,'centroid')
DEFUZZ(x,R106,'centroid')

ans =

    0.1819

ans =

    0.1813

ans =

    0.2040

ans =

    0.2161

ans =

    0.1322

ans =

    0.1838

ans =

    0.1666

ans =

    0.1451

ans =

    0.1214

ans =

    0.1556

»

```

```

% Exemplo do Mini Moon Rover - Modelo 2

% Matriz de Relacionamento Normalizada (Elementos Ri7)

point_n=1001;min_x=0;max_x=30;x=linspace(min_x,max_x,point_n);
N17=trimf(x,[0.9 1 1]);D1=trimf(x,[4.27 7.16 10.15]);R17=fuzarith(x,N17,D1,'div');
N27=trimf(x,[0.9 1 1]);D2=trimf(x,[6 8.78 11.6]);R27=fuzarith(x,N27,D2,'div');
N37=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D3=trimf(x,[3.62 6.54 10.04]);R37=fuzarith(x,N37,D3,'div');
N47=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D4=trimf(x,[2.61 4.76 7.7]);R47=fuzarith(x,N47,D4,'div');
N57=trimf(x,[0.9 1 1]);D5=trimf(x,[5.88 8.42 11]);R57=fuzarith(x,N57,D5,'div');
N67=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D6=trimf(x,[4.88 8.04 11.49]);R67=fuzarith(x,N67,D6,'div');
N77=trimf(x,[0.9 1 1]);D7=trimf(x,[6.55 9.64 12.64]);R77=fuzarith(x,N77,D7,'div');
N87=trimf(x,[0.9 1 1]);D8=trimf(x,[5.64 8.78 12.09]);R87=fuzarith(x,N87,D8,'div');
N97=trimf(x,[0.9 1 1]);D9=trimf(x,[7.12 9.84 12.28]);R97=fuzarith(x,N97,D9,'div');
N107=trimf(x,[0.6 0.8 0.95]);D10=trimf(x,[6 9.2 12.43]);R107=fuzarith(x,N107,D10,'div');
DEFUZZ(x,R17,'centroid')
DEFUZZ(x,R27,'centroid')
DEFUZZ(x,R37,'centroid')
DEFUZZ(x,R47,'centroid')
DEFUZZ(x,R57,'centroid')
DEFUZZ(x,R67,'centroid')
DEFUZZ(x,R77,'centroid')
DEFUZZ(x,R87,'centroid')
DEFUZZ(x,R97,'centroid')
DEFUZZ(x,R107,'centroid')

