

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AVALIAÇÃO QUALITATIVA PARA APOIO À DECISÃO
EM PROJETOS DE CONVERGÊNCIA FIXO-MÓVEL**

CRISTIANO AUGUSTO RIOS

ORIENTADOR: LEONARDO GUERRA DE REZENDE GUEDES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM – 042/07

BRASÍLIA/DF: OUTUBRO – 2007

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AValiação Qualitativa para Apoio à Decisão em
Projetos de Convergência Fixo-Móvel**

CRISTIANO AUGUSTO RIOS

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

APROVADA POR:

**LEONARDO GUERRA DE REZENDE GUEDES, DOUTOR, ENE/UnB
(ORIENTADOR)**

**LUIS FERNANDO RAMOS MOLINARO, DOUTOR, ENE/UnB
(EXAMINADOR INTERNO)**

**GETÚLIO ANTERO DE DEUS JÚNIOR, DOUTOR, EEEC/UFG
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA, 29 DE OUTUBRO DE 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

RIOS, CRISTIANO AUGUSTO

Avaliação Qualitativa para Apoio à Decisão em Projetos de Convergência Fixo-Móvel
[Distrito Federal] 2007.

xxii, 133p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2007).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Convergência Fixo-Móvel | 2. IMS |
| 3. Qualidade do produto tecnológico | 4. Processo decisório |
| 5. AHP | 6. Planejamento Estratégico |
| I. ENE/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Rios, Cristiano Augusto. (2007). Avaliação Qualitativa para Apoio à Decisão em Projetos de Convergência Fixo-Móvel. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM – 042/07, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Cristiano Augusto Rios.

TÍTULO: Avaliação Qualitativa para Apoio à Decisão em Projetos de Convergência Fixo-Móvel.

GRAU: Mestre ANO: 2007

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Cristiano Augusto Rios
QI-23 LT 03 – Apto 412 – Ed. Milão – Guará II.
71.060-631 – Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa, Luciene, por ter estado ao meu lado incondicionalmente desde os primeiros momentos desta empreitada.

Agradeço aos colegas Alberto, Alexandre, Esdras, José Emídio, Patrícia, Rogério e Sérgio, pela presteza, atenção e dedicação com que se propuseram a colaborar com este estudo, respondendo aos questionários.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Leonardo Guerra de Rezende Guedes e ao meu co-orientador Alberto Magno Silveira Boaventura, pelas valiosas observações e direcionamentos ao longo de todo este trabalho.

Agradeço aos Professores Doutores Luis Fernando Ramos Molinaro e Getúlio Antero de Deus Júnior por participarem da banca examinadora e contribuírem com as suas pertinentes sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Finalmente agradeço a Deus e à minha família, pois sei que de alguma forma todos eles contribuíram para a conclusão deste trabalho com sucesso.

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Raul e Marlene, que mesmo sem terem concluído sequer o ensino fundamental, souberam inculcar em mim o valor que a busca e a retenção do conhecimento pode agregar na formação profissional e humana de um indivíduo.

“Quem decide pode errar. Quem não
decide já errou.”

Herbert Von Karajan

RESUMO

AVALIAÇÃO QUALITATIVA PARA APOIO À DECISÃO EM PROJETOS DE CONVERGÊNCIA FIXO-MÓVEL

Autor: Cristiano Augusto Rios

Orientador: Leonardo Guerra de Rezende Guedes

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, Outubro de 2007

Dentro do conturbado ambiente das operadoras de telecomunicações, a convergência fixo-móvel, conhecida como FMC (*Fixed-Mobile Convergence*) pode representar uma alternativa viável para manter as receitas e lucros das operadoras de telecomunicações, mediante a inevitável migração da telefonia fixa para a telefonia móvel. Diante do complexo cenário tecnológico das diversas e distintas soluções de convergência fixo-móvel, o profissional de planejamento destas companhias se depara com a inexistência de critérios comuns que permitam uma comparação qualitativa das diferentes alternativas de convergência fixo-móvel. É desejado que o processo decisório sobre os projetos de tecnologia considere aspectos qualitativos que possam ser mensurados quantitativamente. Percebe-se nestas empresas uma carência de ferramental que possibilite este tipo de análise. Com este intuito, desenvolveu-se a metodologia apresentada neste trabalho, denominada de “Avaliação Qualitativa para Apoio à Decisão em Projetos de Convergência Fixo-Móvel”. No método proposto as alternativas são avaliadas segundo critérios de qualidade do produto tecnológico, definidos na norma *ISO/IEC 9126*, cujos pesos relativos foram definidos por um grupo heterogêneo de avaliadores com diferentes experiências em ambiente de telecomunicações. A estruturação do problema a ser resolvido e classificação das alternativas é realizada através do método *AHP (Analytic Hierarchy Process)*, desenvolvido por Saaty. A comparação paritária de critérios e alternativas propiciada por este método permite a quantificação de aspectos subjetivos, tornando possível a classificação das alternativas sob a ótica da qualidade, permitindo a seleção da solução mais adequada dentre as disponíveis para o problema. Com intuito de comprovar a eficácia da metodologia proposta realizou-se a aplicação da mesma para uma classificação de alternativas de convergência fixo-móvel.

Palavras chave: processo decisório, convergência fixo-móvel, qualidade de produto tecnológico, comparação de alternativas, avaliação de projetos, planejamento estratégico.

ABSTRACT

QUALITATIVE EVALUATION FOR DECISION SUPPORT IN FIXED-MOBILE CONVERGENCE PROJECTS

Author: Cristiano Augusto Rios

Supervisor: Leonardo Guerra de Rezende Guedes

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, October of de 2007

Inside of the turbulent environment of the telecommunications operators, the fixed-mobile convergence can represent a viable alternative to keep revenue and profit of the telecommunications operators, due to inevitable migration of the fixed telephony for the mobile telephony. Under this complex technological scene of the diverse and distinct solutions of fixed-mobile convergence, the planner of this company finds the inexistence of common criteria that allow to a qualitative comparison of the different alternatives of fixed-mobile convergence. It is desired that the decision process on the technology projects considers qualitative aspects that can be measured quantitatively. A lack tools is perceived in these companies that makes possible this type of analysis. With this intention, it was developed the methodology presented in this work, called "Qualitative Evaluation for Decision Support in Fixed-Mobile Convergence Projects". In the proposed method the alternatives are evaluated according to criteria of technological product quality, defined in norm ISO/IEC 9126, whose relative weights had been defined by a heterogeneous group of appraisers with different experiences in the telecommunications environment. The analysis of the problem to be solved and classification of the alternatives is executed by a methodology called AHP (Analytic Hierarchy Process), developed by Saaty. The pair comparison of criteria and alternatives propitiated by this method allows the quantification of subjective aspects, becoming possible the classification of the alternatives under the quality optics, allowing the election of the best solution among the available ones to solve the problem. With intention to prove the effectiveness of the proposed methodology it was applied for a classification of alternatives fixed-mobile convergence.

Keywords: decision process, fixed-mobile convergence, quality of technological product, comparison of alternatives, evaluation of projects, strategical planning.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	MOTIVAÇÃO	1
1.2	SOLUÇÕES DISPONÍVEIS DE CONVERGÊNCIA FIXO-MÓVEL	3
1.2.1	<i>GSM – CTP</i>	5
1.2.2	<i>UMA – GAN</i>.....	7
1.2.3	<i>Wi-Fi – SIP</i>	10
1.3	PROCESSO DECISÓRIO E FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO	13
1.4	OBJETIVO GERAL	13
1.4.1	Objetivos Específicos.....	14
1.5	METODOLOGIA UTILIZADA	14
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2	AS ARQUITETURAS <i>IMS</i> E <i>TISPAN NGN</i>	16
2.1	A ARQUITEURA <i>IMS</i>.....	18
2.1.1	<i>Call Session Control Function (CSCF)</i>.....	21
2.1.1.1	<i>Proxy-CSCF (P-CSCF)</i>	21
2.1.1.2	<i>Interrogating-CSCF (I-CSCF)</i>	22
2.1.1.3	<i>Serving-CSCF (S-CSCF)</i>	22
2.1.1.4	<i>Emergency-CSCF (E-CSCF)</i>.....	23
2.1.2	<i>Home Subscriber Server (HSS)</i>	23
2.1.3	<i>Subscription Locator Function (SLF)</i>.....	23
2.1.4	<i>Media Gateway Control Function (MGCF)</i>	23
2.1.5	<i>Breakout Gateway Control Function (BGCF)</i>	24
2.1.6	<i>Signaling Gateway (SGW)</i>.....	24
2.1.7	<i>Application Server (AS)</i>.....	24
2.1.7.1	<i>Session Initiation Protocol-Application Server (SIP-AS)</i>.....	24
2.1.7.2	<i>Open Service Access-Service Capability Server (OSA-SCS)</i>	24
2.1.7.3	<i>IP Multimedia-Service Switching Function (IM-SSF)</i>.....	25
2.1.8	<i>Multimedia Resource Function (MRF)</i>.....	25
2.1.8.1	<i>Multimedia Resource Function Controller (MRFC)</i>.....	25
2.1.8.2	<i>Multimedia Resource Function Processor (MRFP)</i>.....	25
2.1.9	<i>IP Multimedia Subsystem-Media Gateway (IMS-MGW)</i>	26

2.1.10	<i>Serving GPRS Support Node (SGSN)</i>	26
2.1.11	<i>Gateway GPRS Support Node (GGSN)</i>	26
2.2	A ARQUITECTURA TISPAN NGN	26
2.2.1	A camada de transporte	27
2.2.1.1	<i>Media Gateway Function (MGF)</i>	30
2.2.1.2	<i>Border Gateway Function (BGF)</i>	30
2.2.1.3	<i>Access Relay Function (ARF)</i>	30
2.2.1.4	<i>Signaling Gateway Function (SGF)</i>	31
2.2.1.5	<i>Multimedia Resource Function Processor (MRFP)</i>	31
2.2.1.6	<i>Layer 2 Termination Function (L2TF)</i>	31
2.2.2	A camada de serviço	31
2.2.2.1	<i>O core IP Multimedia Subsystem</i>	31
2.2.3	O subsistema <i>PSTN Emulation Subsystem (PES)</i>	33
2.2.4	Outros subsistemas	34
2.2.5	Componentes comuns	34
2.3	OS BENEFÍCIOS DAS ARQUITECTURAS IMS E TISPAN NGN	36
3	AS NORMAS <i>ISO/IEC 9126</i> e <i>ISO/IEC 14598</i>	40
3.1	O PROCESSO DE AVALIAÇÃO	41
3.1.1	Estabelecimento dos requisitos de avaliação	42
3.1.1.1	Estabelecimento do propósito da avaliação.....	42
3.1.1.2	Identificação dos tipos de produtos a serem avaliados.....	43
3.1.1.3	Especificação do modelo de qualidade.....	44
3.1.2	Especificação da avaliação	46
3.1.2.1	Seleção de métricas	46
3.1.2.2	Estabelecimento de níveis de pontuação para as métricas	47
3.1.2.3	Estabelecimento de critérios para julgamento	49
3.1.3	Projeção da Avaliação	49
3.1.3.1	Produção do plano de avaliação	49
3.1.4	Execução da avaliação	50
3.1.4.1	Tomada de medidas	50
3.1.4.2	Comparação com critérios	50
3.1.4.3	Julgamento dos resultados	50
3.2	UM MODELO PARA A QUALIDADE	52

3.2.1	Funcionalidade.....	54
3.2.2	Confiabilidade.....	55
3.2.3	Usabilidade	55
3.2.4	Eficiência	56
3.2.5	Manutenibilidade.....	56
3.2.6	Portabilidade.....	57
4	O PROCESSO DECISÓRIO.....	58
4.1	O MODELO CLÁSSICO PARA TOMADA DE DECISÃO	62
4.2	O MODELO ADMINISTRATIVO PARA TOMADA DE DECISÃO	63
4.3	ETAPAS DE UM PROCESSO DECISÓRIO.....	64
4.3.1	Identificação do problema	65
4.3.2	Identificação dos critérios de decisão	65
4.3.3	Determinação dos pesos dos critérios	65
4.3.4	Desenvolvimento de Alternativas.....	65
4.3.5	Análise das Alternativas.....	65
4.3.6	Seleção de alternativa	66
4.3.7	Implementação.....	66
4.3.8	Avaliação	67
4.4	MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS.....	67
4.4.1	O método <i>AHP</i>	67
4.4.1.1	Características do problema	70
4.4.1.2	Estruturação do sistema de apoio proposto	70
4.4.1.3	Avaliação da estrutura hierárquica	71
4.4.1.4	Aplicação do sistema de apoio proposto	74
4.4.1.5	Análise do desempenho das alternativas	76
5	UMA FERRAMENTA DE APOIO AO PROCESSO DECISÓRIO E APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....	78
5.1	O PROCESSO DE AVALIAÇÃO	78
5.2	A APLICAÇÃO DO MÉTODO <i>AHP</i>	80
5.2.1	Características do problema.....	80
5.2.2	Estruturação do sistema de apoio proposto	80

5.2.3	Avaliação da estrutura hierárquica	81
5.2.4	Aplicação do sistema de apoio proposto	87
5.2.5	Análise do desempenho das alternativas	95
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
6.1	CONCLUSÕES GERAIS	99
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	APÊNDICES	
A	METODOLOGIA <i>AHP</i> (<i>ANALYTIC HIERARCHY PROCESS</i>).....	104
A.1	O MÉTODO	104
A.1.1	Relação de Consistência:	109
A.2	Racionalidade do número 9 como limite superior	111
B	O <i>SOFTWARE EXPERT CHOICE</i>	113
C	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA <i>AHP</i>	114
D	QUESTIONÁRIO PARA DEFINIÇÃO DAS IMPORTÂNCIAS RELATIVAS DAS CARACTERÍSTICAS E SUBCARACTERÍSTICAS	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Escala de Saaty	72
Tabela 4.2 – Índices randômicos médios de inconsistência	74
Tabela 5.1 – Acompanhamento do processo de avaliação	79
Tabela 5.2 – Grupo de avaliadores	81
Tabela 5.3 – Matriz de comparação paritária entre os critérios.....	82
Tabela 5.4 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Funcionalidade	83
Tabela 5.5 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Confiabilidade.....	83
Tabela 5.6 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Usabilidade.....	84
Tabela 5.7 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Eficiência	84
Tabela 5.8 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Manutenibilidade	85
Tabela 5.9 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Portabilidade	85
Tabela 5.10 – Classificação dos sub-critérios segundo a importância absoluta.....	86
Tabela 5.11 – Avaliador do nível de preferência das alternativas.....	87
Tabela 5.12 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Adequação.....	87
Tabela 5.13 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Acurácia	88
Tabela 5.14 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Interoperabilidade.....	88
Tabela 5.15 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Segurança de Acesso.....	88
Tabela 5.16 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Funcionalidade	88
Tabela 5.17 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Maturidade	89

Tabela 5.18 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Tolerância a Falhas.....	89
Tabela 5.19 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Recuperabilidade.....	89
Tabela 5.20 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Confiabilidade	89
Tabela 5.21 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Inteligibilidade	90
Tabela 5.22 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Aprendibilidade.....	90
Tabela 5.23 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Operacionalidade.....	90
Tabela 5.24 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Atratividade.....	90
Tabela 5.25 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Usabilidade.....	91
Tabela 5.26 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Comportamento em relação ao Tempo	91
Tabela 5.27 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Comportamento em relação aos Recursos	91
Tabela 5.28 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Eficiência.....	91
Tabela 5.29 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Analisabilidade.....	92
Tabela 5.30 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Modificabilidade	92
Tabela 5.31 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Estabilidade	92
Tabela 5.32 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Testabilidade	92
Tabela 5.33 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Manutenibilidade.....	93
Tabela 5.34 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Adaptabilidade	93

Tabela 5.35 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Capacidade de Instalação	93
Tabela 5.36 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Coexistência	93
Tabela 5.37 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Capacidade de Substituição.....	94
Tabela 5.38 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Portabilidade.....	94
Tabela 5.39 – Legenda dos sub-critérios da figura 5.5.....	96
Tabela A.1 – Escala de comparação paritária da metodologia <i>AHP</i>	112
Tabela D.1 – Escala para avaliação da importância relativa das qualidades internas e externas da norma <i>ISO/IEC 9126</i>	131
Tabela D.2 – Tabela para avaliação da importância relativa das qualidades internas e externas da norma <i>ISO/IEC 9126</i>	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Evolução das plantas de telefonia fixa e móvel no Brasil.....	1
Figura 1.2 – A convergência fixo-móvel com a solução <i>GSM – CTP</i>	5
Figura 1.3 – A convergência fixo-móvel com a solução <i>UMA – GAN</i>	8
Figura 1.4 – A convergência fixo-móvel com a solução <i>Wi-Fi – SIP</i>	10
Figura 2.1 – Contexto atual da arquitetura das redes de telecomunicações	16
Figura 2.2 – Arquitetura convergente <i>IMS (3GPP)</i>	17
Figura 2.3 – Linha de evolução de convergência das arquiteturas <i>IMS</i> e <i>TISPAN NGN</i>	17
Figura 2.4 – Os órgãos de padronização e arquitetura <i>IMS</i>	18
Figura 2.5 – Os elementos e as conexões da arquitetura <i>IMS</i>	20
Figura 2.6 – A arquitetura <i>TISPAN NGN</i>	27
Figura 2.7 – Os elementos das funções de transferência.....	29
Figura 2.8 – As entidades do core <i>IMS</i> da arquitetura <i>TISPAN NGN</i>	32
Figura 2.9 – As entidades do <i>PES</i>	34
Figura 2.10 – Os componentes comuns da arquitetura <i>TISPAN NGN</i>	35
Figura 3.1 – O processo de avaliação	42
Figura 3.2 – Níveis de pontuação para as métricas	48
Figura 3.3 – As qualidades internas e externas da <i>ISO/IEC 9126</i>	53
Figura 3.4 – Modelo <i>ISO/IEC 9126</i> de características de qualidade.....	54
Figura 4.1 – Escala de situação de decisão.....	59
Figura 4.2 – Etapas de um processo decisório.....	64
Figura 4.3 – A hierarquia do método <i>AHP</i>	71
Figura 4.4 – Exemplo de uma classificação de alternativas.....	76
Figura 4.5 – Exemplo de análise de desempenho das alternativas.....	76
Figura 5.1 – Índices de importância relativa dos critérios.....	82
Figura 5.2 – Classificação das alternativas.....	94
Figura 5.3 – Análise de desempenho das alternativas conforme os sub-critérios	95
Figura 5.4 – Análise de desempenho das alternativas conforme os critérios	97
Figura C.1 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de digitação do objetivo da decisão...	114
Figura C.2 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de digitação dos critérios da decisão.	115
Figura C.3 – Interface do <i>software Expert Choice</i> após digitação dos critérios da decisão	115