ans =

    0.1510

ans =

    0.1172

ans =

    0.1411

ans =

    0.1903

ans =

    0.1212

ans =

    0.1100

ans =

    0.1069

ans =

    0.1180

ans =

    0.1025

ans =

    0.0938

»

```

Matriz de Relacionamentos Normalizada - Equivalente Não-Difuso dos Relacionamentos

Matriz de Relacionamentos Normalizada							Grau de Importância	
0,1546	0,2056	0,1236	0,2762	0,1161	0,1819	0,1510	0,0200	
0,0687	0,2377	0,1006	0,2557	0,1482	0,1813	0,1172	0,0870	
0,1572	0,2176	0,1572	0,2702	0,1272	0,2040	0,1411	0,0240	
0,2353	0,1833	0,1902	0,2276	0,0731	0,2161	0,1903	0,0240	
0,0836	0,2541	0,1244	0,2040	0,1797	0,1322	0,1212	0,1280	
0,1237	0,2386	0,1237	0,2798	0,1307	0,1838	0,1100	0,1960	
0,0853	0,2422	0,1080	0,2337	0,1652	0,1666	0,1069	0,1960	
0,1649	0,2090	0,1649	0,1903	0,1578	0,1451	0,1180	0,0870	
0,1510	0,1025	0,1607	0,1652	0,1765	0,1214	0,1025	0,1960	
0,1379	0,2319	0,1245	0,2164	0,1756	0,1556	0,0938	0,0460	
w_j	0,1204	0,2101	0,1325	0,2254	0,1574	0,1587	0,1139	1,1183
$w_j^{\%}$	11	19	12	20	14	14	10	100,000

ANEXO E -

MEMORIAL DE CÁLCULO: CONCLUSÃO

Conclusões

Comparação dos Critérios

	1	2	3
1.Abrangência	1,00	1,00	1,00
2.Variáveis Linguísticas	1,00	1,00	1,00
3.Fronteira do Time	1,00	1,00	1,00
	3,00	3,00	3,00

	1	2	3	Prioridade
	0,33	0,33	0,33	0,33
	0,33	0,33	0,33	0,33
	0,33	0,33	0,33	0,33

	1
1	1,00 3,00
2	1,00 3,00
3	1,00 3,00
λ_{max}	3,00
RC	0,00
IC	0,00
IR tal	0,58

Comparação dos Modelos

	W	L	M/D	K	1	2
Modelo WASSERMAN	1,00	5,00	5,00	0,33	0,33	0,50
Modelo LU et al	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,33
Modelo MASUD,DEAN	0,20	1,00	1,00	0,20	0,20	0,33
Modelo KIM et al	3,00	5,00	5,00	1,00	1,00	3,00
Modelo 1	3,00	5,00	5,00	1,00	1,00	3,00
Modelo 2	2,00	3,00	3,00	0,33	0,33	1,00
	9,40	20,00	20,00	3,07	3,07	8,17

	W	L	M/D	K	1	2
	0,11	0,25	0,25	0,11	0,11	0,06
	0,02	0,05	0,05	0,07	0,07	0,04
	0,02	0,05	0,05	0,07	0,07	0,04
	0,32	0,25	0,25	0,33	0,33	0,37
	0,32	0,25	0,25	0,33	0,33	0,37
	0,21	0,15	0,15	0,11	0,11	0,12

	1
1	0,91 6,17
2	0,30 6,09
3	0,30 6,09
4	1,97 6,43
5	1,97 6,43
6	0,93 6,57
λ_{max}	6,30
RC	0,05
IC	0,06
IR tal	1,24

	W	L	M/D	K	1	2
Modelo WASSERMAN	1,00	1,00	0,14	0,33	0,11	0,14
Modelo LU et al	1,00	1,00	0,14	0,33	0,11	0,14
Modelo MASUD,DEAN	7,00	7,00	1,00	5,00	0,33	1,00
Modelo KIM et al	3,00	3,00	0,20	1,00	0,11	0,33
Modelo 1	9,00	9,00	3,00	9,00	1,00	3,00
Modelo 2	7,00	7,00	1,00	3,00	0,33	1,00
	28,00	28,00	5,49	18,67	2,00	5,62

	W	L	M/D	K	1	2
	0,04	0,04	0,03	0,02	0,06	0,03
	0,04	0,04	0,03	0,02	0,06	0,03
	0,25	0,25	0,18	0,27	0,17	0,18
	0,11	0,11	0,04	0,05	0,06	0,06
	0,32	0,32	0,55	0,48	0,50	0,53
	0,25	0,25	0,18	0,16	0,17	0,18

	1
1	0,91 27,83
2	0,30 9,08
3	0,30 1,38
4	1,97 28,19
5	1,97 4,37
6	0,93 4,72
λ_{max}	12,59
RC	1,06
IC	1,32
IR tal	1,24

	W	L	M/D	K	1	2
Modelo WASSERMAN	1,00	3,00	3,00	3,00	0,20	0,33
Modelo LU et al	0,33	1,00	1,00	3,00	0,14	0,20
Modelo MASUD,DEAN	0,33	1,00	1,00	3,00	0,14	0,20
Modelo KIM et al	0,33	0,33	0,33	1,00	0,14	0,20
Modelo 1	5,00	7,00	7,00	7,00	1,00	3,00
Modelo 2	3,00	5,00	5,00	5,00	0,33	1,00
	10,00	17,33	17,33	22,00	1,96	4,93

	W	L	M/D	K	1	2
	0,10	0,17	0,17	0,14	0,10	0,07
	0,03	0,06	0,06	0,14	0,07	0,04
	0,03	0,06	0,06	0,14	0,07	0,04
	0,03	0,02	0,02	0,05	0,07	0,04
	0,50	0,40	0,40	0,32	0,51	0,61
	0,30	0,29	0,29	0,23	0,17	0,20

	1
1	0,91 7,26
2	0,30 4,47
3	0,30 4,47
4	1,97 51,24
5	1,97 4,31
6	0,93 3,79
λ_{max}	12,59
RC	1,06
IC	1,32
IR tal	1,24

Classificação dos Modelos

	2	3	4
Modelo WASSERMAN	0,15	0,03	0,13
Modelo LU et al	0,05	0,03	0,07
Modelo MASUD,DEAN	0,05	0,22	0,07
Modelo KIM et al	0,31	0,07	0,04
Modelo 1	0,31	0,45	0,46
Modelo 2	0,14	0,20	0,25

	1
1	0,30
2	0,05
3	0,11
4	0,14
5	0,40
6	0,20

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Y., ed. Quality function deployment: integrating customer requirements into product design. Portland, Productivity Press, 1990. 369p.
- AMERICAN SUPPLIER INSTITUTE (ASI). Quality Function Deployment: implementation manual: 3-day workshop. Dearborn, ASI, 1993.
- ASAI, K.; TANAKA, H.; OKUDA, T. Decision-making and its goal in a fuzzy environment. In: U.S. JAPAN SEMINAR ON FUZZY SETS AND THEIR APPLICATIONS, 1., Berkeley, 1974. Anais. Orlando, Academic Press, 1975. p.257-77. (Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes).
- BAAS, S.M.; KWAKERNAAK, H. Rating and ranking of multiple-aspect alternatives using fuzzy sets. Automatica, v.13,p.47-58, 1977.
- BELLMAN, R.E.; ZADEH, L.A. Decision-making in a fuzzy environment. Management Science, v.17, n.4, p.141- 64, Dec. 1970.
- BORDLEY, R. Prioritizing design improvements using quality function deployment. s.l.p., General Motors, 1992. /Mimeografado/
- BOSSERMAN, S. Quality Function Deployment: The competitive advantage. s.l.p., Private Trunked Systems Division/ Motorola, 1992.
- BRAUN, R.J. Turning computers into experts. Quality Progress, v.23, p.71-5, Feb. 1990.
- CHANG, S.L. Interpretation and execution of fuzzy programas. In: U.S. JAPAN SEMINAR ON FUZZY SETS AND THEIR APPLICATIONS, 1., Berkeley, 1974. Anais. Orlando, Academic Press, 1975. p.191-218. (Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes).
- CHANG, S.L. On risk and decision making in a fuzzy environment. In: U.S. JAPAN SEMINAR ON FUZZY SETS AND THEIR APPLICATIONS, 1., Berkeley, 1974. Anais. Orlando, Academic Press, 1975. p.219-26. (Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes).
- CHEN, S.H. HWANG, C-L. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. Berlin Spring-Verlag, 1992. /Mimeografado/

- CLAUSING, D. ; PUGH, S. Enhanced Quality Function Deployment. In: DESIGN AND PRODUCTIVITY INTERNATIONAL CONFERENCE, Honolulu, 1991. Proceedings... Honolulu, DPIC, 1991. p.15-25.
- CLAUSING, D. Total quality development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering. New York: ASME, 1994.
- CONTI, T. Process management and quality function deployment. Quality Progress, v.22, n.12, p. 45-8, Dec. 1989.