Figura C.4 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de visualização da hierarquia definida	116
Figura C.5 – Botão do <i>software Expert Choice</i> para a inserção das alternativas	117
Figura C.6 – Interface do <i>software Expert Choice</i> para a inserção das alternativas	117
Figura C.7 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de visualização da hierarquia após digitação das alternativas.....	118
Figura C.8 – Botão do <i>software Expert Choice</i> para realizar a comparação paritária dos critérios	118
Figura C.9 – Interface do <i>software Expert Choice</i> para realizar a comparação paritária dos critérios	119
Figura C.10 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de visualização do grau de importância relativa ou pesos dos critérios.....	120
Figura C.11 – Interface do <i>software Expert Choice</i> para realizar a comparação paritária das alternativas para o critério Preço	121
Figura C.12 – Interface do <i>software Expert Choice</i> para realizar a comparação paritária das alternativas para o critério Aspecto	121
Figura C.13 – Interface do <i>software Expert Choice</i> para realizar a comparação paritária das alternativas para o critério Quantidade Disponível	122
Figura C.14 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de visualização do grau de preferência das alternativas sob a ótica do critério Preço.....	123
Figura C.15 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de visualização do grau de preferência das alternativas sob a ótica do critério Aspecto.....	123
Figura C.16 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de visualização do grau de preferência das alternativas sob a ótica do critério Quantidade Disponível.....	124
Figura C.17 – Interface do <i>software Expert Choice</i> de visualização do grau de preferência das alternativas ponderado pelos pesos de cada critério	125
Figura C.18 – Menu do <i>software Expert Choice</i> para visualização da síntese do processo decisório utilizado	125
Figura C.19 – Interface do <i>software Expert Choice</i> para visualização gráfica da síntese do processo decisório utilizado	126
Figura C.20 – Interface do <i>software Expert Choice</i> para visualização dos detalhes da síntese do processo decisório utilizado.....	126
Figura D.1 – As qualidades internas e externas da <i>ISO/IEC 9126</i>	128

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

<i>3GPP</i>	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
<i>3GPP2</i>	<i>3rd Generation Partnership Project 2</i>
a_{ij}	Comparação paritária entre os critérios <i>i</i> e <i>j</i>
<i>AAA</i>	<i>Authentication, Authorization, Accounting</i>
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ADSL</i>	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
<i>AGCF</i>	<i>Access Gateway Control Function</i>
<i>AHP</i>	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
<i>ALG</i>	<i>Application Level Gateway</i>
<i>A-MGF</i>	<i>Access-Media Gateway Function</i>
<i>ANATEL</i>	Agência Nacional de Telecomunicações
<i>ANP</i>	<i>Analytic Network Process</i>
<i>AP</i>	<i>Access Point</i>
<i>API</i>	<i>Application Programming Interface</i>
<i>ARF</i>	<i>Access Relay Function</i>
<i>AS</i>	<i>Application Server</i>
<i>ASF</i>	<i>Application Server Functions</i>
<i>BGCF</i>	<i>Breakout Gateway Control Function</i>
<i>BGF</i>	<i>Border Gateway Function</i>
<i>BRAS</i>	<i>Broadband Remote Access Server</i>
<i>BSC</i>	<i>Base Station Controller</i>
<i>CAMEL</i>	<i>Customized Applications for Mobile Network Enhanced Logic</i>
<i>CAP</i>	<i>CAMEL Application Part</i>
<i>CB</i>	Comitês Brasileiros
<i>CBA</i>	<i>Cost and Benefit Analysis</i>
<i>C-BGF</i>	<i>Core-Border Gateway Function</i>
<i>CE</i>	Comissões de Estudo
<i>CENTREX</i>	<i>Central Exchange</i>
<i>CM</i>	<i>Cable Modem</i>
<i>CMTS</i>	<i>Cable Modem Termination System</i>
<i>CSCF</i>	<i>Call Session Control Function</i>

<i>CTP</i>	<i>Cordless Telephony Profile</i>
<i>DNS</i>	<i>Domain Name System</i>
<i>DSLAM</i>	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>
<i>EC</i>	<i>Expert Choice</i>
<i>E-CSCF</i>	<i>Emergency-Call Session Control Function</i>
<i>ETSI</i>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
<i>EVA</i>	<i>Economic Value Added</i>
<i>FDA</i>	<i>Fuzzy Decision Approach</i>
<i>FGNGN</i>	<i>Focus Group on NGN</i>
<i>FMC</i>	<i>Fixed-Mobile Convergence</i>
<i>FMCA</i>	<i>Fixed-Mobile Convergence Alliance</i>
<i>GAN</i>	<i>Generic Access Network</i>
<i>GGSN</i>	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
<i>GPRS</i>	<i>General Packet Radio Service</i>
<i>GSM</i>	<i>Global System for Mobile</i>
<i>HLR</i>	<i>Home Location Register</i>
<i>HSS</i>	<i>Home Subscriber Server</i>
<i>HTML</i>	<i>HyperText Markup Language</i>
<i>HTTP</i>	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
<i>HTTPS</i>	<i>HyperText Transfer Protocol Secure</i>
<i>IBCF</i>	<i>Interconnection Border Control Function</i>
<i>IC</i>	<i>Índice de consistência</i>
<i>IR</i>	<i>Índice randômico médio de inconsistência</i>
<i>I-BGF</i>	<i>Interconnection-Border Gateway Function</i>
<i>I-CSCF</i>	<i>Interrogating-Call Session Control Function</i>
<i>IEC</i>	<i>International Electrotechnical Commission</i>
<i>IETF</i>	<i>Internet Engineering Task Force</i>
<i>IMS</i>	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
<i>IM-SSF</i>	<i>IP Multimedia-Switching Service Function</i>
<i>IP</i>	<i>Internet Protocol</i>
<i>IPTV</i>	<i>Internet Protocol Television</i>
<i>IPV4</i>	<i>Internet Protocol Version 4</i>
<i>IPV6</i>	<i>Internet Protocol Version 6</i>
<i>ISDN</i>	<i>Integrated Services Digital Network</i>

<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>ISUP</i>	<i>ISDN User Part</i>
<i>ITU-T</i>	<i>International Telecommunication Union-Telecommunications</i>
<i>IWF</i>	<i>Interworking Function</i>
<i>JTC</i>	<i>Joint Technical Committees</i>
<i>L2TF</i>	<i>Layer 2 Termination Function</i>
<i>MACBETH</i>	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
<i>MCDA</i>	<i>Multiple Criteria Decision Aid</i>
<i>MGCF</i>	<i>Media Gateway Control Function</i>
<i>MGF</i>	<i>Media Gateway Function</i>
<i>MGW</i>	<i>Media Gateway</i>
<i>MMS</i>	<i>Multimedia Messaging Service</i>
<i>MRFC</i>	<i>Multimedia Resources Function Controller</i>
<i>MRFP</i>	<i>Multimedia Resources Function Processor</i>
<i>MSC</i>	<i>Mobile Switching Center</i>
<i>MTP</i>	<i>Media Transfer Protocol</i>
<i>NAPT</i>	<i>Network Address and Port Translation</i>
<i>NASS</i>	<i>Network Attachment Subsystem</i>
<i>NAT</i>	<i>Network Address Translation</i>
<i>NGN</i>	<i>Next Generation Networking</i>
<i>O&M</i>	<i>Operação & Manutenção</i>
<i>OMA</i>	<i>Open Mobile Alliance</i>
<i>ONS</i>	<i>Organismos de Normalização Setorial</i>
<i>OSA</i>	<i>Open Service Architecture</i>
<i>OSS</i>	<i>Operation Support Services</i>
<i>PCM</i>	<i>Pulse Code Modulation</i>
<i>P-CSCF</i>	<i>Proxy-Call Session Control Function</i>
<i>PES</i>	<i>PSTN Emulation System</i>
<i>PLMN</i>	<i>Public Land Mobile Network</i>
<i>PoC</i>	<i>Push to Talk over Cellular</i>
<i>POTS</i>	<i>Plain Old Telephone Service</i>
<i>PSTN</i>	<i>Public Switched Telephone Network</i>
<i>QoS</i>	<i>Quality of Service</i>
<i>RACS</i>	<i>Resource and Admission Control Subsystem</i>

<i>RAN</i>	<i>Radio Access Network</i>
<i>RC</i>	Grau de inconsistência da matriz de comparação paritária
<i>RCEF</i>	<i>Resource Control Enforcement Function</i>
<i>RDSI</i>	Rede Digital de Serviços Integrados
<i>R-MGF</i>	<i>Residential-Media Gateway Function</i>
<i>RTP</i>	<i>Real Time Protocol</i>
<i>SBC</i>	<i>Session Border Controller</i>
<i>SCN</i>	<i>Switched Circuit Network</i>
<i>SCP</i>	<i>Service Control Point</i>
<i>SCS</i>	<i>Service Capability Server</i>
<i>S-CSCF</i>	<i>Serving-Call Session Control Function</i>
<i>SDP</i>	<i>Session Description Protocol</i>
<i>SGF</i>	<i>Signaling Gateway Function</i>
<i>SGSN</i>	<i>Serving GPRS Support Node</i>
<i>SGW</i>	<i>Signaling Gateway</i>
<i>SIGTRAN</i>	<i>Signaling Transport</i>
<i>SIP</i>	<i>Session Initiation Protocol</i>
<i>SLF</i>	<i>Subscription Locator Function</i>
<i>SMS</i>	<i>Short Message Service</i>
<i>SMSC</i>	<i>Short Message Service Center</i>
<i>SS7</i>	<i>Signaling System #7</i>
<i>SSP</i>	<i>Service Switching Point</i>
<i>STFC</i>	Serviço Telefônico Fixo Comutado
<i>TI</i>	Tecnologia da Informação
<i>TISPAN</i>	<i>Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks</i>
<i>T-MGF</i>	<i>Trunking-Media Gateway Function</i>
<i>TOPSIS</i>	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
<i>UMA</i>	<i>Unlicensed Mobile Access</i>
<i>UPSF</i>	<i>User Profile Server Function</i>
<i>URI</i>	<i>Universal Resource Identifier</i>
<i>VoIP</i>	<i>Voice over IP</i>
w_j	Importância relativa do critério j
w_{kj}	Importância relativa do sub-critério k do critério j
v_{kj}	Desempenho ou nível de preferência da alternativa analisada no sub-critério k

<i>WAP</i>	<i>Wireless Application Protocol</i>
<i>Wi-Fi</i>	<i>Wireless Fidelity</i>
<i>WiMAX</i>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
<i>WLAN</i>	<i>Wireless Local Area Network</i>
λ	Autovalor da matriz de comparação paritária
λ_{max}	Maior autovalor da matriz de comparação paritária

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Neste começo de milênio o setor de telecomunicações atravessa um período de transição onde a telefonia fixa vem perdendo espaço para telefonia móvel. Trata-se de um fenômeno mundial de substituição de terminais fixos convencionais por aparelhos celulares. A figura 1.1 mostra que no mercado brasileiro a constatação deste movimento mundial pode ser facilmente verificada.

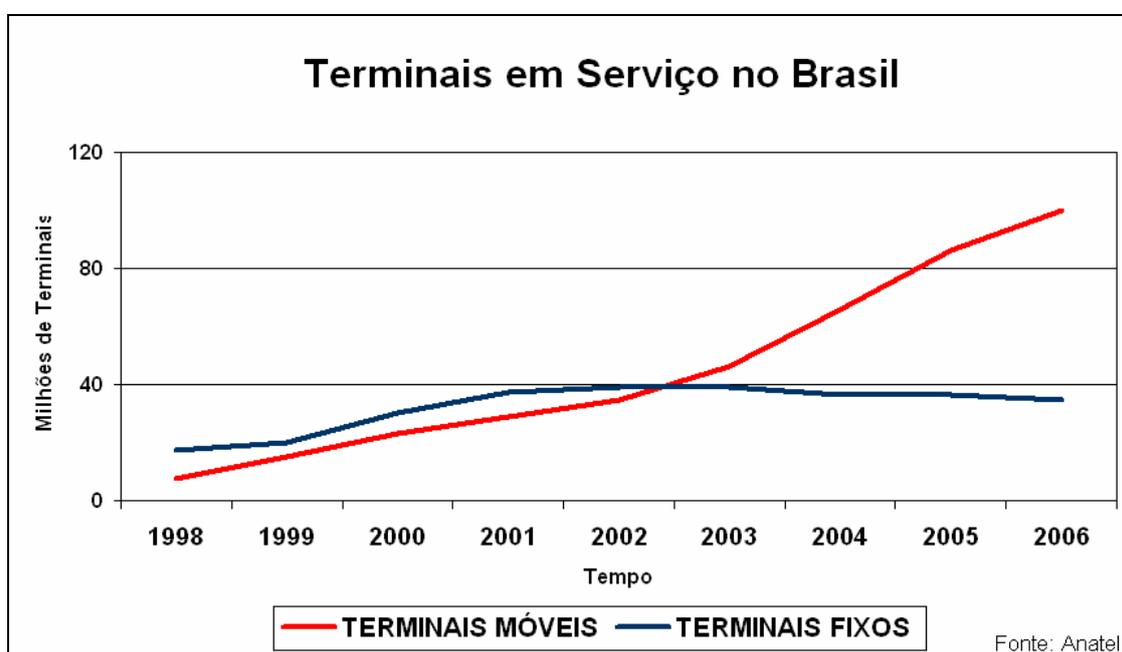


Figura 1.1 – Evolução das plantas de telefonia fixa e móvel no Brasil

Desta forma as operadoras de telefonia fixa enfrentam uma situação onde a sua maior fonte de receita e lucro vem sendo reduzida a cada mês. É inevitável que os resultados destas companhias sejam afetados, implicando em redução das margens e ou perda da base de assinantes.

A migração do tráfego da telefonia fixa para a telefonia móvel parece ser irreversível. O objetivo das operadoras de telefonia fixa não é mais evitar a migração de tráfego e sim coibir a migração de usuários para outras prestadoras. A alternativa que estas empresas estão encontrando é iniciar uma operação conjunta com uma operadora móvel, o que pode ocorrer através de uma fusão, uma ou várias aquisições ou ainda mediante formação de

novas empresas dentro de um mesmo grupo. A sobrevivência destas novas grandes companhias está relacionada à capacidade de oferecer aos seus atuais e novos clientes, serviços convergentes que aglutinem a confiabilidade, a qualidade e as menores tarifas da telefonia fixa com a praticidade e a mobilidade da telefonia móvel.

Para as operadoras de telefonia fixa, a convergência passa a ser uma questão de sobrevivência no mercado, principalmente em função da ameaça representada pelos seus concorrentes (fixos e móveis) e pelos novos *players*, que podem, logo no início das operações, utilizar novas tecnologias de menor custo como *VoIP*, *Wi-Fi* e *WiMAX*. A convergência fixo-móvel se apresenta como uma oportunidade das operadoras de telefonia fixa reverterem a redução das margens e ou perda da base de assinantes observada nos últimos anos.

É neste contexto que o conceito de *FMC (Fixed-Mobile Convergence)* é introduzido pela Indústria de Telecomunicações. A convergência fixo-móvel deve ser entendida com a entrega de serviços de comunicações via combinação das tecnologias fixa e móvel com transparência aos usuários, onde a solução *FMC* deve otimizar automaticamente, sem intervenção do usuário, os recursos das duas redes e com independência da tecnologia de acesso, permitindo que todos os usuários possam acessar o mesmo conjunto de serviços independente da tecnologia de acesso.

O grande desafio dos profissionais de planejamento destas operadoras de telecomunicações é implementar as estratégias para prover os serviços convergentes, através de redes que não são convergentes. Do lado da telefonia fixa existe uma rede robusta com uma gama de serviços tradicionais consolidados, que carrega consigo todo o “peso” histórico da evolução gradativa que vem ocorrendo desde que Antônio Meucci¹ inventou o telefone. Do outro lado, a rede da telefonia móvel, apesar de mais recente, também já vem sofrendo constantes evoluções e também já possui os seus “legados”.

A convergência total dos serviços de comunicação deve ocorrer sobre um ambiente completamente IP, previsto na arquitetura definida pelo *TISPAN (Telecoms & Internet*

¹ Em 16 de junho de 2002, o Congresso Americano reconheceu Antônio Meucci como o verdadeiro inventor do telefone (Jeszensky, 2003).

converged Services & Protocols for Advanced Networks) denominada *NGN TISPAN (Next Generation Network TISPAN)*, que é o projeto responsável por elaborar as especificações da *NGN* dentro do *ETSI (European Telecommunications Standards Institute)*. O “core” desta arquitetura é uma outra arquitetura denominada *IMS (IP Multimedia Subsystem)*, que foi originalmente concebida pelo *3GPP (3rd Generation Partnership Project)*. Estas arquiteturas serão mais bem detalhadas no capítulo 2 deste trabalho.

Os investimentos nas redes novas e existentes sempre deverão levar em consideração todos estes aspectos de evolução das redes. Diante deste complexo cenário tecnológico que o planejador deve tomar as suas decisões as quais definirão quando, como e quais projetos de evolução das redes serão implementados.

Avaliar sob uma ótica única as diferentes características das diversas soluções de convergência fixo-móvel e dos diferentes serviços convergentes, estabelecendo parâmetros que propiciem a uma operadora de telecomunicações definir e planejar novos serviços convergentes. Este é um grande desafio a ser enfrentado pelas Operadoras de Telecomunicações e seus profissionais de planejamento.

1.2 SOLUÇÕES DISPONÍVEIS DE CONVERGÊNCIA FIXO-MÓVEL

Apesar de representarem o futuro das telecomunicações, as duas arquiteturas que serão descritas no próximo capítulo ainda são incipientes na absoluta maioria das operadoras de telecomunicações do mundo. Apenas alguns elementos destas arquiteturas estão em funcionamento desempenhando funções isoladas para determinados serviços. A substituição da atual rede de telefonia, também conhecida como *replacement*, passa por diversos fatores econômicos e técnicos e vem sendo estudada por acadêmicos e profissionais das próprias empresas nos últimos anos. Estas discussões procuram estabelecer quando e como deverá ocorrer a implantação das arquiteturas mostradas no capítulo 2 desta dissertação.

A convergência fixo-móvel, apontada como uma grande arma para conter a migração do tráfego entre terminais fixos para a rede móvel, ocorrerá sem dúvida com a implantação destas arquiteturas. Todavia, a crescente queda no faturamento das companhias que possuem uma base de assinantes fixos majoritária, obriga estas empresas a encontrarem

soluções de convergência fixo-móvel que possam ser implementadas nas redes atuais. Conforme foi exposto no item 1.1 deste documento, a convergência fixo-móvel é uma questão de sobrevivência para estas operadoras de telefonia, devendo ser disponibilizada aos seus clientes imediatamente.

Uma análise de comportamento dos usuários de telefonia móvel reforça a idéia de que a convergência fixo-móvel pode ser bastante eficiente como uma das estratégias para reverter este quadro de redução de receitas. Segundo o boletim Painel Telecom (Brasil Telecom, 31 mai. 2007) um estudo recente realizado pela consultoria Deloitte, que indica que 70% das chamadas originadas por terminais móveis são e continuarão sendo realizadas em ambientes fechados. Esta característica mundial dos usuários pode favorecer a convergência fixo-móvel, permitindo às operadoras oferecer vantagens aos usuários como maior banda para os serviços de dados e melhor qualidade nas ligações originadas por terminais móveis em ambientes onde exista rede fixa. Outra consequência desta tendência é uma produção cada vez maior de terminais móveis duais, fator este que é imprescindível para o crescimento da convergência fixo-móvel.

Diante deste cenário surgem três propostas de serviços convergentes que podem ser implementados nas redes das operadoras de telecomunicações imediatamente, sem a necessidade de que as arquiteturas *IMS* ou *TISPAN NGN* estejam implementadas. É óbvio que estas implementações são estanques e não representam a convergência das redes que as referidas arquiteturas propõem. No entanto, sob a ótica do usuário do serviço a convergência fixo-móvel ocorre de fato, ficando a operadora com a complexidade operacional de possuir redes não convergentes. Realmente não é a melhor condição em que a operadora pode prestar o serviço, mas é a condição possível em que a operadora pode prestar o serviço hoje, pois a demanda pela convergência fixo-móvel não pode esperar o *replacement* da rede.