- DEAN, E.B. Correlation cost risk and geometry. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF PARAMETRIC ANALYSTS, 15. San Francisco, 1993. Proceedings... Arquivo capturado via WWW URL <http://mijuno.larc.nasa.gov/ebd.mypubs.html> em 20 maio 1997. 11p.
- DEAN, E.B.; UNAL, R. Design for cost and quality: the robust design approach. Journal of Parametrics, v.11, n.1. Aug. 1991. Arquivo capturado via WWW URL <http://mijuno.larc.nasa.gov/ebd.mypubs.html> em 20 maio 1997. 14p.
- DEAN, E.B.; UNAL, R. Designing for cost. In: TRANSACTIONS OF THE AMERICAN ASSOCIATION OF COST ENGINEERS, 35th., Seattle WA ,1991 Annual Meeting... Arquivo capturado via WWW URL <http://mijuno.larc.nasa.gov/ebd.mypubs.html> em 20 maio 1997. 13p.
- DEAN, E.B.; UNAL, R. Elements of designing for cost. In: AIAA AEROSPACE DESIGN CONFERENCE, Irvine CA , 1992. Arquivo capturado via WWW URL <http://mijuno.larc.nasa.gov/ebd.mypubs.html> em 20 maio 1997. 7p.
- DEAN, E.B. Quality function deployment for large systems. In: INTERNATIONAL ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE, Eatontown NJ, 1992. Proceedings... Arquivo capturado via WWW URL <http://mijuno.larc.nasa.gov/ebd.mypubs.html> em 20 maio 1997.
- DEAN, E.B. Taguchi approach to design optimization for quality and cost: na overview. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF PARAMETRIC ANALYSTS, 13th New Orleans, 1991. Arquivo capturado via WWW URL <http://mijuno.larc.nasa.gov/ebd.mypubs.html> em 20 maio 1997. 10p
- DUBOIS, D.; PRADE, H. Fuzzy sets and systems: theory and applications. New York, Academic Press, 1980. 393p.
- DYER, J.S. Interactive goal programming. Management Science, v.19, n.1, p.62-70, Sept. 1972.
- DYER, J.S. Remarks on the Analytic Hierarchy Process. Management Science, v.36, n.3, p.249-258, Mar. 1990a.
- DYER, J.S. A clarification of "Remarks on the Analytic Hierarchy Process". Management Science, v.36, n.3, p.274-275, Mar 1990b.
- EUREKA, W; RYAN, N. QFD: Perspectivas Gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1992.

- EUREKA, W; RYAN, N. The customers-driven company: managerial perspectives on Quality Function Deployment. Dearborn, ASI Press, 1994.
- FORTUNA, R.M. Beyond Quality: Taking SPC Upstream. Quality Progress, v.21, n.6, June, 1988.
- FUNG, L.W.; FU, K.S. An axiomatic approach to rational decision making in a fuzzy environment. In: U.S. JAPAN SEMINAR ON FUZZY SETS AND THEIR APPLICATIONS, 1., Berkeley, 1974. Anais. Orlando, Academic Press, 1975. p.227-56. (Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes).
- GARVIN, D.A. What does "product quality" really mean?. Sloan Management Review, v.26, 1984.
- GARVIN, D.A. Operations strategy: text and cases. New Jersey, Prentice-Hall, 1992.
- GRIFFIN, A. Evaluating QFD's use in U.S. firms as a process for developing products. Journal Production Innovation Management, v.9, p.171-87, 1992.
- GRIFFIN, A. Evaluating Development Processes: QFD as an Example. Cambridge, Massachusetts, Marketing Science Institute, 1991.