Em seguida será feito um breve descritivo, baseado nas especificações produzidas pela *Fixed-Mobile Convergence Alliance FMCA* (2005a, 2005b, 2006) e pela *Bluetooth TM* (2001) e no artigo de Bisdikian (2001), das três soluções de convergência fixo-móvel, que já se encontram disponíveis pelo mundo. São elas: *GSM – CTP (Global System for Mobile – Cordless Telephony Profile)*, *UMA – GAN (Unlicensed Mobile Access – Generic Access Network)* e *Wi-Fi – SIP (Wireless-Fidelity – Session Initiation Protocol)*.

1.2.1 GSM – CTP

A solução de convergência fixo-móvel conhecida como *GSM – CTP* (*Global System for Mobile – Cordless Telephony Profile*) é uma solução com uma implementação muito simples dentro de uma operadora de telecomunicações, pois não implica em investimentos nas redes fixa e móvel, bastando disponibilizar ao usuário uma linha fixa, uma linha móvel, um *Access Point Bluetooth CTP* (AP) e um aparelho móvel dual. A convergência ocorre no aparelho móvel, que deve ser um aparelho com *bluetooth* com capacidade *CTP*, o que na prática significa um *software* específico que proporcione a funcionalidade *CTP* utilizando o *bluetooth* do aparelho. A figura 1.2 mostra a topologia básica da solução.

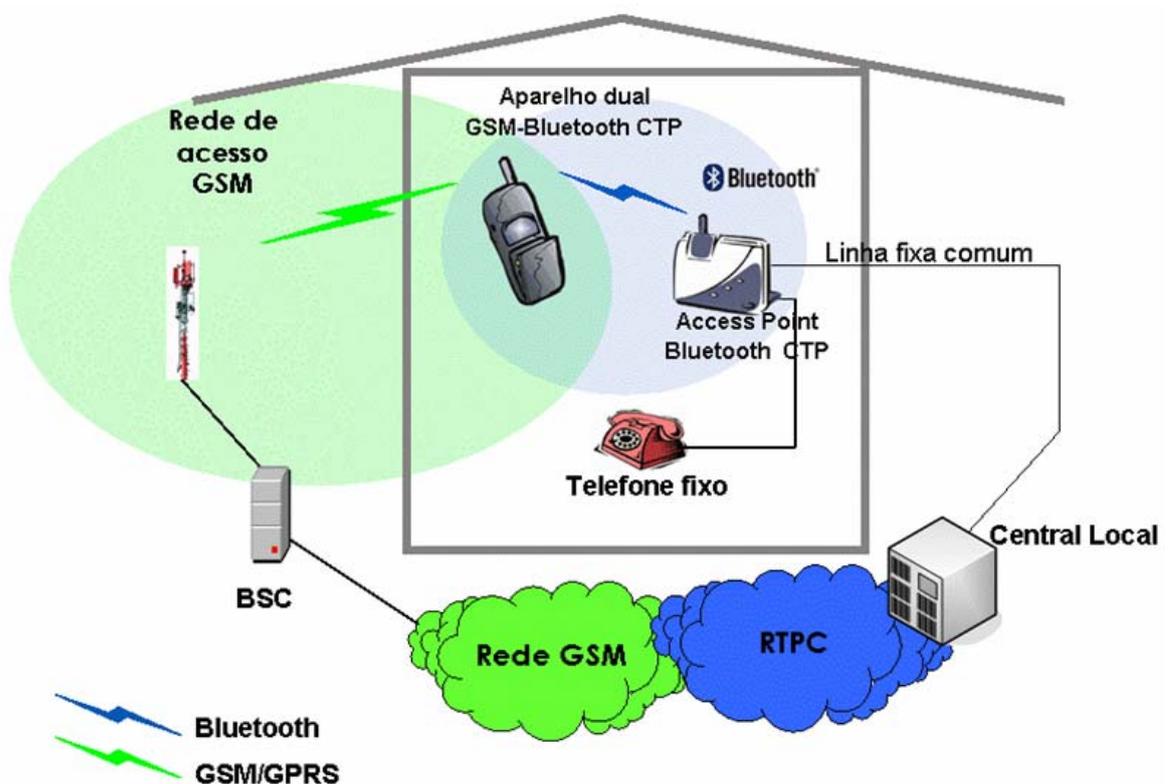


Figura 1.2 – A convergência fixo-móvel com a solução *GSM – CTP*
Fonte: Adaptado de *FMCA – Fixed-Mobile Convergence Alliance* (2006)

A convergência fixo-móvel através de *GSM – CTP* é uma solução de roteamento baseado em presença, em que quando o aparelho móvel encontra-se dentro da área de cobertura do AP, ele está conectado simultaneamente às redes *GSM* e *STFC*. Nesta condição, o usuário pode escolher por qual rede deseja cursar a chamada que ele vai iniciar, sendo que esta configuração pode ser automática e predeterminada através de prefixos, lista de contatos ou outro critério.

As chamadas realizadas pela rede fixa são tarifadas como se houvessem sido originadas a partir do telefone fixo, enquanto as chamadas realizadas pela rede móvel têm o mesmo tratamento que as chamadas realizadas quando o usuário não está na área de cobertura do *AP*.

Existe ainda a opção de se programar a solução para que o aparelho móvel toque simultaneamente com o aparelho fixo, quando a linha fixa receber uma chamada, transformando o aparelho móvel em uma extensão sem fio da linha fixa.

A solução *GSM – CTP* implementada sobre uma rede de telefonia STFC (Serviço Telefônico Fixo Comutado) possui as seguintes características:

- É possível conectar simultaneamente até seis terminais móveis em um mesmo *access point*;
- O *access point* suporta a conexão de até duas linhas telefônicas, sendo que o aparelho móvel é associado a uma linha fixa na configuração inicial;
- A linha fixa não possui capacidade para cursar várias chamadas simultaneamente, a não ser que exista disponibilidade na linha fixa de serviço suplementar de multi-conferência;
- Quando o terminal móvel está funcionando como uma extensão sem fio da linha fixa, o mesmo poderá possuir um toque diferenciado do toque das chamadas destinadas à linha móvel;
- Ao se atender a chamada destinada à linha fixa através do terminal móvel, a campainha do terminal fixo para de tocar;
- telefone fixo fica em pleno funcionamento, mesmo que o *AP* esteja desligado.

Descrever o funcionamento das tecnologias *bluetooth* ou *CTP* não é objetivo deste trabalho. A preocupação aqui é relacionar os aspectos positivos e negativos da solução sob a ótica da operadora de telecomunicações e dos usuários do serviço. Assim, pode-se citar como pontos positivos da solução:

- Solução de baixo custo e de implementação simples;
- Não exige implantação de novos equipamentos nas redes atuais;

- Evita a desconexão da linha fixa do usuário, mantendo a principal fonte de receita e lucro das operadoras de telefonia fixa;
- Indepe de acesso de banda larga ou de cobertura de outra rede de acesso, permitindo disponibilidade a todo o usuário do STFC, bastando apenas a cobertura da rede *GSM*, o que torna o público-alvo do serviço no Brasil muito grande.
- Permite à operadora agrupar as contas de telefonia fixa e móvel;
- A solução pode gerar economia para o usuário, que pode configurar automaticamente o roteamento das chamadas conforme as tarifas das redes fixa e móvel;
- Proporciona ao usuário a possibilidade de utilizar a agenda de seu telefone móvel para realizar chamada através da linha fixa.

Dentre os aspectos negativos da solução, pode-se destacar:

- O elevado consumo da bateria do aparelho móvel em função do uso contínuo do *bluetooth*;
- A limitada opção de escolha de modelos de aparelhos móveis, visto que os fabricantes de terminais móveis estão optando por terminais com *Wi-Fi* em detrimento dos terminais com *bluetooth*.

1.2.2 UMA – GAN

Um consórcio de operadoras e fabricantes definiu as especificações de uma solução de convergência fixo-móvel que foi batizada como *UMA (Unlicensed Mobile Access)*. Posteriormente esta solução foi incorporada ao *3GPP* sob o nome de *GAN (Generic Access Network)*. Atualmente os dois nomes são utilizados em conjunto ou separadamente para referenciar a solução de convergência fixo-móvel que provê o Serviço Móvel Pessoal através de redes *GSM* convencionais e de redes fixas de acesso banda larga, como por exemplo, o *ADSL*.

A arquitetura básica da solução é apresentada na figura 1.3 e diferentemente da solução *GSM – CTP*, o controle das chamadas na solução *UMA – GAN* é feito por um único *core* de rede, o *core GSM*, o que permite ao usuário ter acesso aos mesmos serviços disponíveis

na rede *GSM*, quando estiver utilizando o acesso *UMA-GAN*. A conexão entre o aparelho móvel dual e o *access point* pode utilizar diversas tecnologias como *Wi-Fi*, *WiMAX* e *bluetooth*. Como se pode observar através da figura 1.3, a rede *STFC* não é utilizada na solução.

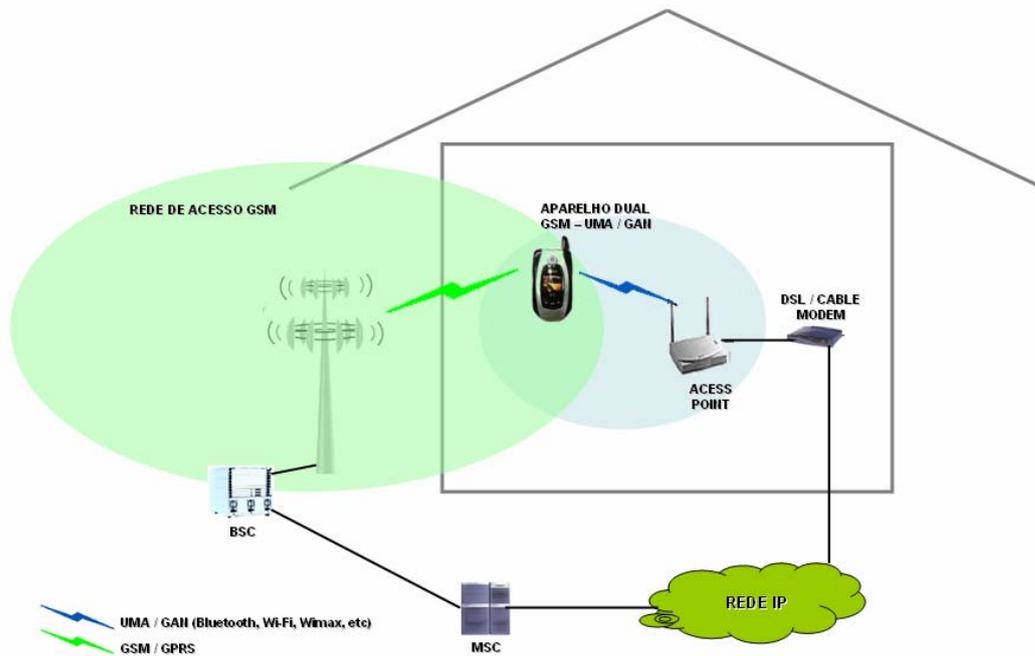


Figura 1.3 – A convergência fixo-móvel com a solução *UMA – GAN*
 Fonte: Adaptado de *FMCA – Fixed-Mobile Convergence Alliance (2005a)*

As características básicas que uma implementação da solução *UMA – GAN* deve possuir são:

- A solução deve disponibilizar ao usuário pelo menos os seguintes serviços: telefonia básica, chamadas de emergência, *SMS*, *MMS*, acesso *GPRS* e *WAP*, serviço de localização, serviços suplementares básicos (identificador de chamada, caixa postal, conferência, entre outros) e portabilidade numérica de acordo com a regulamentação;
- A qualidade da comunicação através do acesso *UMA – GAN* deve no mínimo igual à qualidade da comunicação através do acesso *GSM*. Para tanto, a rede *IP* utilizada pela solução *UMA – GAN* deve possuir políticas de *QoS (Quality of Service)* que garantam esta qualidade;
- A solução deve permitir implementação em residências e escritórios e disponibilizar pelo menos cinco estações móveis dentro da cobertura *UMA – GAN* de um único *access point*. A operadora poderá configurar quantas sessões

simultâneas de voz e dados cada *access point* pode possuir na rede, porém o *access point* deve permitir ao menos três comunicações simultâneas;

- Por operar dentro da faixa de espectro não licenciada, que é extremamente sujeita à interferência, a operadora deve obrigatoriamente utilizar as técnicas existentes para minimizar o efeito deste fenômeno.

Dentre os aspectos positivos da solução de convergência fixo-móvel *UMA – GAN* destacam-se:

- É uma solução que pode ser direcionada a clientes propensos a migrar para a tecnologia *VOIP*, de maneira que o tráfego fique na rede *GSM* da operadora e não migre para redes de voz sobre *IP* como a rede do *Skype*;
- Existe uma disponibilidade maior de terminais duais que na solução *GSM – CTP*, pois a tecnologia de acesso pode ser *Wi-Fi*, *WiMAX* ou mesmo o próprio *bluetooth* do *CTP*;
- Por utilizar um *backbone IP*, esta solução está, sob diversos aspectos, alinhada com a evolução das redes para as arquiteturas que serão apresentadas no capítulo 2 desta dissertação;
- Não exige que o cliente possua uma linha fixa, sendo fidelizadora do cliente que já optou por possuir apenas linha móvel, e que, com a solução poderá economizar configurando automaticamente o roteamento das chamadas conforme as tarifas das duas redes disponíveis.

Os principais pontos negativos desta solução, que merecem destaque, são:

- Trata-se de uma solução com custos mais elevados e implementação menos simples que a solução *GSM – CTP*, visto que utiliza novos equipamentos ou funcionalidades nas redes atuais;
- Existem aspectos regulatórios que ainda não foram definidos como questões relativas à segurança dentro do espectro não licenciado;
- A dependência do acesso de banda larga limita, principalmente no Brasil, o mercado potencial de oferta para a solução;

- O consumo elevado da bateria do aparelho móvel em função da comunicação contínua com o *access point*.

1.2.3 Wi-Fi – SIP

A solução de convergência fixo-móvel denominada *Wi-Fi – SIP* é a solução mais aderente às arquiteturas que serão apresentadas no capítulo 2 deste trabalho. Conforme apresentado neste capítulo, tanto as redes fixas, quanto as redes móveis devem convergir para um ambiente completamente *IP* e utilizarem o protocolo *SIP* (*Session Initiation Protocol*) nos controles de sessão e de serviços e na sinalização. Segundo a *Fixed-Mobile Convergence Alliance* (2005) a convergência através da solução *Wi-Fi – SIP* pode ser definida como sendo o uso de equipamentos sem fio ou estações móveis por companhias ou usuários individuais para o acesso a serviços de voz e dados, com o controle das sessões multimídia e de sinalização realizado através do protocolo *SIP*.

Existem muitos cenários, sob os quais, as condições listadas pela definição acima podem ser implementadas. A solução *Wi-Fi – SIP* pode ser interpretada como uma solução pré-*IMS*, pois pode estar associada à *Applications* ou *SIP Servers* e ainda utilizar serviços *http*, *https* ou *html*. O acesso sem fio aos serviços pode ocorrer através de *hotspots* públicos e de *access points* residenciais ou corporativos. O conceito básico da solução *Wi-Fi – SIP* está apresentado na figura 1.4.

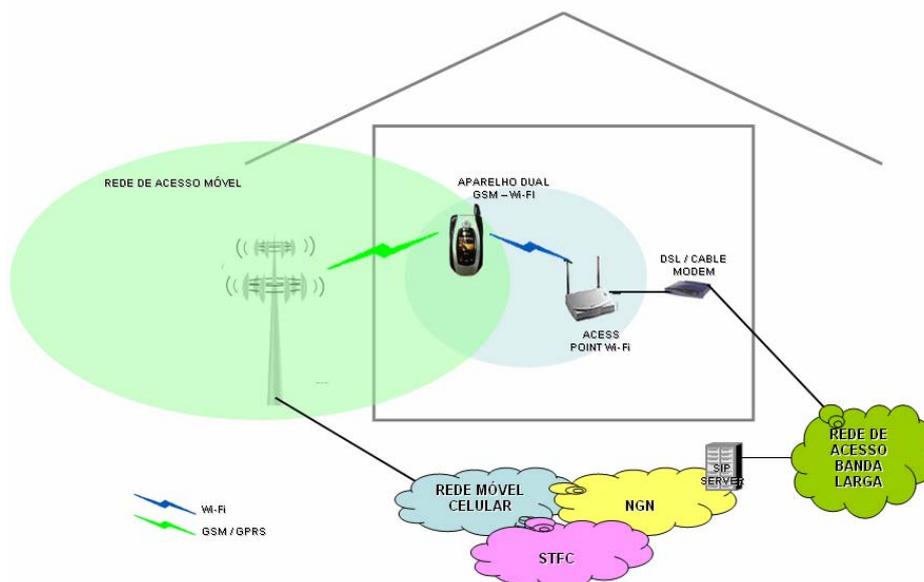


Figura 1.4 – A convergência fixo-móvel com a solução *Wi-Fi – SIP*

Fonte: Adaptado de *FMCA – Fixed-Mobile Convergence Alliance* (2005b)

Em termos de cobertura e capacidade de ofertar serviços, o desempenho da solução *Wi-Fi – SIP* é superior à da solução *GSM – CTP*. Além disso, como mencionado anteriormente, a solução *Wi-Fi – SIP* está alinhada com as arquiteturas de evolução das redes de telecomunicações. É este alinhamento que diferencia esta solução da solução *UMA – GAN*, que se apresenta como mais indicada para operadoras que ainda não tenham em operação ou não tenham decidido investir em uma rede *NGN*.

A seguir são relacionadas algumas características básicas que uma implementação da solução *Wi-Fi – SIP* deve apresentar:

- O terminal dual deve disponibilizar ao usuário a funcionalidade de rotear as chamadas pela rede cujas tarifas sejam mais vantajosas ao assinante;
- Os *access points* devem cobrir a maior área possível, de maneira a reduzir a quantidade de *access points* a serem instalados nos ambientes públicos e comerciais;
- A negociação entre a estação móvel e o *access point* para cursar uma chamada deve garantir, no mínimo, qualidade da comunicação idêntica à qualidade de uma ligação realizada através da rede *GSM*;
- Os equipamentos da solução devem suportar o conceito de *voice call continuity*, garantindo o *handover* entre *hotspots* e a rede *GSM* ou entre *hotspots* da mesma rede *Wi-Fi*;
- terminal dual deve suportar voz sobre *IP (VOIP)* na sua conexão *Wi-Fi* e ter a capacidade de funcionar como modem. Adicionalmente o aparelho dual deve dispor da funcionalidade de informar ao usuário quais são as redes disponíveis no momento e qualidade de sinal em cada uma delas.
- Caso não esteja dentro da área de cobertura de uma rede *Wi-Fi*, a conexão à rede *GSM* deve permanecer inalterada;
- Quando operando na rede *Wi-Fi*, A criptografia da interface área, implementada pelos terminais, deve ter ao menos os mesmos níveis de segurança da rede *GSM*;
- Os terminais duais devem ser capazes de se conectar à *hotspots* públicos ou privados, redes celulares, *access points* residenciais e corporativos, laptops e outros equipamentos com acesso *Wi-Fi*;

- Independente da rede em que o usuário esteja conectado, os serviços suplementares básicos devem estar disponíveis.