- GRIFFIN, A; HAUSER, J.R. Patterns of communication among marketing, engineering and manufacturing - A comparison between two new product teams. Management Science, v.38, n.3, Mar. 1992.
- GRIFFIN, A; HAUSER, J.R. The voice of the customer. Chicago, University of Chicago, 1991. (Working Paper)
- HAIR JR, J.F. et al. Multivariate data analysis with readings. 4.ed. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1995. 745p.
- HAUSER, J.R.; CLAUSING, D. The House of Quality. The Harvard Business Review, v.66, n.3, p.63-73, May/June, 1988.
- HONDA, N.; NASU, M. Recongnition of fuzzy languages. In: U.S. JAPAN SEMINAR ON FUZZY SETS AND THEIR APPLICATIONS, 1., Berkeley, 1974. Anais. Orlando, Academic Press, 1975. p.279-99. (Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes).
- INAGAKI, Y.; FUKUMURA, T. On the description of fuzzy meaning of context-free language. In: U.S. JAPAN SEMINAR ON FUZZY SETS AND THEIR APPLICATIONS, 1., Berkeley, 1974. Anais. Orlando, Academic Press, 1975. p301-28. (Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Análise da Gestão da Produção na Indústria de Auto-Peças. São Paulo: IPT/DEES, v.1, p.34 a 40, 1994. (Relatório Técnico Nº 32.710/94)
- ISHIKAWA, K. TQC - Total quality control: estratégia e administração da qualidade. São Paulo, IM&C Internacional, 1986. 220p.

- KANDEL, A. Fuzzy mathematical techniques with applications. Menlo Park, Addison-Wesley Pub., 1986. 274p.
- KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. New York, Wiley, 1976. 274p.
- KENNY, A.A. A New Paradigm for Quality Assurance. Quality Progress, v.21, n.6, June, 1988.
- KING, B. Better Designs in half the time: Implementing Quality Function Deployment in America. Methuen, GOAL/QPC, 1989.
- KOGURE, M.; AKAO, Y. Quality Function Deployment and CWQC in Japan. Quality Progress, v.16, n.10, Oct. 1983.
- KRASLAWSKI, A. et al. Concurrent engineering: fuzzy simulation and similarity in quality loss function deployment and applications. s.l.p., s.c.p., s.d.
- KRASLAWSKI, A.; KOIRANEN, T.; NYSTROM, L.; GOURDON, C. Concurrent engineering: fuzzy simulation and similarity in quality loss function deployment and applications. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON COMPUTER AIDED PROCESS ENGINEERING, 1., Elsimore, 1992. Proceedings...Oxford, Pergamon Press, 1992. p.S361-8.
- LOCASCIO, A.; THURSTON, D.L. Multiattribute optimization with quality function deployment. In: INDUSTRIAL ENGINEERING RESEARCH CONFERENCE, 2., Los Angeles, 1993. Proceedings...Norcross, IIE, 1993. p.82-6.
- LU, M.H.; MADU, C.N.; KUEI, C.; WINOKUR, D. Integrating QFD, AHP and bechmarking in strategic marketing. Journal of Business & Industrial Marketing, v.9, n.1, 41-50, 1994.
- MAIER, M.W. Quantitative engineering analysis with QFD. Quality Engineering, v.7, n.4, p.733-46, 1995.
- MASUD, A.S.; DEAN, E.B. Using fuzzy sets in quality function deployment. In: INDUSTRIAL ENGINEERING RESEARCH CONFERENCE, 2., Los Angeles, 1993. Proceedings...Norcross, IIE, 1993. p.270-4.