Algumas das vantagens relacionadas à solução de convergência fixo-móvel *Wi-Fi – SIP* são relacionadas a seguir:

- É uma solução coerente com as arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN*, que permite aproveitamento dos equipamentos adquiridos na sua implementação, em uma rede futura rede convergente;
- Novos serviços baseados em *IP* já podem ser disponibilizados aos usuários da solução, pois as chamadas cursadas pela rede *IP* são controladas por um *SIP server*, conectado a uma rede *NGN* que pode possuir serviços diferenciados;
- Tanto a indústria de terminais, quanto a indústria de *core* estão apostando na evolução das redes de telecomunicações para um ambiente completamente *IP*, o que aumenta o número de terminais disponíveis e fornecedores de equipamentos, o que reduz significativamente os preços dos terminais e dos equipamentos;
- Pode-se implementar a integração com outros serviços do mundo *IP*, permitindo aos usuários, serviços como acesso à internet em alta velocidade, utilização de *softphones*, serviços de comunicação de dados, multi-conferência, videoconferência e quaisquer outros serviços baseados em ambiente *IP*.

Os principais aspectos desfavoráveis desta solução são relacionados a seguir:

- No Brasil, a cobertura *Wi-Fi* é restrita a aeroportos, grandes centros comerciais e outros locais de grande concentração pública. A expansão desta cobertura ainda é uma incógnita do cenário brasileiro de telecomunicações;
- Existe uma relativa complexidade de implementação desta solução nas operadoras, pois a convergência entre as redes ainda não ocorre na prática, o que deve elevar os valores de investimento e os custos operacionais;
- Por se tratar de uma solução com tecnologia nova, algumas soluções ainda são proprietárias, pois os padrões ainda não foram completamente definidos;
- A solução pode não conseguir concorrer em preço com os serviços *VOIP* e se tornar sem atratividade para os usuários.

1.3 PROCESSO DECISÓRIO E FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO

Como destacado anteriormente, um grande desafio das operadoras de telecomunicações e de seus profissionais de planejamento é avaliar sob uma ótica única as diferentes características das diversas soluções de convergência fixo-móvel e dos diferentes serviços convergentes, estabelecendo parâmetros que propiciem a uma operadora de telecomunicações definir e planejar novos serviços convergentes.

Na maioria das empresas de telecomunicações quantificar os aspectos financeiros e econômicos das soluções é uma tarefa bem executada, através de ferramentas de análise de *EVA (Economic Value Added)* ou equivalente. O desafio que se apresenta aos profissionais destas companhias é quantificar os aspectos qualitativos das soluções em avaliação. Uma alternativa que será apresentada para a definição dos referidos parâmetros são os conceitos contidos na Norma *ISO/IEC 9241*, apoiada na *ISO/IEC 14598*, como elementos a serem considerados além dos técnicos e financeiros para os processos decisórios na etapa de planejamento.

A partir de extensiva revisão bibliográfica será apresentado o método *AHP (Analytic Hierarchy Process)*, o qual reúne condições satisfatórias para integrar os assuntos “convergência” e “tomada de decisão”, conforme a proposta desta dissertação pela elaboração de uma ferramenta de apoio à decisão no planejamento da possível convergência. Assim os conceitos básicos do referido método são apresentados na seqüência, enquanto que a metodologia do mesmo consta do apêndice A. O *AHP* estrutura a solução de problema em cinco etapas: características do problema, estruturação do sistema de apoio proposto, avaliação do sistema de apoio proposto, aplicação do sistema de apoio proposto e análise de desempenho das alternativas.

1.4 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma ferramenta de apoio ao processo decisório dos profissionais de planejamento das operadoras de telecomunicações, sobre projetos de tecnologia, com foco voltado para os projetos de convergência fixo-móvel e avaliação sob a ótica da qualidade. A construção desta ferramenta está baseada nas normas *ISO/IEC 9126* e *ISO/IEC 14598* e no método multicritério *AHP (Analytic Hierarchy Process)*, que

possibilita a agregação de variáveis quantitativas e qualitativas em uma abordagem estruturada para decisões complexas.

1.4.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apresentar um descritivo das arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN*, que se apresentam como o caminho para a evolução das redes de telecomunicações;
- Relacionar a seqüência de atividades que pode ser seguida durante um processo decisório sobre um projeto de tecnologia de convergência fixo-móvel;
- Estabelecer critérios relevantes associados às normas *ISO/IEC 9126* e *ISO/IEC 14598* para os projetos de convergência fixo-móvel;
- Implementar uma ferramenta de apoio ao processo decisório através do *software Expert Choice*;
- Exemplificar a aplicação da ferramenta construída em um processo decisório para avaliação qualitativa de três alternativas existentes de convergência fixo-móvel.

1.5 METODOLOGIA UTILIZADA

Este estudo pode ser classificado quanto à natureza de investigação como uma pesquisa descritiva assumindo a forma de estudo exploratório. Corrobora a definição dessa tipologia também pelo fato de o estudo não elaborar hipóteses a serem testadas no trabalho, restringindo-se a definir objetivos e buscar mais informações quanto à aplicabilidade do modelo indicado. Sobre a pesquisa descritiva Mendonça (2003) ressalta:

Nesse tipo de pesquisa, os fatos são observados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles. Uma das características da pesquisa descritiva é a técnica padronizada da coleta de dados realizada pela observação sistemática e do uso de questionários. (Mendonça, 2003, p. 73)

O método científico de pesquisa utilizado neste trabalho é o método quantitativo. Segundo Mendonça (2003) este método “caracteriza-se pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades coleta das informações quanto no seu tratamento, por meio de técnicas estatísticas”.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação utilizará a metodologia científica para implementar uma ferramenta que propicie a uma operadora de telecomunicações insumos para o planejamento de um novo serviço convergente, considerando aspectos qualitativos das alternativas disponíveis, através do estabelecimento de parâmetros tecnológicos comuns entre diferentes projetos. Para isto, após esta introdução, o trabalho encontra-se organizado em mais cinco capítulos.

O segundo capítulo trata das arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN* contemplando uma revisão bibliográfica sobre estas arquiteturas e os seus elementos, as quais se apresentam como o caminho de evolução das redes de telecomunicações.

O terceiro capítulo traz uma revisão bibliográfica sobre as normas *ISO/IEC 9126* e *ISO/IEC 14598*, cujo modelo de qualidade é proposto para analisar sob uma ótica única as diferentes alternativas de convergência fixo-móvel.

O quarto capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o processo decisório, destacando a técnica *AHP* como orientadora deste estudo.

O quinto capítulo apresenta a modelagem do problema que se pretende resolver neste estudo com um estudo de caso, através da ferramenta de apoio ao processo decisório que se pretende construir neste trabalho. Assim, neste capítulo será realizada a aplicação prática da ferramenta proposta em um processo decisório envolvendo as três soluções de convergência fixo-móvel descritas nesta introdução.

Finalmente, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões desse trabalho de pesquisa, sugestões e algumas recomendações de trabalhos futuros relacionados ao tema.

2 AS ARQUITETURAS IMS E TISPAN NGN

Em geral uma arquitetura de telecomunicações define um conjunto de equipamentos que, dispostos de forma coerente, suportem uma gama de serviços de voz e dados. O objetivo das arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN* é prover serviços convergentes através de uma topologia de rede convergente.

As arquiteturas das redes de telecomunicações atuais estão dispostas de maneira que existem várias redes especializadas e dedicadas para cada tipo de usuário, conforme mostrado na figura 2.1.

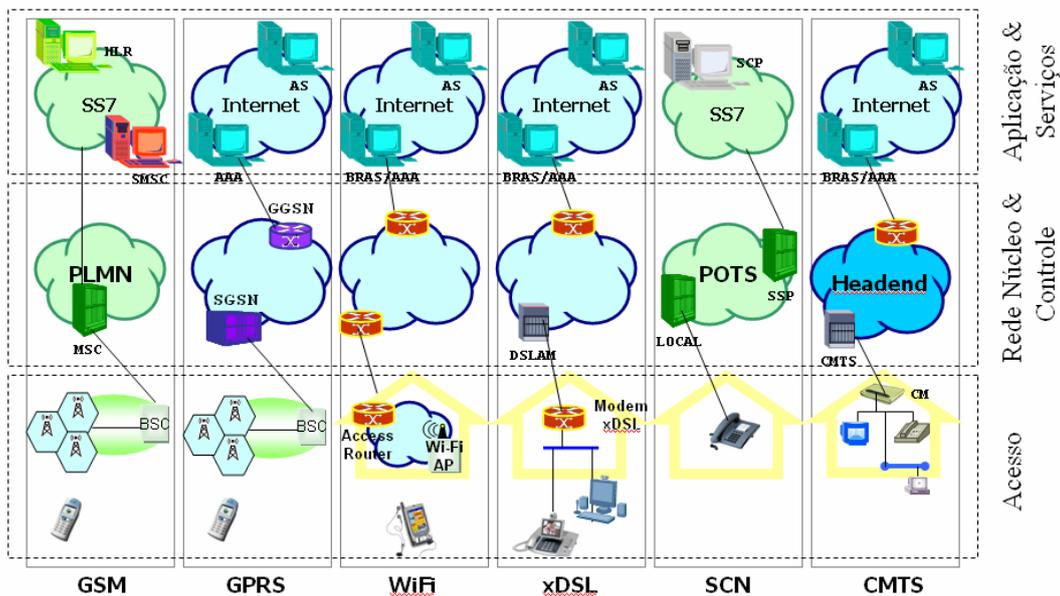


Figura 2.1 – Contexto atual da arquitetura das redes de telecomunicações
Fonte: Brasil Telecom (2006)

Esta arquitetura permite uma flexibilidade muito maior que a arquitetura anterior que utilizava elementos monolíticos, pois os novos serviços podem ser desenvolvidos na camada de aplicação sem impactar os demais elementos das redes. Porém, existem várias funções e atividades semelhantes ou até mesmo idênticas, que são executadas nos diversos equipamentos de cada rede que poderiam ser aglutinadas em um único elemento. É neste contexto que surgem as arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN* para prover uma arquitetura horizontal conforme mostrado na figura 2.2 em substituição à arquitetura vertical que foi apresentada na figura 2.1.

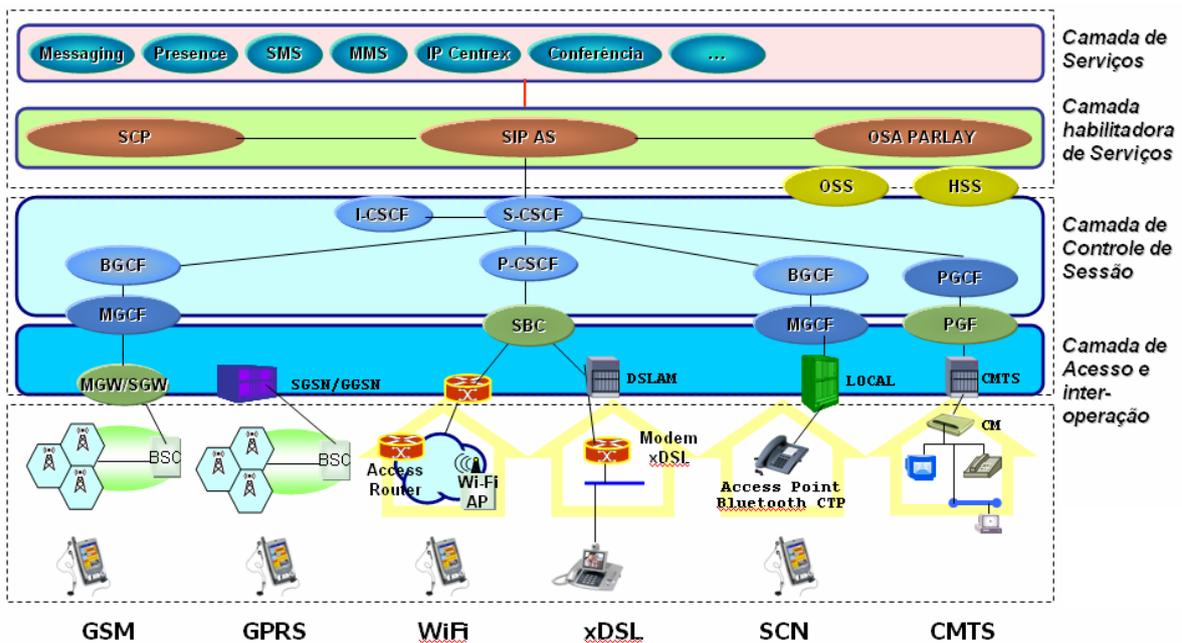


Figura 2.2 – Arquitetura convergente *IMS (3GPP)*
 Fonte: Brasil Telecom (2006)

Segundo uma grande operadora de telecomunicações brasileira (Brasil Telecom, 2006) a evolução das redes de telecomunicações se dará através das arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN*, dentro de uma linha de evolução de convergência conforme mostrada na figura 2.3.

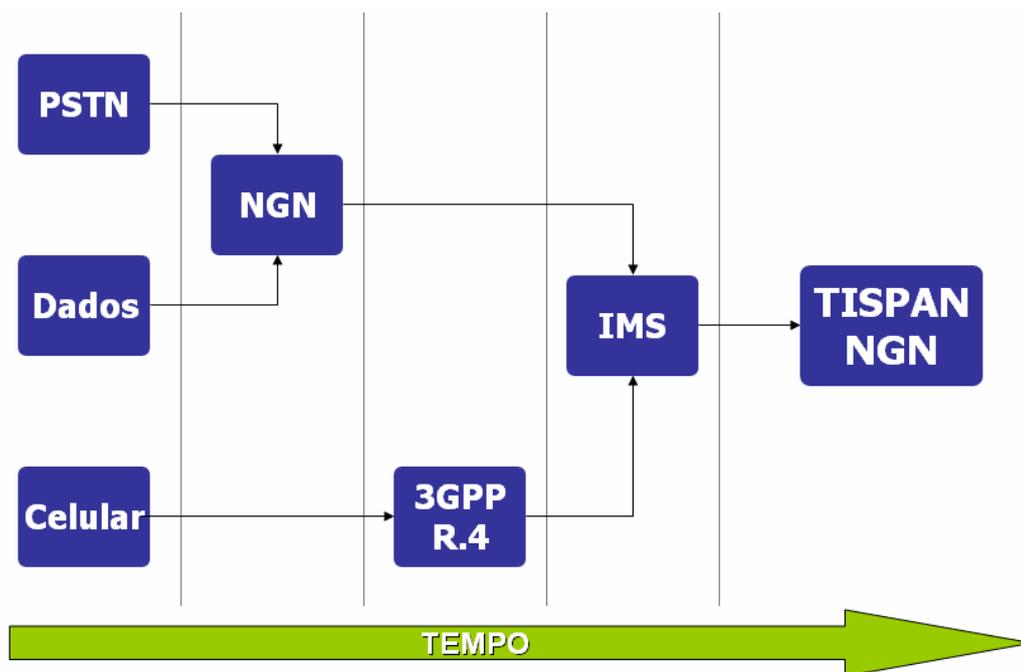


Figura 2.3 – Linha de evolução de convergência das arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN*
 Fonte: Adaptado de Brasil Telecom (2006)

A seguir serão detalhadas as arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN*.

2.1 A ARQUITETURA IMS

A tendência de convergência do ambiente de telecomunicações para uma rede completamente *IP*, fez surgir o *IMS* (*IP Multimedia Subsystem*), que originalmente foi especificado pelo *3GPP* (*3rd Generation Partnership Project*). Posteriormente o *IMS* foi incorporado pelo *TISPAN* (*Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks*) como o subsistema central da arquitetura *TISPAN NGN*. Assim, o *3GPP* continua responsável pelas especificações do *IMS*, porém recebe contribuições de vários outros órgãos de padronização, dentre os quais podemos destacar:

- Projeto *FGNGN* (*Focus Group on NGN*) que é um projeto do *ITU-T* (*International Telecommunication Union*);
- Projeto *TISPAN* (*Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks*) que é um projeto do *ETSI* (*European Telecommunications Standards Institute*);
- Outros grupos de padronização como o *OMA* (*Open Mobile Alliance*) e o *IETF* (*Internet Engineering Task Force*).

A figura 2.4, mostrada a seguir, exemplifica a relação entre estes órgãos de padronização.

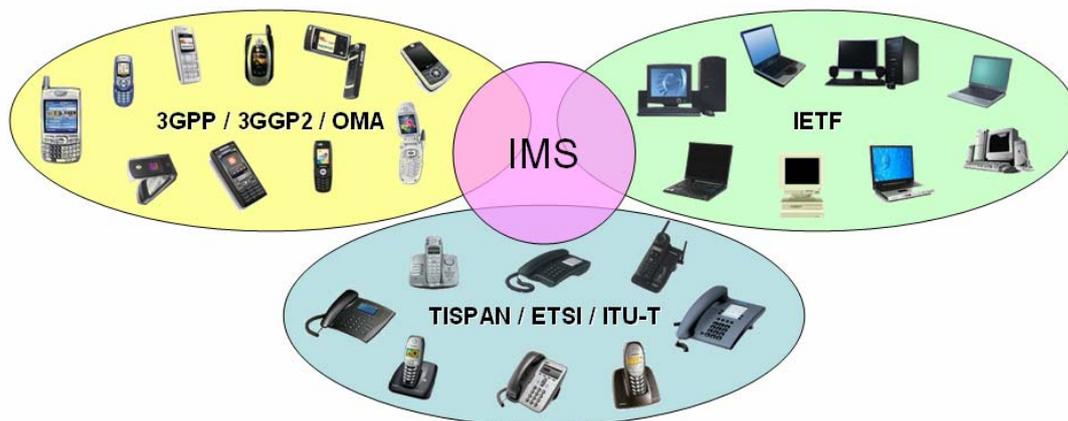


Figura 2.4 – Os órgãos de padronização e arquitetura IMS

Em linhas gerais, pode-se considerar que o *3GPP* realiza a padronização do *core* do *IMS*, baseado principalmente no protocolo *SIP*, que é padronizado pelo *IETF*. O acesso e a integração da rede fixa são padronizados pelo *TISPAN*, enquanto o próprio *3GPP* é

responsável pela padronização e integração do acesso móvel. Os outros grupos de padronização, como o *OMA*, atuam principalmente nas padronizações das aplicações *IMS*.

Na arquitetura atual mostrada na figura 2.1 as camadas de controle e aplicação já encontram separadas, porém cada rede possui as suas próprias camadas de controle e aplicação com equipamentos dedicados. A arquitetura *IMS* prevê a convergência destas camadas proprietárias de cada rede, tornando o controle de acesso e as aplicações agnósticas à tecnologia de acesso. Esta característica proporciona um ganho em escala na aquisição e dimensionamento das plataformas da rede que podem ter as suas funcionalidades e recursos utilizados por diversos tipos de usuários.

Com as camadas de controle e aplicação unificadas para todos os tipos de usuários, é possível reduzir os investimentos e o tempo de implementação de novos serviços, pois se pode fazer uso da infra-estrutura existente, adicionando-se à arquitetura apenas novos servidores de aplicação, os chamados “*Application Servers*”. O motivo para esta simplicidade na implantação de novos serviços é que o todo o controle das sessões é baseado em *SIP* (*Session Initiation Protocol*), protocolo que se tornou o padrão da indústria para o controle das sessões multimídia e dos processos de telecomunicações, permitindo a integração perfeita entre os serviços tradicionais de telecomunicações e novos serviços baseados no ambiente de internet.

A arquitetura *IMS* prevê três planos distintos: o plano do usuário, o plano de controle e o plano de aplicação. Estes planos estão representados pelos retângulos pontilhados na figura 2.2.

O plano do usuário tem a função de equalizar os diversos protocolos, mídias e interfaces da rede de acesso para um ambiente *IP*, que se torna comum para todos os tipos de usuários. Este plano comporta-se como uma camada de transporte de todas as mídias sobre a rede *IP*.

No plano de controle encontramos os equipamentos que realizam o controle dos serviços, ou seja, os elementos que através do protocolo *SIP* trocam informações com os outros dois planos para propiciar os serviços requisitados pelos usuários.

Finalmente no plano de aplicação estão os equipamentos responsáveis pela lógica dos serviços, os já citados servidores de aplicação. Este plano permite que os serviços sejam introduzidos na rede sem alterar a infra-estrutura dos outros dois planos.

Os principais elementos da arquitetura *IMS* e suas conexões estão mostrados na figura 2.5.

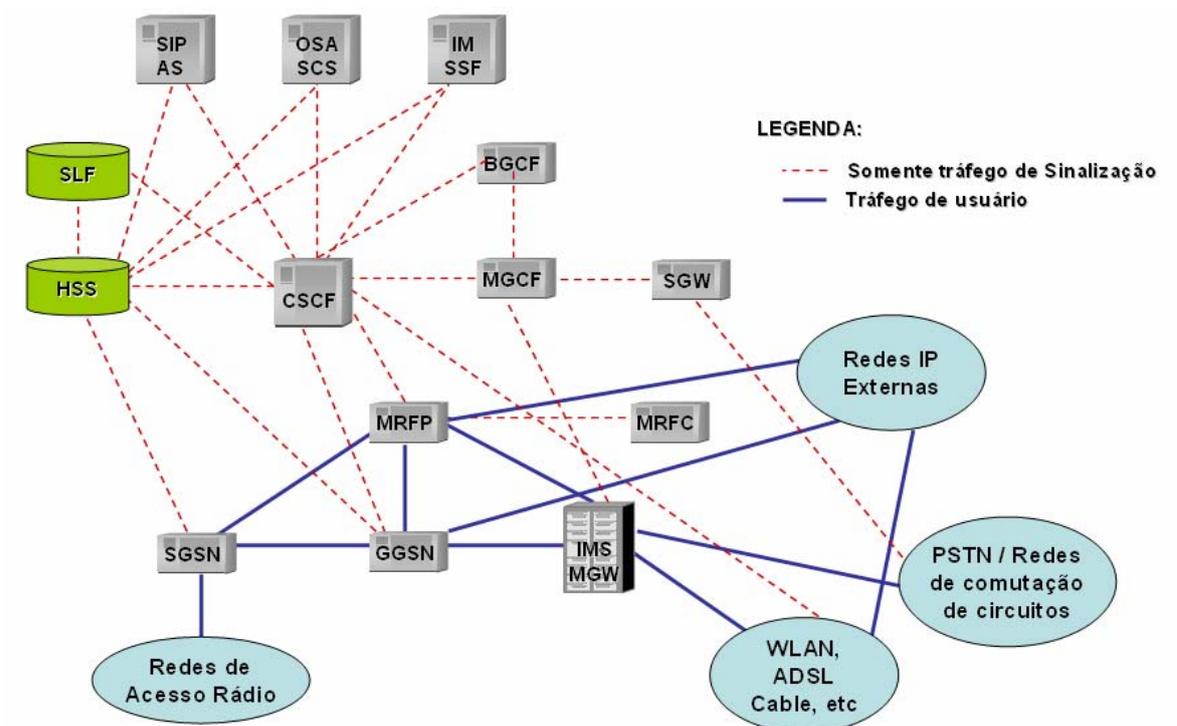


Figura 2.5 – Os elementos e as conexões da arquitetura *IMS*

Fonte: Adaptado de Poikselkã (2004) e Camarillo (2006)

Estes elementos podem ser agrupados como proposto a seguir:

- Elementos de controle *IMS*: *CSCF* (*Call Session Control Function*);
- Elementos de base de dados: *HSS* (*Home Subscriber Server*) e *SLF* (*Subscription Locator Function*);
- Elementos de controle de interfuncionamento: *MGCF* (*Media Gateway Control Function*), *BGCF* (*Breakout Gateway Control Function*) e *SGW* (*Signaling Gateway*);
- Elementos de serviços *IMS*: *SIP-AS* (*Session Initiation Protocol-Application Server*);

- Elementos de serviços externos e serviços de interfuncionamento: *OSA-SCS (Open Service Access-Service Capability Server)* e *IM-SSF (IP Multimedia-Switching Service Function)*;
- Elementos de recursos: *MRFC (Multimedia Resources Function Controller)* e *MRFP (Multimedia Resources Function Processor)*;
- Elementos de interfuncionamento de mídia: *IMS-MGW (IP Multimedia Subsystem-Media Gateway)*;
- Elementos *GPRS*: *SGSN (Serving GPRS Support Node)* e *GGSN (Gateway GPRS Support Node)*.

A seguir será realizada uma breve descrição, baseada nas especificações do *ETSI* (2005, 2006) e nos autores Camarillo (2006) e Poikselkã (2004), destes elementos da arquitetura *IMS* e suas respectivas funções.

2.1.1 Call Session Control Function (CSCF)

O *Call Session Control Function (CSCF)* é um servidor *SIP*, que processa a sinalização *SIP* no *IMS*. Este elemento estabelece, monitora, suporta e finaliza as sessões multimídia e gerencia as interações do usuário com o serviço. Dependendo das funcionalidades providas por um *CSCF*, ele é categorizado em quatro tipos distintos: *Proxy-CSCF (P-CSCF)*, *Interrogating-CSCF (I-CSCF)*, *Serving-CSCF (S-CSCF)* ou *Emergency-CSCF (E-CSCF)*.

2.1.1.1 Proxy-CSCF (P-CSCF)

O *P-CSCF* é o primeiro ponto de contato do equipamento do usuário com a rede *IMS*. Tem a função de tratar todas as requisições originadas ou terminadas nos usuários *IMS* e direcioná-las para o elemento adequado. O *P-CSCF* com o qual o equipamento do usuário troca as mensagens está sempre na rede em que o usuário se encontra, quer o usuário esteja na sua rede casa, ou não. Para garantir a integridade, o retorno das requisições se dá sempre pelo mesmo *P-CSCF* que iniciou a requisição. Este elemento realiza a compressão e decompressão do protocolo *SIP*, para reduzir o tempo de resposta das requisições, pois algumas mensagens *SIP* são extensas, visto que o *SIP* é um protocolo baseado em texto. Uma vez que atua no processo de registro do equipamento do usuário, o *P-CSCF* desempenha funções relacionadas à segurança. Esta entidade exerce ainda funções de

policciamento, através de análise do conteúdo do *payload* do protocolo *SDP* (*Session Description Protocol*) para garantia de *QoS*.

2.1.1.2 *Interrogating-CSCF (I-CSCF)*

Em uma rede *IMS* pode existir mais de um *I-CSCF*, que é um elemento que atua como um *SIP proxy*. O *I-CSCF* é a entidade que busca no *HSS* a informação sobre qual é o *S-CSCF* que atende o usuário. Este elemento é responsável por encaminhar as consultas e ou respostas *SIP* da própria rede ou de redes de outras operadoras para o *S-CSCF*, como por exemplo, as mensagens *SIP* de registro recebidas do *P-CSCF* que são roteadas para o *S-CSCF* que está servindo o usuário. Desta forma, o *I-CSCF* é o principal ponto de contato da rede para todas as conexões *IMS* destinadas a um usuário ou, para usuários em *roaming* que atualmente se encontram dentro da área de serviço da operadora. Opcionalmente, o *I-CSCF* pode criptografar partes da mensagem *SIP* que contenha informações sensíveis sobre o domínio, como o número de servidores no domínio, seus nomes no *DNS* (*Domain Name System*) ou suas capacidades.

2.1.1.3 *Serving-CSCF (S-CSCF)*

O *S-CSCF* é o elemento central do plano de controle, podendo ser considerado o cérebro do *IMS*, que realiza o controle do estado das sessões. A principal função deste elemento, que está sempre localizada na rede casa do usuário *IMS*, é realizar o processo de registro do usuário *IMS*. O *S-CSCF* tem as funcionalidades de *SIP server* e *SIP register*, e por ele passa obrigatoriamente toda a sinalização dos terminais *IMS*. Este elemento é responsável pelo roteamento das mensagens *SIP*, realizando a análise das mensagens *SIP* para determinar o elemento destino das mesmas. Uma das principais funções do *S-CSCF* é traduzir número de telefone para *SIP-URI* (*SIP-Universal Resource Identifier*) e vice-versa. Outras funções importantes do *S-CSCF* são relacionadas à troca de informações com os diversos elementos da rede casa do usuário, para verificar entre outras coisas quais serviços e privilégios o usuário possui. Assim o *S-CSCF* realiza a busca no *HSS* dos vetores de autenticação dos usuários durante o processo de registro e atua no estabelecimento das sessões e serviços através do *service profile*, proveniente do *HSS*. Este elemento atua ainda aplicando filtros ou políticas de usuário, verificando quais tipos de mídia são suportadas pelo usuário.

2.1.1.4 *Emergency-CSCF (E-CSCF)*

Este elemento, que foi recentemente incorporado à arquitetura *IMS*, é um *CSCF* que trata especificamente das chamadas de emergências. O *E-CSCF* deverá sempre estar localizado na rede onde está o *P-CSCF* que o usuário está utilizando. Quando o *P-CSCF* identifica uma chamada de emergência roteia a chamada diretamente para o *E-CSCF* da sua rede, que deverá realizar o tratamento adequado da chamada, através de tabelas de tradução.

2.1.2 *Home Subscriber Server (HSS)*

O *HSS* é o principal repositório de dados de todos os usuários e serviços relacionados da rede *IMS*. Os principais dados armazenados no *HSS* incluem identidade do usuário, informações de registro, parâmetros de acesso, informações de segurança, informações de localização e informações relativas à *triggers* de serviços. O *HSS* armazena os dois tipos de identidade de usuário: a identidade privada e a identidade pública. A identidade privada é a identidade do usuário que é designada pela rede casa do usuário e é utilizada nos processos de registro e autorização, enquanto a identidade pública é a identidade do usuário que é de conhecimento dos outros usuários e é utilizada para realizar as chamadas para o usuário em questão. O *HSS* deve ser agnóstico ao tipo de serviço provido ao usuário, a aplicação, a rede, ao equipamento terminal do usuário, a localização geográfica, entre outros.

2.1.3 *Subscription Locator Function (SLF)*

O *SLF* é uma base de dados adicional responsável por mapear as identidades públicas dos usuários e os respectivos endereços dos *HSS* que contém as informações dos usuários. É através deste elemento que o *I-CSCF*, o *S-CSCF* e o *AS* descobre o endereço de qual *HSS* mantém as informações do usuário, nas redes que possuem mais de um *HSS*.

2.1.4 *Media Gateway Control Function (MGCF)*

O *MGCF* é o elemento que realiza a interface entre o *STFC* e o *IMS* no plano de sinalização. É o equipamento responsável por executar a conversão dos diferentes protocolos, como por exemplo, de *SIP* para *ISUP (ISDN User Part)* e vice-versa. O *MGCF* realiza também a transcodificação dos *codecs* de áudio e vídeo, como por exemplo, de

G.729 para G.711 e vice-versa. Normalmente as redes *IMS* possuem vários *MGCF* para realizar o interfuncionamento com diversos pontos das redes *STFC*.

2.1.5 Breakout Gateway Control Function (BGCF)

O *BGCF* é a entidade responsável por determinar por qual *MGCF* a chamada sairá da rede *IMS*, quando a mesma for destinada a uma rede *STFC*. Caso o destino da chamada seja outra rede *IMS*, o *BGCF* encaminha a chamada para um outro *BGCF* da outra rede. Esta decisão é tomada basicamente em função de endereço de destino da chamada e das regras de encaminhamento de tráfego definida pela operadora de origem.

2.1.6 Signaling Gateway (SGW)

O *SGW* é utilizado para interconectar a uma rede *IMS* a diferentes redes de sinalização como redes de sinalização *SS7* (*Signaling System # 7*) ou *MTP* (*Media Transfer Protocol*). Esta interconexão se dá no nível de transporte e as sinalizações são convertidas para o transporte baseado em *IP*, ou seja, o *SIGTRAN* (*Signaling Transport*).

2.1.7 Application Server (AS)

Os *AS* são entidades *SIP* que armazenam e executam os serviços *IMS*. Estes servidores de aplicação são subdivididos em três tipos distintos, conforme exposto a seguir.

2.1.7.1 Session Initiation Protocol-Application Server (SIP-AS)

Os *SIP-AS* são servidores de aplicação totalmente baseados em *SIP*, que são responsáveis pelo provimento de serviços sobre o domínio *IMS*. Estes servidores possuem interface com o *HSS* para buscar informações necessárias para prover serviços padronizados, como por exemplo, o *IP-CENTREX* (*IP-Central Exchange*).

2.1.7.2 Open Service Access-Service Capability Server (OSA-SCS)

Os servidores *OSA-SCS* utilizam interfaces padronizadas de programação de aplicações *OSA*, conhecida como *API-OSA* (*Application Programming Interface-OSA*), para efetuar

a comunicação com um servidor de aplicação *OSA*. Assim uma rede *IMS* pode oferecer todos os serviços desenvolvidos em ambiente *OSA-PARLAY*, como por exemplo, localização de terminais, envio e recepção de mensagens e integração com serviços *web*.

2.1.7.3 *IP Multimedia-Service Switching Function (IM-SSF)*

Os servidores de aplicação *IM-SSF* tem a responsabilidade de realizar a interface entre o domínio *IMS* e os serviços tradicionais de rede inteligente baseados em ambiente de serviço *CAMEL* (*Customized Applications for Mobile Network Enhanced Logic*). Tipicamente as redes *GSM* possuem diversos serviços baseados em *CAMEL*. O *IM-SSF* armazena as características da rede *CAMEL* e realiza a interoperação com a interface *CAP* (*CAMEL Application Part*) da rede *CAMEL*.

2.1.8 *Multimedia Resource Function (MRF)*

Os elementos *MRF* são responsáveis pelo tratamento das mídias e dos recursos dentro da rede *IMS*. O *MRF* é a entidade que executa atividades como executar anúncios, misturar os fluxos de mídia (por exemplo, em uma multi-conferência), realizar a transcodificação de *codecs* e analisar os diversos tipos de mídias. O *MRF* é dividido em duas entidades como descrito a seguir.

2.1.8.1 *Multimedia Resource Function Controller (MRFC)*

O *MRFC* pode ser considerado como sendo o nó do plano de sinalização do *MRF*, que atua como um agente *SIP* do usuário, recebendo e interpretando as requisições *SIP* do *S-CSCF* para controlar os recursos do *MRFP*.

2.1.8.2 *Multimedia Resource Function Processor (MRFP)*

O *MRFP* pode ser considerado como sendo o nó do plano de mídia do *MRF*, que implementa todas as funções relacionadas com as diversas mídias, como executar anúncios, misturar fluxos de mídias e transcodificação de *codecs*, conforme instruções recebidas do *MRFC*.

2.1.9 IP Multimedia Subsystem-Media Gateway (IMS-MGW)

O *IMS-MGW* é o elemento de interface com o STFC no plano de mídia. De um lado do *IMS-MGW* existe o ambiente *IMS* com as mídias sobre o protocolo *RTP (Real Time Protocol)*, enquanto do outro lado, as mídias são tratadas em um ou mais canais *PCM (Pulse Code Modulation)* conforme o ambiente de comutação de circuitos. O controle do *IMS-MGW* é feito pelo *MGCF*. A transcodificação de diferentes *codecs* entre os ambientes *IMS* e STFC é executada pelo *IMS-MGW*.

2.1.10 Serving GPRS Support Node (SGSN)

O *SGSN* é a interligação da rede de acesso via rádio (*RAN – Radio Access Network*) com o *core* da rede de pacotes. O *SGSN* é responsável por executar funções de controle e adequação de tráfego para o ambiente de comutação de circuitos. Dentre as funções de controle, existem duas funções principais: gerência de mobilidade e gerência de sessão. A gerência de mobilidade está relacionada à localização e estado do equipamento do usuário, além de realizar autenticação do equipamento do usuário e do próprio usuário. A gerência de sessão está relacionada com o controle de admissão de conexão e as mudanças nas conexões existentes. O *SGSN* possui as funções de garantir que o *QoS* solicitado seja aplicado às respectivas conexões, além de produzir informações de cobrança.

2.1.11 Gateway GPRS Support Node (GGSN)

O *GGSN* é o elemento que realiza o interfuncionamento com as redes de pacotes externas e tem como principal função conectar o equipamento do usuário às redes de dados que abrigam as aplicações e serviços baseados em *IP*. Estas redes de dados pode ser o próprio ambiente *IMS* ou a Internet. Assim o *GGSN* realiza roteamento de pacotes contendo sinalização *SIP* do equipamento do usuário para o *P-CSCF* e vice-versa.

2.2 A ARQUITETURA TISPAN NGN

A arquitetura *TISPAN NGN*, definida por um grupo de trabalho do *ETSI*, estabelece como será a evolução do STFC. É uma arquitetura que está fundamentada em uma camada de serviço e uma camada de transporte, baseada em *IP*, conforme apresentado na figura 2.6.

Estas duas camadas são compostas por um número de subsistemas que podem ser modularmente conectados à arquitetura. Esta arquitetura permite a inclusão de novos subsistemas para implementar novas demandas e classes de serviço. Alguns elementos funcionais podem fazer parte de mais de um subsistema provendo funções a mais de um subsistema.