- McELROY, J. For whom are we building cars? Automotive Industries, v.167, n.6, June 1987.
- MIZUNO, S. Company-wide total quality control. Tokio, Asian Productivity Organization, 1988. 313p.
- MIZUNO, S., ed. Management for quality improvement: the seven new QC tolls. Cambridge, Productivity Press, 1979. 304p.
- MONTEVECHI, J.A.B.; MIYAGI, P.E. Fuzzy logic- an application for group technology. s.n.t. 20p. /Mimeografado/
- MOSKOWITZ, H.; KIM, K. On assessing the H value in fuzzy linear regression. Fuzzy Sets and Systems, v.58, n.3, p.303-27, Sept. 1993.
- MUNAKATA, T.; JANI, Y. Fuzzy systems: an overview. Communications of the ACM, v.37, n.3, p.69-84, Mar. 1994.

- ROSS, P.J. The Role of Taguchi Methods and Design of Experiments in QFD. Quality Progress, v.21, n.6, June, 1988.
- SAATY, T.L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets. Fuzzy Sets and Systems, v.1, n.1, p.57-68, 1978.
- SAATY, T.L. An exposition of the AHP in reply to the paper "Remarks on the Analytic Hierarchy Process". Management Science, v.36, n.3, p.259-268, Mar.1990.
- SAATY, T.L. Método de análise hierárquica. São Paulo, Makron Book/ McGraw-Hill, 1991. 367p.
- SANTOS, J.A. Desenvolvendo produtos competitivos: exemplo de um modelo integrando a metodologia "desdobramento da Função Qualidade (QFD)". São Paulo, 1996. 283p. Tese (Doutorado) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas.
- SIQUEIRA, J.O. Mensuração da estrutura de preferência do consumidor: uma aplicação de *conjoint analysis* em marketing. São Paulo, 1995. 338p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo.
- SHIPLEY, T. Quality Function Deployment: translating customers needs into product specifications. s.l.p., Department of Industrial Engineering and Management Systems /University of Central Florida, 1992. (Working Paper)
- SULLIVAN, L.P. Policy Management Through Quality Function Deployment. Quality Progress, v.21, n.6, June, 1988.
- SULLIVAN, L.P. Quality Function Deployment: A system to assure that customers needs drive the product design and production process. Quality Progress, v.19, n.6, June, 1986.
- STOWELL, D.M. Quality in the Marketing Process. Quality Progress, v.22, n.10, Oct. 1989.
- TAGUCHI, G. Introduction to quality engineering: design quality into products and processes. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1986.
- TAGUCHI, G;CLAUSING, D. Robust Quality. The Harvard Business Review, v.90, n.1, p.66-75, Jan.-Feb. 1990.
- VERA, D. et ali. An Automotive Case Study. Quality Progress, v.21, n.6, June, 1988.
- WASSERMAN, G.S. On how to prioritize design requirements during the QFD planning process. IIE Transactions, v.25, n.3, p.59-65, May 1993.
- WASSERMAN, G.S. On how to prioritize design requirements during the QFD planning process. IIE Transactions, v.25, n.3, p.59-65, 1993.
- WASSERMAN, G.S. et al. Using fuzzy set theory to derive an overall customer satisfaction index. Detroit, Wayne State University/Dept. Industrial Manufacturing Engineering, 1993. /Mimeografado/