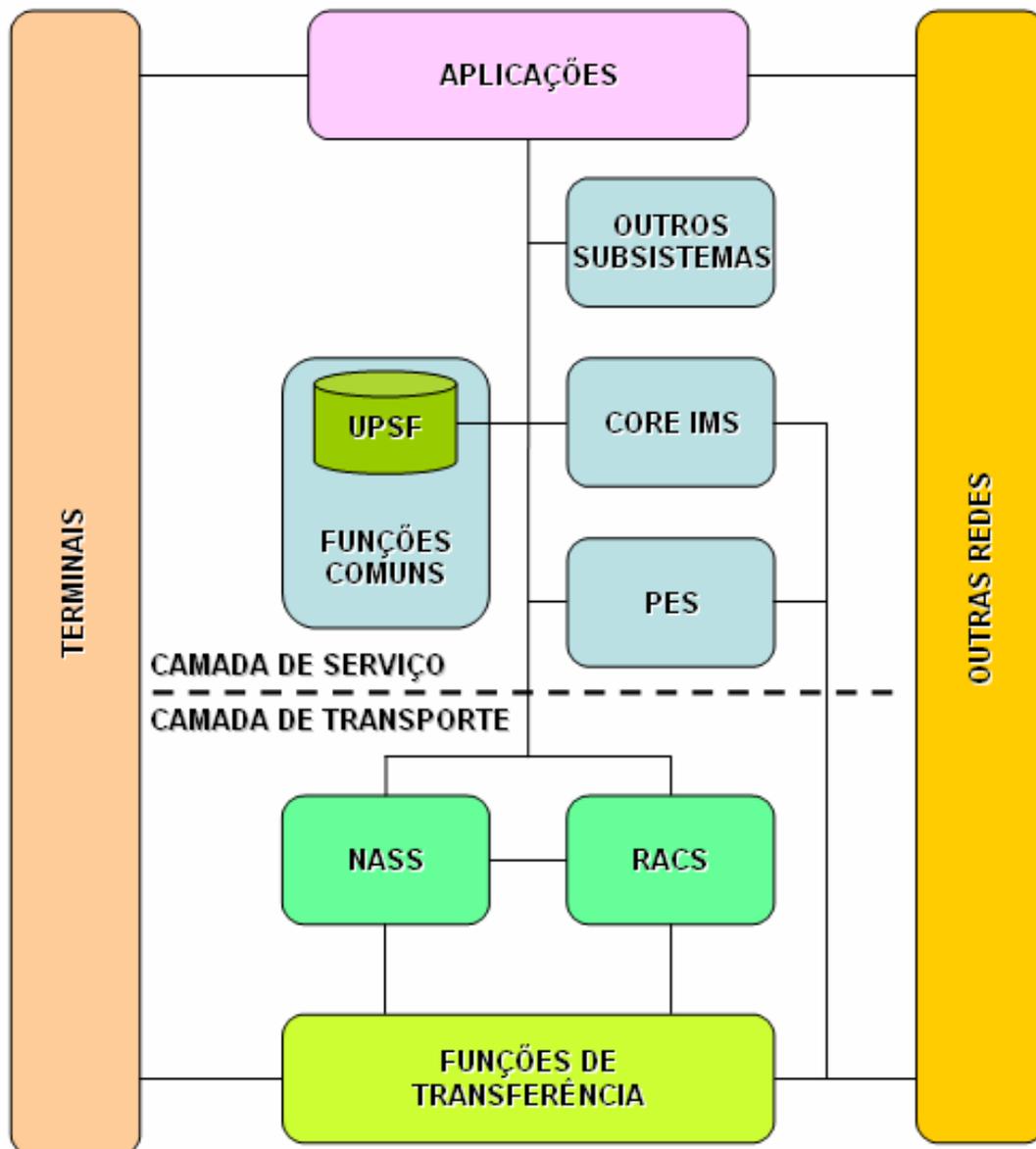


Figura 2.6 – A arquitetura *TISPAN NGN*
 Fonte: Adaptado de Camarillo (2006)

2.2.1 A camada de transporte

A camada de transporte é responsável por prover a conectividade *IP* para o equipamento *NGN* do usuário e controlar o transporte. Esta camada está dividida em subsistemas:

Network Attachment Subsystem (NASS), Resource and Admission Control Subsystem (RACS), e funções de transferência comuns. Os subsistemas NASS e RACS ocultam a tecnologia de transporte do acesso e do core das redes abaixo da camada IP.

O subsistema *NASS* é responsável pelo provisionamento dinâmico de endereço *IP* ao terminal *NGN* e gerenciamento de localização na camada *IP*, além de configuração de parâmetros para autenticação na camada *IP*, autorização e configuração do acesso à rede conforme o perfil do usuário.

O *RACS* é o subsistema que tem a responsabilidade de realizar o controle de admissão e o gerenciamento de recursos da rede. O controle de admissão contempla a verificação da autorização conforme perfil do usuário (contido no subsistema *NASS*) e regras de policiamento de tráfego definidas pela operadora e pela condição momentânea da rede. Basicamente o *RACS*, após confirmar a autorização do usuário para utilizar determinado recurso, verifica se a rede é capaz de disponibilizar aos usuários envolvidos na comunicação a banda requisitada.

As funções de transferência compreendem vários elementos funcionais que algumas vezes são controlados por elementos dos subsistemas *RACS* e *NASS*. Estas entidades são *Media Gateway Function (MGF)*, *Border Gateway Function (BGF)*, *Resource Control Enforcement Function (RCEF)*, *Access Relay Function (ARF)*, *Signaling Gateway Function (SGF)*, *Multimedia Resource Function Processor (MRFP)* e *Layer 2 Termination Function (L2TF)*. A figura 2.7 mostra o relacionamento entre os elementos das funções de transferência e os outros componentes da arquitetura.

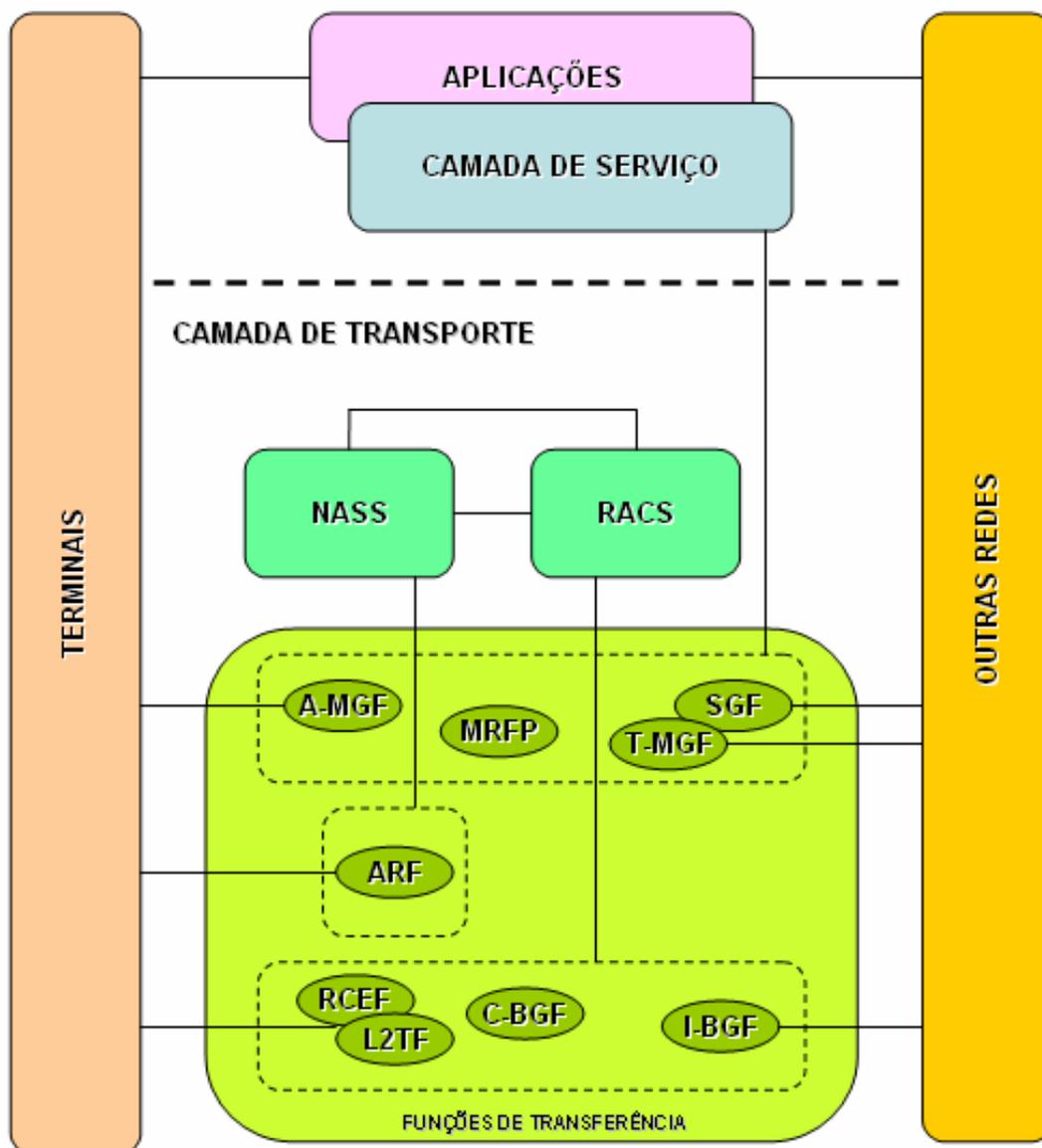


Figura 2.7 – Os elementos das funções de transferência
 Fonte: Adaptado de ETSI (2005)

Como se pode se perceber no parágrafo anterior e será observado na apresentação dos outros subsistemas, muitas entidades da arquitetura *TISPAN NGN* estão presentes na arquitetura *IMS*. Embora as entidades funcionais sejam idênticas, algumas pequenas variações de comportamento podem ocorrer, principalmente em função das diferenças nas redes acesso dos usuários das redes fixa e móvel. A seguir será apresentada uma breve descrição dos elementos das funções de transferência.

2.2.1.1 *Media Gateway Function (MGF)*

O *MGF* desempenha na arquitetura *TISPAN NGN* o mesmo papel do *IMS-MGW* na arquitetura *IMS*, ou seja, executar as funções de transcodificação entre o domínio *IP* e a rede de comutação por circuito. O *MGF* apresenta três variações:

- *Residential-MGF (R-MGF)*: localizado no ambiente do usuário;
- *Access-MGF (A-MGF)*: localizado no ambiente da operadora onde a rede *IP* se faz presente;
- *Trunking-MGF (T-MGF)*: localizado na fronteira entre a rede *IP* e o STFC / RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados).

2.2.1.2 *Border Gateway Function (BGF)*

A entidade *BGF* desempenha na arquitetura *TISPAN NGN* o papel de controlador de sessão na borda da rede, realizando a interface entre dois domínios de transporte *IP*. O *BGF* pode estar localizado entre a rede de acesso e o equipamento do usuário ou entre a rede de acesso e o *core* da rede, o chamado *Core-BGF (C-BGF)*, ou ainda entre dois *cores* de redes distintas, quando é denominado *Interconnection-BGF (I-BGF)*. Algumas funções que podem ser executadas por um *BGF* são: marcação de pacotes saintes, ocultação da topologia de rede, o interfuncionamento entre redes *IPv4 (Internet Protocol version 4)* e *IPv6 (Internet Protocol version 6)*, policiamento de tráfego entrante, alocação e translação de endereço *IP* e número de porta, chamada *NAPT (Network Address and Port Translation)*, hospedagem de *NAT (Network Address Translation)* transversal.

Existe ainda um outro tipo específico de *BGF* denominado *Resource Control Enforcement Function (RCEF)*, que fica localizado na rede de acesso ou na sua borda. O *RCEF* desempenha as funções de policiamento de tráfego, marcação de pacotes e controle de banda.

2.2.1.3 *Access Relay Function (ARF)*

O *ARF* é o elemento intermediário entre o equipamento do usuário e o subsistema *NASS*, que atua recebendo as requisições do equipamento do usuário e retransmitindo as mesmas

para o subsistema *NASS*, podendo opcionalmente inserir informações de configuração local e realizar conversão de protocolos.

2.2.1.4 *Signaling Gateway Function (SGF)*

O *SGF* é a entidade da arquitetura *TISPAN NGN* que corresponde ao *SGW* da arquitetura *IMS*, sendo responsável por realizar a conversão das diferentes redes de sinalização, como por exemplo, redes de sinalização *SS7* ou *MTP* para a sinalização baseada em transporte *IP*. Também desempenha funções de garantia de *QoS*.

2.2.1.5 *Multimedia Resource Function Processor (MRFP)*

O *MRFP* também está presente na arquitetura *IMS* e foi descrito no item 2.1.8.2.

2.2.1.6 *Layer 2 Termination Function (L2TF)*

O *L2TF* tem a função de terminar os procedimentos de camada dois da rede de acesso.

2.2.2 **A camada de serviço**

A camada de serviço contém subsistemas que permitem prover os serviços aos usuários. A camada de serviços é composta pelo *core IMS*, pelo subsistema de emulação de *STFC / RSDI (PES – PSTN Emulation System)*, por outros subsistemas de aplicações e multimídia (exemplo: subsistema de *streaming* e subsistema de *broadcasting* de conteúdo) e por outros componentes comuns que são compartilhados por vários subsistemas (exemplo: componentes de *billing*, de gerenciamento de segurança, gerenciamento de perfil de usuário, base de dados de roteamento, entre outros). A seguir será apresentada uma descrição destes subsistemas.

2.2.2.1 *O core IP Multimedia Subsystem*

Dentro da arquitetura *TISPAN NGN* o *core IMS* permite que os terminais *NGN* tenham acesso aos serviços multimídia baseados em *SIP*, além de proporcionar a estes usuários serviços que simulam as redes *STFC / RSDI*. Como o próprio nome induz este subsistema é amplamente baseado nas especificações *IMS* do *3GPP*. A arquitetura *TISPAN NGN*

considera como *core NGN* apenas o elementos de rede *SIP*, como *CSCF*, *BGCF*, *MGCF* e *MRFC*. Entidades como *AS*, *MRFP*, *HSS* (na arquitetura *TISPAN NGN* denominado *UPSF*), *SLF*, *IMS-MGW* (tratado na arquitetura *TISPAN NGN* como *MGF*) e *SGW* (na arquitetura *TISPAN NGN* chamado *SGF*) não são considerados como parte do *core IMS*, porém estão presentes na arquitetura fazendo parte de outros subsistemas das camadas de transporte ou serviço. As entidades que compõem o *core IMS* são apresentadas na figura 2.8.

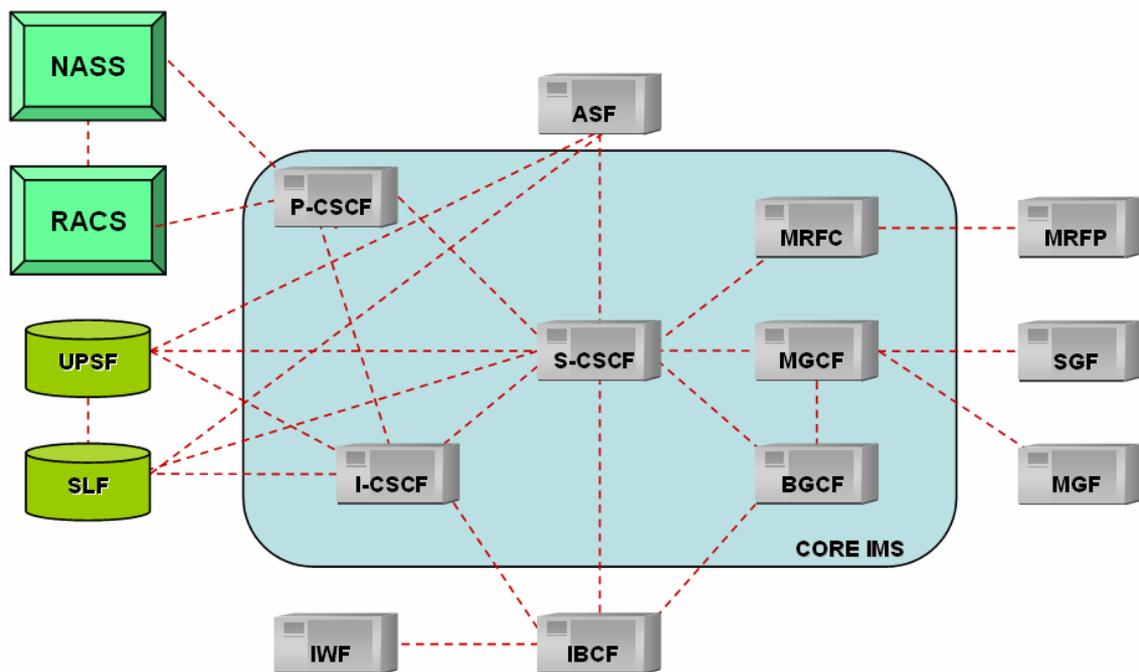


Figura 2.8 – As entidades do core IMS da arquitetura TISPAN NGN
 Fonte: Adaptado de Camarillo (2006)

O *CSCF* da arquitetura *TISPAN NGN*, que aparece na figura 2.8, é a mesma entidade funcional da arquitetura *IMS* que o item 2.1.1 descreve neste trabalho, exceto quando atua como *P-CSCF*, onde o elemento passa a ter novas interfaces com elementos funcionais dos subsistemas *RACS* e *NASS*. O *P-CSCF* da arquitetura *TISPAN NGN* incorpora a funcionalidade de *Application Level Gateway (ALG)* para prover as funções de *Network Address and Port Translation (NAPT)* localizadas no plano de transferência.

Os elementos *BGCF* e *MRFC* da arquitetura *TISPAN NGN* são as mesmas entidades da arquitetura *IMS* descritas respectivamente nos itens 2.1.5 e 2.1.8.1 neste trabalho.

O *MGCF* na arquitetura *TISPAN NGN* mantém as mesmas funcionalidades da arquitetura *IMS* que o item 2.1.4 descreve neste trabalho, porém são adicionadas novas funcionalidades que permitem o interfuncionamento com as redes de comutação por circuitos para realizar além de chamadas básicas.

2.2.3 O subsistema *PSTN Emulation Subsystem (PES)*

O termo *PSTN (Public Switched Telephone Network) Emulation* é utilizado quando a *NGN* implementa os mesmos serviços da rede *STFC / RDSI*. Nesta condição a *NGN* visa substituir a rede *STFC / RDSI* sem realizar nenhuma troca de equipamento de usuário e tampouco alterar as características dos serviços prestados.

O termo *PSTN Simulation* faz referência ao provimento de serviços de telecomunicações compatíveis com o *STFC / RDSI*, mas não necessariamente os mesmos serviços. Nesta condição podem ser oferecidos serviços que impliquem em alteração no modo de interação do usuário com o serviço e no seu equipamento terminal.

O subsistema *PES* implementa na arquitetura *TISPAN NGN* o conceito de *PSTN Emulation*, enquanto o conceito de *PSTN Simulation* é implementado pelo subsistema *core NGN*.

A figura 2.9 apresenta a arquitetura funcional do subsistema *PES*. Com exceção da entidade *Access Gateway Control Function (AGCF)*, as outras entidades funcionais do *PES* são idênticas ou derivadas da arquitetura *IMS* já descrita neste trabalho.

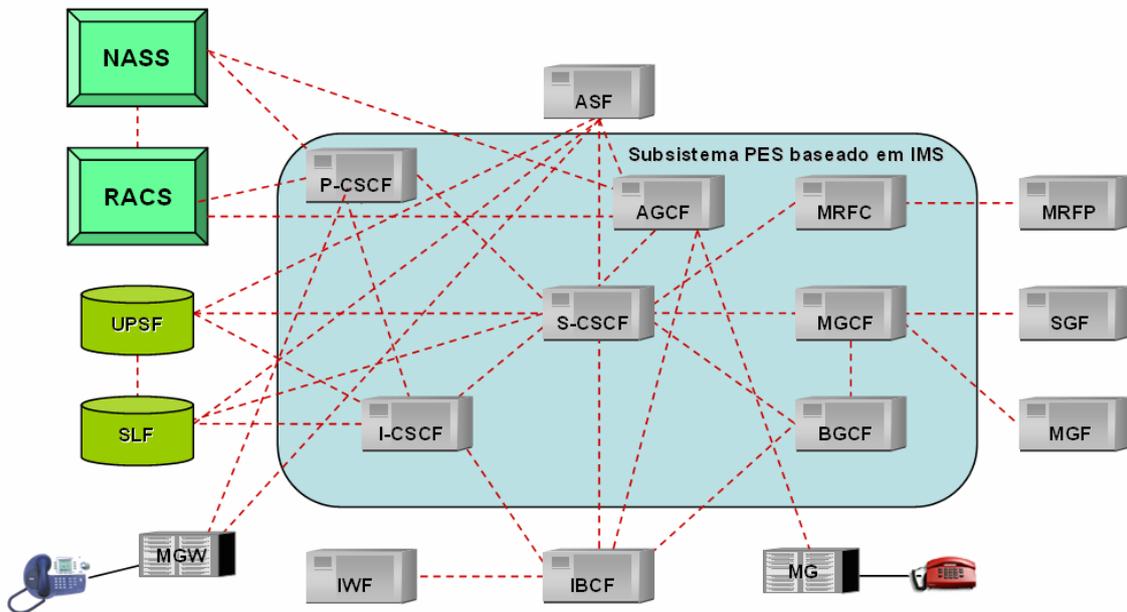


Figura 2.9 – As entidades do PES
 Fonte: Adaptado de ETSI (2006)

O elemento *AGCF* é o responsável por controlar os acessos legados em uma arquitetura de PES (*PSTN Emulation Subsystem*), sendo o primeiro ponto de contato para estes terminais. É a entidade que faz a interface com os subsistemas *NASS* e *RACS* e realiza o interfuncionamento da sinalização do terminal do usuário para a sinalização *SIP*.

2.2.4 Outros subsistemas

A concepção da arquitetura *TISPAN NGN* permite que continuamente e conforme a demanda dos serviços novos subsistemas, além do PES sejam incorporados à arquitetura, como por exemplo, o subsistema de *streaming*, que suporta serviços baseados em *streaming* e o subsistema de *broadcasting* de conteúdo, que suporta serviços de transmissão de conteúdo multimídia como o *IPTV (Internet Protocol Television)*. Estes dois subsistemas já são suportados pela arquitetura *TISPAN NGN*, porém não objetivo deste trabalho descrever estes subsistemas.

2.2.5 Componentes comuns

Na arquitetura *TISPAN NGN* algumas entidades podem ser acessadas por mais de um subsistema. A figura 2.10 apresenta estes componentes e os seus relacionamentos com os outros elementos da arquitetura.

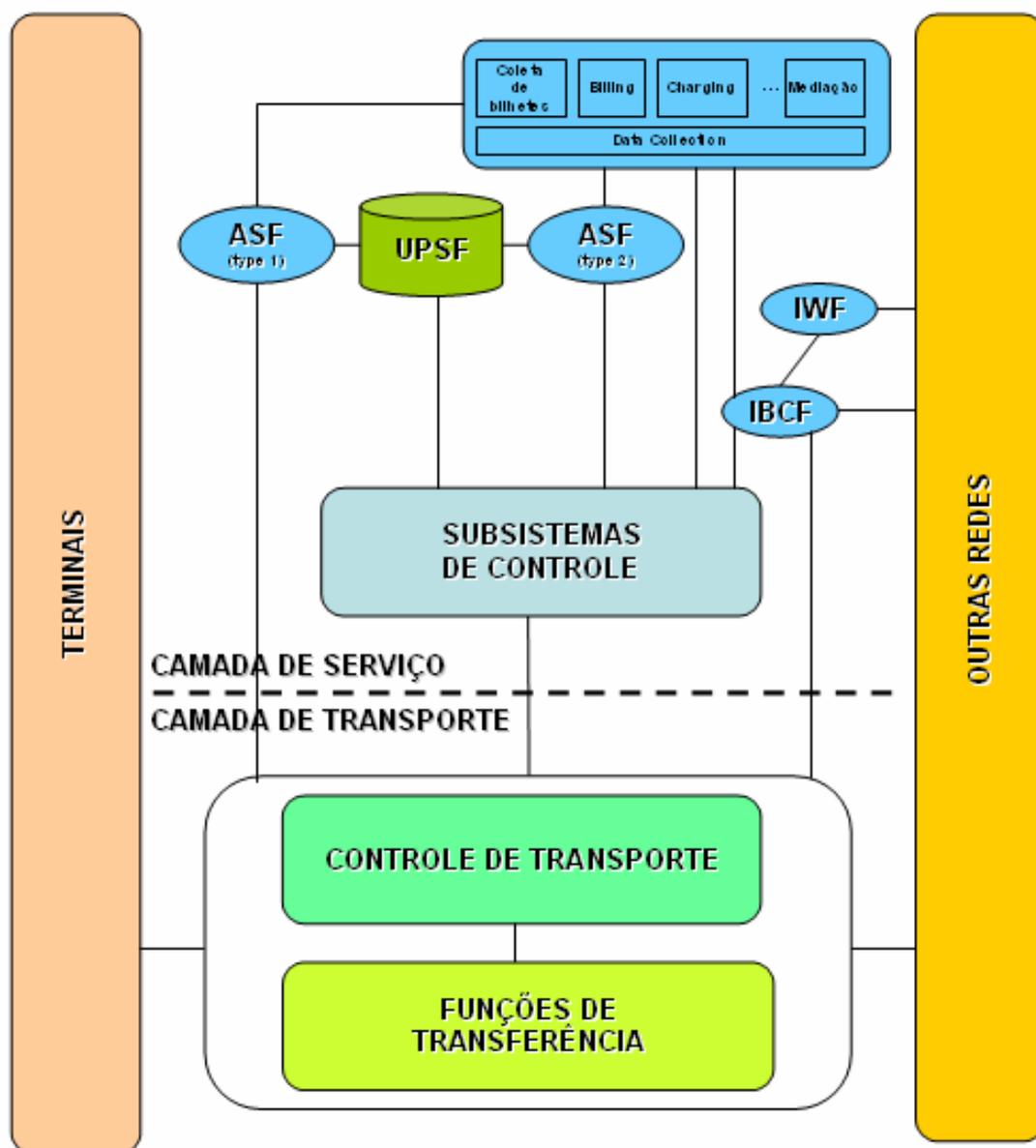


Figura 2.10 – Os componentes comuns da arquitetura TISpan NGN
 Fonte: Adaptado de ETSI (2005)

A entidade *User Profile Server Function* (*UPSF*) da arquitetura *TISpan NGN* é similar à entidade *HSS* da arquitetura *IMS* descrita no item 2.1.2 neste trabalho. A principal diferença é que o *HSS* é uma evolução do *HLR* (*Home Location Register*) das redes *GSM*, que inclui funções autenticação e gerência de mobilidade. Estas funcionalidades não são requeridas na arquitetura *TISpan NGN* e por este motivo o *UPSF* pode ser entendido como um *HSS* limitado, porém com as mesmas interfaces e funções.

O elemento *SLF* da arquitetura *TISPAN NGN* é exatamente a mesma entidade da arquitetura *IMS* que o item 2.1.3 descreve neste trabalho.

Os chamados *Application Server Functions (ASF)* são os elementos que onde os serviços são implementados. A arquitetura *TISPAN NGN* define dois tipos de *ASF*, o *ASF* tipo 1, que interage com o subsistema *RACS* para prover serviços aos usuários e o *ASF* tipo 2, que é idêntico à entidade *AS* da arquitetura *IMS*, que foi descrito neste trabalho no item 2.1.7.

A entidade denominada *Interworking Function (IWF)* permite interfuncionamento entre o protocolo *SIP* e outros protocolos, como por exemplo, o protocolo H.323.

Um novo elemento chamado *Interconnection Border Control Function (IBCF)* é introduzido pela arquitetura *TISPAN NGN*, para realizar a separação entre dois domínios diferentes. O *IBCF* é responsável incluir o *IWF* no caminho da chamada quando for necessário, além de ocultar determinadas informações do cabeçalho das mensagens *SIP* que a operadora considerar sensível e não desejar disseminar externamente.

Além dos elementos citados acima, a arquitetura *TISPAN NGN* prevê funções de coleta de bilhetes, de *billing*, de segurança e outras funcionalidades.

2.3 OS BENEFÍCIOS DAS ARQUITEURAS IMS E TISPAN NGN

Em um ambiente de negócios, as empresas realizam os seus investimentos baseados em alguns objetivos como gerar lucro para a companhia, manter ou aumentar a participação no mercado, reduzir custos operacionais, melhorar a qualidade dos produtos, expandir a capacidade de produção e outros diversos fatores que poderiam ser listados. Uma operadora de telecomunicações não é diferente de outras empresas e também deve avaliar a relação custo benefício da implementação de uma nova arquitetura em sua rede. Uma atualização tecnológica deve primordialmente trazer para a companhia oportunidades que justifiquem os investimentos necessários à sua implementação.

Apesar da grande representatividade no faturamento das operadoras que serviços de voz ainda terão nos próximos anos, começa a surgir no mercado uma demanda por serviços multimídia convergentes. Conforme foi apresentado no item 1.2 neste trabalho, alguns

serviços convergentes podem ser ofertados aos usuários sem que a operadora possua uma arquitetura baseada no *IMS* ou no *TISPAN NGN*. Portanto estas arquiteturas devem representar uma gama de benefícios para a operadora que faça jus a sua implantação.

A redução de custos será um fator preponderante no processo de decisão sobre a implementação de uma arquitetura convergente nas operadoras de telecomunicações. Uma arquitetura convergente, como as mostradas neste capítulo, reduz significativamente os custos dos recursos da rede, proporcionando unificação de diversos processos de redes distintas como administração, provisionamento, operação e manutenção. O compartilhamento da infra-estrutura da rede também produz economia significativa, pois várias funções idênticas das redes antes sem integração, agora podem ser desempenhadas em um único equipamento. Considerando a evolução da demanda por novos serviços, as redes atuais tendem a atingir um grau de complexidade muito alto, pois cada vez mais será necessário agregar novos equipamentos a estas redes. Conforme defende Castro (2004) “[...] com o uso de redes convergentes é possível uma redução de até 80% dos elementos de rede de comutação, resultando em até 40% de redução dos custos operacionais e de manutenção da rede.”.

A arquitetura convergente cria uma base comum que fornece inúmeras facilidades para o desenvolvimento de aplicações multimídia, que podem combinar os serviços de voz, dados e vídeo, criando novos serviços ou simplificando a implementação dos serviços existentes através da sinergia proporcionada pela arquitetura.

Um grande benefício oriundo das arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN* é sedimentar o ambiente das operadoras de telecomunicações para o mundo da internet e integrar definitivamente este mercado potencialmente gigantesco ao negócio de telecomunicações. A internet tem sido pioneira em inovação e dela surgem novos serviços com uma velocidade surpreendente. Por conseguinte, uma operadora de telecomunicações que almeje sucesso não pode ignorar este mercado e deve ter uma estrutura integrada com este mundo, o que não é possível com a arquitetura de rede atual.

Um dos fatores mais relevantes no processo decisório de implementação de uma arquitetura convergente é a capacidade de ofertar novos serviços que será disponibilizada pela arquitetura. Neste aspecto as arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN* proporcionarão

serviços multimídia que combinam aplicações do ambiente internet com serviços de voz e vídeo ou com outros serviços da rede móvel como *SMS* ou *MMS*. O terminal do usuário passará a ser multifuncional e permitirá a combinação dos diversos recursos disponíveis da rede, criando um ambiente praticamente inesgotável para criação de novos e sofisticados serviços, que poderão ser introduzidos na rede rapidamente, pois a arquitetura foi concebida de modo a permitir esta flexibilidade. Um serviço novo está relacionado ao desenvolvimento de um *software* a ser inserido em um *application server* da arquitetura.

O serviço de voz passa a ser apenas mais um serviço, dentre os diversos que podem ser propiciados pelas arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN*. A arquitetura convergente permite que o usuário possua várias formas de acessar a mesma rede. A operadora de telecomunicações passa a contar uma infra-estrutura capaz de proporcionar ao seu cliente acesso a todos os serviços que ele demande, como por exemplo, banda larga e acesso à internet, vídeo sob demanda, serviços interativos, TV por assinatura (*IPTV*), telefonia fixa e móvel, vídeo conferência, serviços de valor agregado, *push to talk over cellular (PoC)*, jogos, telemedicina, *e-learning*, ou qualquer outro serviço multimídia. O usuário pode escolher em qual *device* acessar ao serviço, como por exemplo, decidir se quer assistir à sua série preferida da TV por assinatura em seu celular ou na tela digital de 50 polegadas da sala, e ambos dispositivos com a qualidade requerida, otimizando os recursos da rede. Enquanto assiste ao seu programa preferido, o usuário poderá usufruir de recursos de interatividade, que podem permitir, por exemplo, a compra de uma roupa idêntica à de um personagem do programa. Segundo o boletim Painel Telecom (Brasil Telecom, 15 fev. 2007), uma pesquisa realizada pelo instituto *Gartner Group*, serviços baseados em aplicações multimídia podem produzir um incremento de até 20% nas receitas geradas pelos usuários. As operadoras e seus parceiros de conteúdo passam a ter a incumbência de criar novos serviços que façam o usuário tradicional de voz usar a rede convergente com mais frequência e eficiência.

Enfim as arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN* disponibilizam às operadoras uma plataforma de transporte comum para todas as aplicações de voz, vídeo e dados, com alta capacidade de expansão e crescimento, implementando uma sinergia entre estas três redes que se tornam uma única rede convergente.

É claro que toda a complexidade das arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN* e outros aspectos devem ser considerados na análise da sua implementação. Sobre estes aspectos Castro ressalta:

[...] aspectos relevantes terão que ser avaliados. São eles:

Evolução das Redes: não se pode substituir todo o sistema de uma operadora de serviços de telecomunicações de uma única vez. A rede irá evoluir quando viabilizar negócios com perspectiva de retorno ou quando os clientes começarem um processo de migração para concorrentes que ofereçam novos serviços. Essa evolução das redes deve ser feita a médio e longo prazo envolvendo uma convergência da infra-estrutura das redes e uma adaptação interna das empresas em pequenos passos;

Convergência: o ideal seria um processo padronizado de codificação, transporte, roteamento e endereçamento para todas as conexões fim a fim. Porém, vários fatores mostram que essa não é uma meta fácil de ser alcançada. São eles: diversidade de exigências dos usuários (mobilidade, banda larga, baixo preço, segurança); diversidade de compatibilidade de redes e meios; diversidade de exigências de serviços (telefonia, TV, vídeo sob demanda, jogos via internet, etc.); fatores de mercado, como a espera dos fornecedores de tecnologia pela compra total de sua tecnologia atual, para que haja o lançamento de uma nova. (Castro, 2004, p. 6)

Um cuidado especial deve ser dispensado à questão do *QoS* a ser garantido nesta nova rede convergente. O cenário de tráfego convergente em uma única rede representa um desafio para a administração e dimensionamento dos recursos da rede, que deve garantir desempenho, disponibilidade, flexibilidade e adaptabilidade.

3 AS NORMAS ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 14598

Segundo Koscianski (1999), normalização é o processo de aplicar regras estabelecidas e executar uma atividade de maneira ordenada. A utilização de normas no desenvolvimento de atividades propicia benefícios quantitativos como redução de custo, tempo e erros e qualitativos como adequação, facilidade de uso e uma melhor percepção pelo usuário, através de uma linguagem comum estabelecida entre fornecedores e consumidores. O autor destaca ainda que o uso de normas auxilia na obediência ao Código do Consumidor e a maior competitividade internacional.

As normas podem ser internacionais, regionais, nacionais e organizacionais em função da sua área de aplicação. Dentre os organismos internacionais de normatização destacam-se como os mais importantes a *International Organization for Standardization (ISO)* e a *International Electrotechnical Commission (IEC)*.

A *ISO* é uma organização não governamental estabelecida em 1947, cuja missão é promover o desenvolvimento da normatização e atividades relacionadas a nível mundial. O seu trabalho resulta em acordos entre países e que são publicados como Normas Internacionais. Todos os países têm o direito de participar dos trabalhos da *ISO* em Comitês Técnicos ou Subcomitês. A participação pode ser do tipo P, quando há atuação ativa nos trabalhos e com a obrigação de votar, ou do tipo O, quando participa como observador recebendo cópias dos documentos, participando das reuniões e apresentando comentários, mas sem votar.

A *IEC* é a organização mundial que publica as normas internacionais relacionadas com eletricidade, eletrônica e áreas relacionadas. Foi fundada em 1906 e conta com a participação de mais de 50 países.

Na área de tecnologia de informação, a *ISO* e *IEC*, estabeleceram um comitê conjunto, o *Joint Technical Committees (JTC)* para a elaboração de normas na área. Os trabalhos são organizados de acordo com as áreas de especialização e então são criados os *Working Groups*, numerados sequencialmente na ordem em que foram estabelecidos. Os trabalhos

dos grupos são chamados de projetos e classificados conforme a etapa de desenvolvimento em que se encontram.

A organização responsável pelas normas brasileiras é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Ela é reconhecida como Foro Nacional de Normalização. Foi fundada em 1940 e é uma entidade privada, sem fins lucrativos, que representa o Brasil nas entidades de normalização internacional como a *ISO* e a *IEC*. A ABNT é formada por Comitês Brasileiros (CB) e Organismos de Normalização Setorial (ONS) que fazem o planejamento, a coordenação e controle das Comissões de Estudo (CE) que elaboram e mantêm atualizadas as Normas Brasileiras.

3.1 O PROCESSO DE AVALIAÇÃO

Koscianski (1999) destaca que uma avaliação efetiva, através de um modelo de qualidade que permita estabelecer e avaliar requisitos de qualidade e também que o processo de avaliação seja bem definido e estruturado, resultará na obtenção de maior qualidade nos produtos, sejam eles produtos completos ou partes a serem integradas num sistema mais amplo. Sob este aspecto Coelho (2005), ressalta:

Quando o objetivo é avaliar um projeto pelas suas qualidades, muitas vezes esbarra-se em critérios não mensuráveis economicamente. Isto se confirma pelo próprio conceito subjetivo de qualidade, por exemplo, que consiste no cumprimento dos requisitos e especificações segundo expectativas determinadas por uma entidade, grupo ou indivíduo e que podem ser totalmente diferentes para outra entidade, grupo ou indivíduo, mesmo sendo o mesmo produto tecnológico. Para que se tenha êxito em um projeto de tecnologia é imperioso obter-se a visão clara e pragmática dos efeitos da adoção da tecnologia em questão para ambientes interno e externo, incluindo o seu grau de influência e, principalmente, de suas restrições. (Coelho, 2005, p. 45)

Existem duas famílias de normas internacionais que propiciam a compreensão completa do processo de avaliação: *ISO/IEC 9126* (partes 1 a 4) e *ISO/IEC 14598* (partes de 1 a 6). Estas duas famílias de normas descrevem um modelo de qualidade, um processo de avaliação e alguns exemplos de métricas que podem ser utilizadas por organizações que pretendam fazer avaliação de produto de *software*. Coelho (2005) trabalhou com a norma *ISO/IEC 9126* e concluiu que apesar de abranger, à priori, o ambiente de sistemas de tecnologia da informação, pode ter seus conceitos extrapolados para outros segmentos de

tecnologia. Neste ponto concordamos que a mesma extrapolação se aplica à norma *ISO/IEC 14598*.

Koscianski (1999) propõe um modelo para o processo de avaliação baseado nestas duas normas que é apresentado na figura 3.1, onde os números entre parênteses correspondem aos itens da norma 14598-1 que tratam do assunto.