- ZADEH, L.A. Calculus of fuzzy restrictions. In: U.S. JAPAN SEMINAR ON FUZZY SETS AND THEIR APPLICATIONS, 1., Berkeley, 1974. Anais. Orlando, Academic Press, 1975. p.1-39. (Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes).
- ZADEH, L.A. Fuzzy sets. Information and control, v.8, p.338-35, 1965.
- ZADEH, L.A. Fuzzy Logic. Computer, v.21, n.4, p.83-93, Apr. 1988.
- ZHANG, X.; BODE, J.; REN, S. Neural Networks in Quality Function Deployment. Computers ind. Engng, v.31, n.3/4, p.669-673, 1996.
- ZIMMERMANN, H.J. Fuzzy set theory and its applications. 2.ed. Boston, Kluwer, 1991. 399p.

APÊNDICE I -

EXEMPLOS DAS MATRIZES DO QFD

Q, Familyco Mall está localizado onde antes era uma Planta dos Produtos Alimentícios "S".

- 1 - Está na cidade de Kofu mas não na antiga seção.
- 2 - Está em uma área de crescimento populacional.
- 3 - Está perto do Centro Cultural Uamanashi e do museo estadual.
- 4 - Está perto de várias novas lanchonetes.

⇓

Função de Terceiro Nível		Grau de importância		Marcas
Num	Itens	Residentes Locais	Ambiente	
2.1.1	Poder comprar perto de casa	○		População em crescimento
2.3.3	Poder comprar à noite	○		Casais trabalhando estão aumentando
4.4.8			○	As chances de comer fora estão aumentando
5.2.7	Querer informações culturais e educacionais		○	O museo do estado está próximo
5.2.8	Ter classes de esportes		○	Teremos o Encontro Nacional de Atletas 1996
5.4.3	Ter facilidade de entreterimento	○		Um centro de esportes está sendo construído
5.4.7	Poder jantar tarde da noite	○		Números de famílias não tradicionais
5.4.8	Poder encontrar amigos	○		Estão aumentando

⇓

⇓

As lojas de conveniência foram escolhidas através da classificação das condições de negócios baseada na tabela de qualidade demandada.

Variedade de informações: exemplos de outras cidades, esportes estão se tornando populares, popularidade de grandes restaurantes, a indústria de "comer fora".

⇒

⇒

Tipos mistos de lojas de conveniência que vendem entreterimento.

Familyco Mall Lojas Ueishida

Básico: - abrem tarde da noite
- direcionado para jovens donas de casa com crianças.

1 - 355 sq. uds. style: supermercados concentrados em área menor que 355 sq. yds.
2 - Área de restaurante: ter lanches, como: MacDonalds; Mr Donut; Chinese; Japanese; Italian.
3 - Escola de natação: poder fazer compras enquanto as crianças aprendem lições nas escola de natação, ter lanches depois das lições.

FIGURA 2 - Exemplo de Matriz de Benchmarking Externo
Fonte: Adaptado de (AKAO,1988)

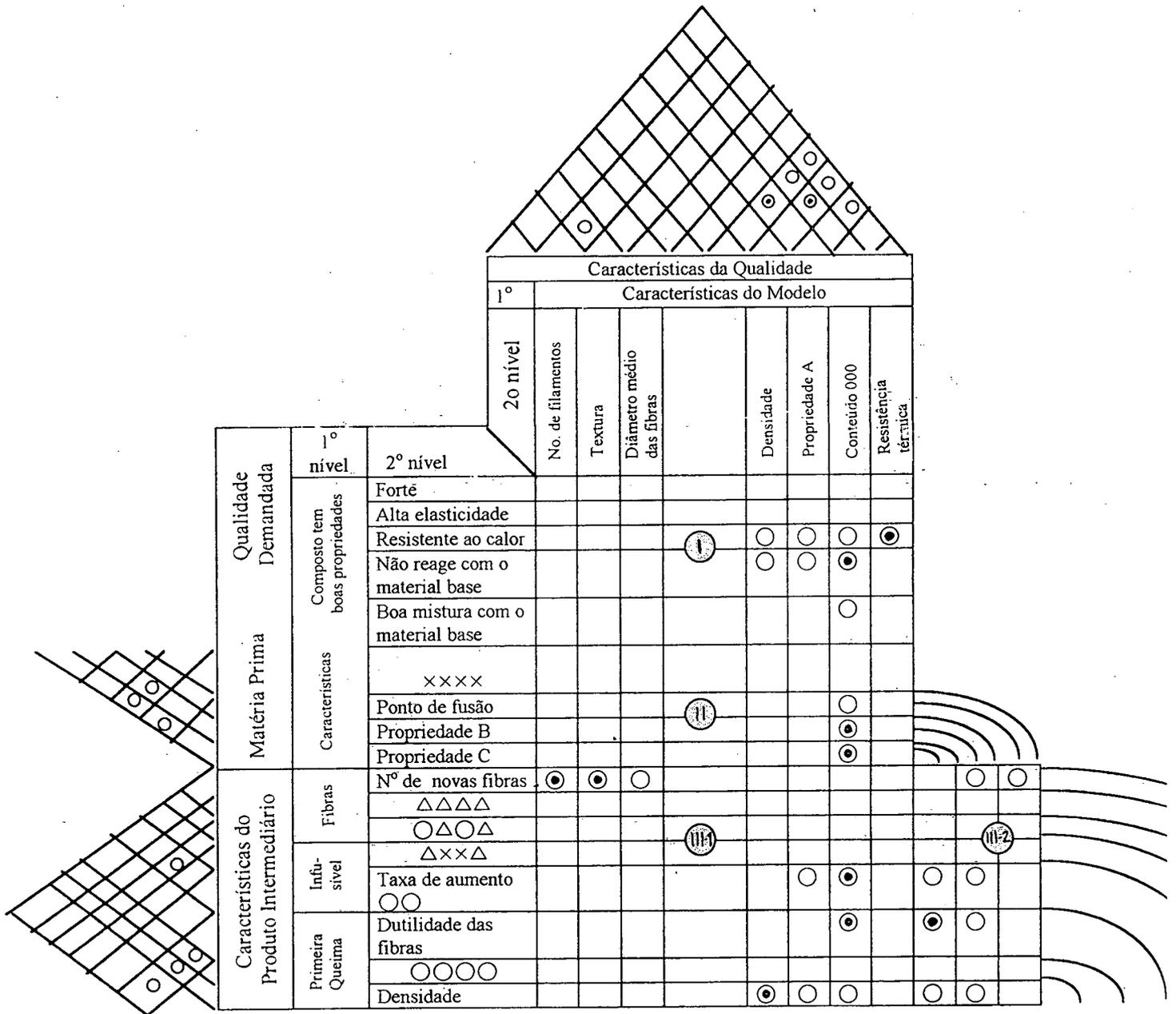


FIGURA 3 - Exemplo de Matriz do QFD - Indústria de Processos
 Fonte: Adaptado de (AKAO,1988)

APÊNDICE II -

**EXEMPLOS DE QUESTIONÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DA VOZ DO CONSUMIDOR**

Muito obrigado por vir a esta loja. Suas respostas para as seguintes questões irão nos ajudar a fazer desta loja mais satisfatória à você, o consumidor.

I. Qual a importância dos seguintes itens na livraria? Pontuação de 1 a 5:

(Exemplo) Tem grande volume de livros

1	2	3	4	5
nada impor- tante	não impor- tante	indiferente	alguma importância	importante

1. Tem boa variedade de bestsellers.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. A data de disponibilidade de livros que não estão no estoque está clara.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Tem variedades de livros de arte (4º andar).

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Tem grande variedade de livros sobre sociologia, literatura, ciência, e história (2º andar).

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

13. Os atendentes se esforçam na procura dos livros para os consumidores.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

14. Pode facilmente encontrar os livros requeridos.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

15. A classificação dos livros é facilmente entendida.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

16. Atrativa, fácil de encontrar a disposição dos livros.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

17. Os livros estão sempre limpos.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

II) Estas questões são sobre você: (Por favor circule)

1. Sexo Masculino Feminino

2 Idade adolescente 20 30 40 50 60 mais de 70

3. Ocupação: escritório governo estudante universitário colégio

FIGURA 1 - Exemplo de Questionário - Livraria
Fonte: Adaptado de (AKAO;1988)

Duas perguntas serão feitas a você. A resposta na coluna 1 indica o quão importante cada item é em influenciar na sua decisão de compra. A resposta na coluna 2 pede que você avalie cada um dos fabricantes em cada item, após você ter experimentado cada um deles.

Por favor, responda as colunas 1 e 2 ao mesmo tempo. Seu questionário inicia-se na página 2.

Questão 1: Os itens aqui listados podem influenciar você na sua decisão de compra de um produto de rádio controle. Na coluna 1, por favor dê notas para o quanto estes itens influenciam na sua decisão de compra. Por favor, circule o nível apropriado.

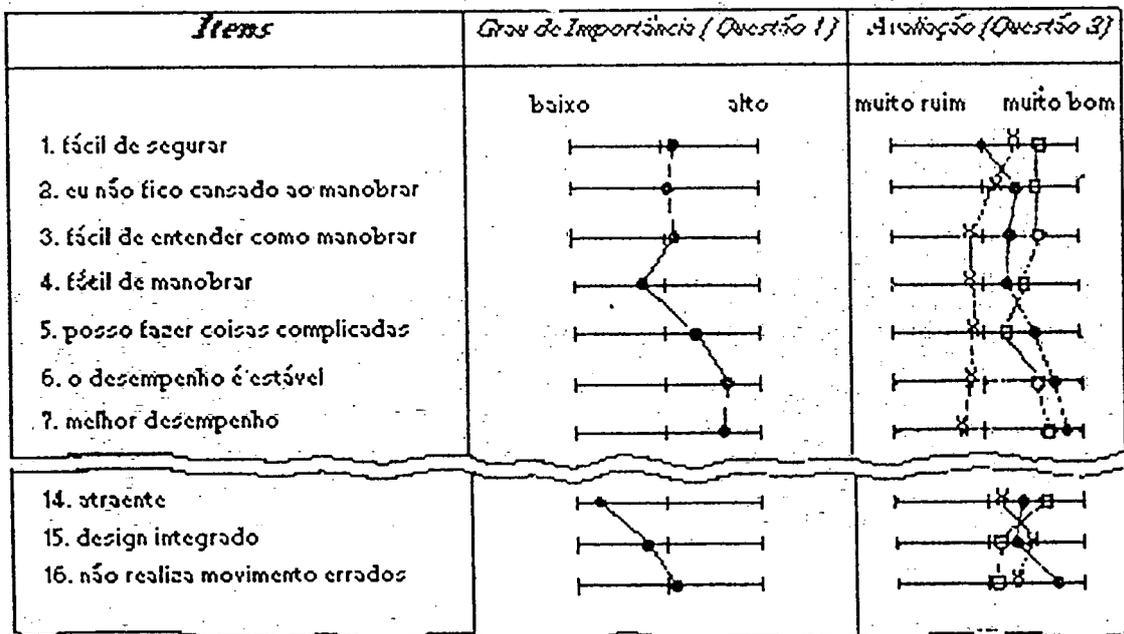
Questão 2: Qual rádio controle você possui normalmente. Por favor, preencha com o nome do fabricante.

- Companhia X.....nome do fabricante ()
- Companhia Y.....nome do fabricante ()
- Companhia Z.....nome do fabricante ()

Na coluna 2, por favor dê notas para cada um dos produtos do fabricante após tê-los usado. Por favor, circule o nível apropriado.

Ítem para julgamento do produto	Coluna 1					Coluna 2					
	nenhu- ma influ- ência	pouca influ- ência	algum a influ- ência	forte influ- ência	influ- ência muito forte	muito ruim	ruim	regu- lar	bom	muito bom	
(exemplo) fácil de manusear						X					
						Y					
						Z					

FIGURA 2 - Exemplo de Questionário - Rádio
 Fonte: Adaptado de (AKAO;1988)



● = Companhia F □ = Companhia X x = Companhia Y

FIGURA 3 - Exemplo de Resultados Consolidados
 Fonte: Adaptado de (AKAO;1988)