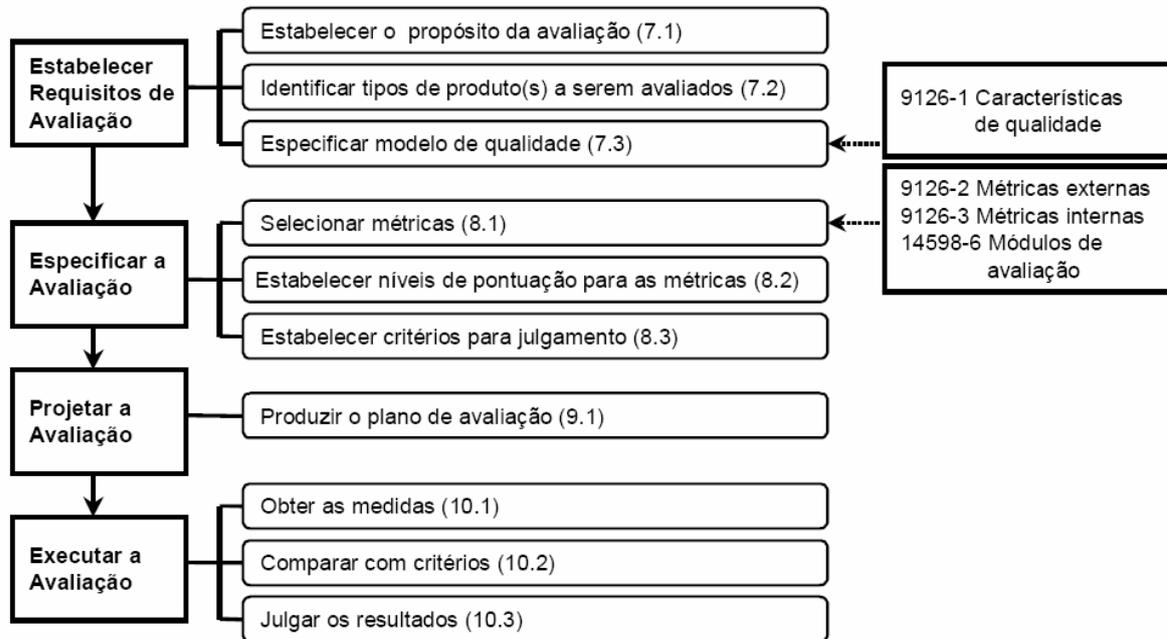


Figura 3.1 – O processo de avaliação
Fonte: Koscianski (1999)

A seguir será apresentado um breve resumo deste modelo proposto por Koscianski (1999) e baseado na NBR *ISO/IEC 14598* (2003).

3.1.1 Estabelecimento dos requisitos de avaliação

3.1.1.1 Estabelecimento do propósito da avaliação

O propósito da avaliação de qualidade de produtos de tecnologia é apoiar diretamente o desenvolvimento e a aquisição destes produtos que atenda as necessidades do usuário e do cliente. O objetivo final é assegurar que o produto forneça a qualidade requerida e que ele atenda as necessidades explícitas e implícitas dos usuários. A norma 14598-1 distingue propósitos de avaliação para produtos intermediários e finais.

O propósito da avaliação de qualidade de produto intermediário pode ser:

- Decidir quanto à aceitação de um produto intermediário de um subcontratado;
- Decidir quanto ao encerramento de um processo e quando enviar produtos para o próximo processo;
- Prever ou estimar a qualidade do produto final;
- Recolher informações sobre produtos intermediários para controlar e gerenciar o processo.

O propósito da avaliação de qualidade de produto final pode ser:

- Decidir quanto à aceitação do produto;
- Decidir quando liberar o produto;
- Comparar o produto com produtos competidores;
- Selecionar um produto entre produtos alternativos;
- Analisar os efeitos positivos e negativos da utilização de um produto;
- Decidir quando aprimorar ou substituir o produto.

O estabelecimento do propósito da avaliação, em qualquer das situações apresentadas anteriormente deve envolver um avaliador (Koscianski, 1999).

3.1.1.2 Identificação dos tipos de produtos a serem avaliados

O tipo de produto, quer seja um dos produtos intermediário ou final, a ser avaliado dependerá do estágio no ciclo de vida e do propósito da avaliação. O objetivo é que quando o produto seja realmente utilizado pelo usuário ele atenda as necessidades explícitas e implícitas. Dependendo do tipo de avaliação a ser realizada, isto é, avaliação de produtos intermediários ou finais, modelo de qualidade utilizado e tipo de requisitante da avaliação, o avaliador deve participar da identificação dos produtos a serem avaliados.

Nesta fase do processo de avaliação a identificação do produto a ser avaliado é ainda preliminar. No decorrer das outras fases do processo mais informações são obtidas, o que contribui para uma melhor identificação dos produtos a serem avaliados.

Um fator que pode ser determinante na seleção dos componentes a serem avaliados é a disponibilidade de métodos de avaliação na organização que irá realizar a avaliação. Por exemplo, suponha-se que um propósito de avaliação seja a escolha entre alguns produtos de mercado e que um dos requisitos de qualidade para esta escolha seja segurança de acesso a dados. Suponha-se também que a organização não disponha de métodos de avaliação deste requisito de qualidade. Esta não disponibilidade poderá determinar que os componentes do produto que tratam especificamente de segurança de acesso sejam desconsiderados para efeito de avaliação ou que este requisito, caso seja muito importante, tenha que ser avaliado por outra organização.

A definição de qual produto intermediário será avaliado é mais complexa, pois depende em primeiro lugar do ciclo de vida de desenvolvimento adotado pela organização e do estágio em que se encontram seus respectivos produtos. Além disso, deve-se considerar que as métricas internas devem ser escolhidas de modo a refletir a futura qualidade externa do produto e, assim sendo, é necessário conhecer-se os requisitos externos, para então definir-se que métricas internas são aplicáveis aos produtos intermediários de modo a se obter uma avaliação efetiva.

As primeiras vezes que estas definições de produtos intermediários para avaliação são feitas, não se constituem em um trabalho simples, porém, em termos práticos, a partir da existência de um histórico de métricas aplicadas na organização, é provável que exista uma referência empírica a ser considerada, tanto para a seleção de métricas como para identificação dos produtos a serem avaliados. Portanto, a escolha inicial tende a ser refinada nas demais fases de avaliação.

3.1.1.3 Especificação do modelo de qualidade

A primeira etapa na avaliação de um produto tecnológico é selecionar as características de qualidade relevantes, utilizando um modelo de qualidade que desdobre a qualidade do produto em diferentes características. Os modelos de qualidade para avaliação geralmente representam a totalidade dos atributos de qualidade classificados em uma estrutura de árvore hierárquica de características e subcaracterísticas. O nível mais alto desta estrutura é composto pelas características de qualidade e o nível mais baixo é composto pelos atributos de qualidade. A *ISO/IEC 9126-1* fornece um modelo de propósito geral o qual

define seis amplas categorias de características de qualidade: funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade. Estas podem ser subdivididas em subcaracterísticas que possuem atributos mensuráveis. O efeito combinado das características de qualidade em uma situação particular de uso é definido como qualidade em uso.

No estágio inicial da avaliação, convém que esses requisitos de qualidade sejam estudados e identificados, para o planejamento e implementação da avaliação. Convém que o avaliador estabeleça requisitos de qualidade externa para cada característica de qualidade que seja relevante. Convém que a completude e correção da especificação dos requisitos de qualidade sejam avaliadas para assegurar que todos os requisitos necessários tenham sido especificados e que requisitos desnecessários tenham sido excluídos. O avaliador necessita avaliar o produto em relação a estes requisitos antes da entrega.

As necessidades explícitas e implícitas precisam ser atendidas para que se alcance qualidade. Assim, é importante verificar se as necessidades implícitas estão especificadas com detalhes suficientes para cada característica de qualidade relevante. A experiência do usuário com protótipos frequentemente conduz a uma definição mais precisa quanto aos requisitos de qualidade em uso.

Convém que o desenvolvedor identifique os requisitos de qualidade interna. Quando são utilizados requisitos de qualidade interna, convém que o desenvolvedor identifique-os usando um modelo de qualidade que os relacione com os requisitos de qualidade externa, e utilize os requisitos internos para verificar a qualidade dos produtos intermediários durante o desenvolvimento.

Apesar da 14598-1 possibilitar o uso de qualquer modelo de qualidade, a aplicação deste processo de avaliação torna-se muito mais simples se for utilizado o modelo da 9126-1, pois todas as normas da família 14598 estão fortemente relacionadas àquele modelo. A norma 14598-1 não é muito clara quanto à forma e momento adequado de se definir os requisitos esperados para o produto e que devem ser avaliados. Nesta fase de especificação do modelo de qualidade é dado certo destaque para a definição dos requisitos de qualidade para cada uma das características de qualidade relevantes. Porém, neste ponto ainda não foram definidas métricas externas a serem utilizadas, dificultando o processo de

quantificação dos requisitos. Esta constatação nos leva a perceber que o processo de identificação de requisitos de qualidade necessita ser refinado em estágios posteriores da avaliação.

Podem ser aplicadas diversas técnicas de identificação de requisitos, mas sua efetividade pode ser aumentada a partir da construção de listas de verificação obtidas a partir do próprio modelo de qualidade da 9126-1. Caso não seja adotada esta sistemática, ao final do processo de obtenção de requisitos, de qualquer maneira, será necessário fazer seu mapeamento com relação ao modelo de qualidade escolhido.

3.1.2 Especificação da avaliação

3.1.2.1 Seleção de métricas

Koscianski (1999) ressalta que é importante que as medições de um produto possam ser feitas fácil e economicamente e que as medidas resultantes sejam fáceis de usar. A forma pela qual as características de qualidade têm sido definidas não permite sua medição direta. É necessário estabelecer métricas que se correlacionem às características do produto. Todo atributo interno e externo quantificável do produto interagindo com seu ambiente e que se correlacione com uma característica, pode ser definido como uma métrica.

Métricas podem ser diferenciadas, dependendo do ambiente e das fases do processo de desenvolvimento em que são utilizadas. Convém que as métricas utilizadas no processo de desenvolvimento estejam correlacionadas com as métricas sob a perspectiva do usuário, pois essas são decisivas. Convém que as métricas internas tenham validade para efeito de previsão, isto é, convém que estejam correlacionadas com algum critério externo desejado.

É importante que as medições resultem em valores que coincidam com as expectativas. Por exemplo, se a medição sugere que o produto é de alta qualidade então convém que esta constatação seja consistente com a satisfação que o produto proporciona às necessidades específicas de um usuário.

Um critério adicional para seleção de métricas pode ser baseado na definição dos requisitos de qualidade considerados fundamentais (ou de maior importância). Em outras palavras, o

primeiro nível de seleção de métricas pode ser para prover medições para os requisitos de qualidade obrigatórios. Ao mesmo tempo, requisitos considerados acessórios poderão sugerir o descarte prévio de qualquer proposta de métrica para os mesmos. Isto evita o uso de métricas desnecessárias que terminam por simplesmente onerar o processo de avaliação.

A partir do momento que os requisitos foram estabelecidos, os mesmos poderão ser mais bem definidos a partir da escolha de uma métrica que, ao mesmo tempo permita a especificação deste requisito e também a sua avaliação.

Nesta fase da avaliação poderá ser completada a lista de requisitos, mantendo-se sem identificação apenas aqueles requisitos que não foram percebidos pelos agentes envolvidos, ou também aqueles considerados implícitos, ou seja, pode ser entendido como um requisito pelo requisitante da avaliação, mas não ser repassado ao avaliador.

O avaliador deve definir as condições sob as quais as medições devem ser executadas. Isto significa que se devem identificar outros atributos cujos valores influem nas medições e definir os valores desses mesmos atributos.

Na definição de atributos de qualidade a serem avaliados, deve-se observar possíveis influências de outros atributos no resultado da avaliação inicialmente determinada. Por exemplo, caso o atributo “tempo de aprendizado” seja utilizado para avaliação de usabilidade, provavelmente será necessária a avaliação de um outro atributo “capacitação dos envolvidos”, pois esta capacitação com certeza influencia na aprendizagem.

3.1.2.2 Estabelecimento de níveis de pontuação para as métricas

As particularidades quantificáveis podem ser medidas quantitativamente usando-se métricas de qualidade. O resultado, isto é, o valor medido, é mapeado numa escala. Este valor, por si só, não mostra o nível de satisfação. Para isso, a escala precisa ser dividida em faixas correspondentes aos diversos graus de satisfação dos requisitos. São exemplos:

Dividir a escala em duas categorias: satisfatória e insatisfatória;

Dividir a escala em quatro categorias delimitadas por: o pior caso, o nível atual para um produto existente ou alternativo, e o nível planejado.

O nível atual é estabelecido para controlar se o novo sistema não se deteriora em relação a situação atual. O nível planejado é o que é considerado alcançável com os recursos disponíveis. O pior caso é o limite para a aceitação pelo usuário, no caso em que o produto não alcance o nível planejado. A figura 3.2 ilustra esta possível divisão.



Figura 3.2 – Níveis de pontuação para as métricas
 Fonte: Koscianski (1999)

Ao elaborar uma escala como a apresentada na figura 3.2, um avaliador deve observar dois pontos importantes:

Cada métrica será relacionada a uma escala específica. Um grande número de métricas implicará num trabalho cuidadoso para estabelecer e documentar todas as escalas. Além disso, é preciso que exista um método para sintetizar os resultados de avaliação;

Os níveis de pontuação (ou faixas de corte “mínimo aceitável”, “intervalo alvo”, “inaceitável”) podem não ser conhecidos de antemão. Esses níveis serão particulares de cada caso e de cada organização. Nas primeiras avaliações esses valores podem ser difíceis

serem estabelecidos, mas depois de alguma experiência haverá dados disponíveis para que a organização comece a estabelecer com segurança os seus critérios de qualidade.

3.1.2.3 Estabelecimento de critérios para julgamento

Para julgar a qualidade do produto, o resultado da avaliação de cada característica precisa ser sintetizado. Convém que o avaliador prepare um procedimento para isto, com critérios diferentes para características de qualidade diferentes, onde cada característica poderá estar representada em termos de suas subcaracterísticas ou de uma combinação ponderada de subcaracterísticas. O procedimento normalmente incluirá outros aspectos como tempo e custo, os quais contribuem para o julgamento da qualidade de um produto num ambiente particular.

Julgar a qualidade significa em essência interpretar os resultados das medições. O primeiro passo nesse sentido já foi realizado no item anterior deste capítulo, quando se estabeleceram níveis de pontuação para as métricas. O que seria desejável a seguir é obter conclusões sobre qualidade, a partir do conjunto de valores obtidos da aplicação de métricas. Como método para obter estes resultados será utilizado, neste trabalho, a teoria conhecida como Processo de Análise Hierárquica, proposta pelo professor Thomas Saaty, que será detalhada no capítulo 4 deste trabalho.

3.1.3 Projeção da Avaliação

3.1.3.1 Produção do plano de avaliação

O Plano de Avaliação descreve os métodos de avaliação e o cronograma das ações do avaliador (*ISO/IEC 14598* partes 3, 4 e 5). Convém que ele esteja consistente com o Plano de Medições (*ISO/IEC 14598-2*).

O avaliador deve especificar ações (procedimentos) para coleta dos dados a serem executadas para obter valores reais para cada métrica externa ou interna. Isto inclui a especificação de cronogramas, responsabilidades, e o uso de ferramentas de coleta de dados e de análise. Se for necessário treinamento especial para o pessoal, isto também deve ser planejado.

O avaliador também deve definir o grau de precisão da medição. Todo modelo estatístico aplicado deve ser especificado, incluindo requisitos de entrada de dados, estratégias de amostragem, entre outros.

O avaliador deve definir ações em caso de eventualidades, como avaliações extras, caso os resultados das medições sejam não conclusivos ou alarmantes.

3.1.4 Execução da avaliação

3.1.4.1 Tomada de medidas

Para medição, as métricas selecionadas são aplicadas ao produto avaliado. Como resultado obtém-se os valores nas escalas das métricas. O avaliador deve coletar os valores reais das medidas para os atributos internos definidos de acordo com as ações para coleta de dados definidas. Se os requisitos de qualidade forem modificados, o desenvolvedor deve reconsiderar as especificações da avaliação e o projeto da avaliação.

O avaliador deve tomar as medidas necessárias para assegurar a qualidade dos dados coletados. As ações devem incluir, quando apropriado, validação de ferramentas automáticas para coleta de dados e utilização de pessoas para conferência dos dados.

3.1.4.2 Comparação com critérios

Na etapa de pontuação, o valor medido é comparado com critérios predeterminados, por exemplo, como mostrado na Figura 3.2. No caso de aceitar-se uma deficiência relacionada a um requisito obrigatório, deve-se justificar tal atitude. Também devem ser consideradas avaliações adicionais, caso sejam aceitos produtos com deficiências detectadas, ou ainda sejam percebidas deficiências no próprio processo de avaliação.

3.1.4.3 Julgamento dos resultados

O julgamento é a etapa final do processo de avaliação, onde um conjunto de níveis pontuados é resumido. O resultado é uma declaração de quanto o produto atende os requisitos de qualidade. Então a qualidade resumida é comparada com outros aspectos

como tempo e custo. Finalmente uma decisão gerencial será tomada baseada nos critérios gerenciais.

Os resultados da avaliação são importantes para decisões sobre os próximos passos no ciclo de vida de produto. Por exemplo, definir se os requisitos devem ser alterados ou se são necessários mais recursos para o processo de desenvolvimento.

Convém que avaliador utilize os valores obtidos para os indicadores definidos para estimar a qualidade do produto final, levando-se em conta, para tanto, a experiência da organização em projetos anteriores com requisitos de qualidade similares. Também convém que se utilizem os valores obtidos para monitorar tendências de forma a identificar riscos de desenvolvimento, tomando ações de contingência quando necessário.

O avaliador deve fazer um julgamento dos resultados da avaliação e para tanto convém que os valores obtidos sejam resumidos e comparados com outros valores, como tempo e custo, de maneira a sustentar uma decisão sobre o resultado do desenvolvimento, que pode envolver melhoria do produto ou revisão dos requisitos.

Por fim, o avaliador deve rever os resultados da avaliação e a validade do processo de avaliação, dos indicadores e das métricas aplicadas. Convém que a retroalimentação sobre esta revisão seja utilizada de maneira a melhorar o processo de avaliação e os módulos de avaliação. Quando for necessário melhorar os módulos de avaliação, convém que seja incluída a coleta de dados sobre indicadores extras, de maneira a validá-los para uso posterior.

Mantendo-se um histórico de resultados de avaliações ao longo do ciclo de vida do produto, isto é, um registro dos valores obtidos pelas métricas, deve ser possível acompanhar a evolução do produto durante seu desenvolvimento. A partir daí, torna-se possível identificar tendências, como por exemplo, curvas de queda de eficiência, de usabilidade, entre outras. Na verdade, manter registros de avaliação é um recurso valioso senão essencial, tanto para acompanhar o desenvolvimento de produtos, como para melhorar a precisão do próprio processo de avaliação.

Na medida em que os requisitos de qualidade sejam mais estritos ou mais complexos, é de se esperar um aumento tanto no número de atributos do produto quanto no número de métricas utilizadas. Isto traz como consequência uma maior dificuldade para emitir um julgamento ou simplesmente enunciar resultados sobre a qualidade de um produto. Por exemplo, uma avaliação com o propósito de escolher entre três produtos para aquisição, tendo sido utilizadas 50 métricas no processo. Ao fim do processo, o requisitante da avaliação poderia sugerir algumas questões, como:

Se usabilidade era mais importante do que a eficiência, como isso foi computado?

Qual a influência da métrica número 23 na determinação do resultado final?

Como se chegou à conclusão de que o produto A era melhor que B e C?

A metodologia que o presente trabalho se propõe a apresentar pretende auxiliar no fornecimento de respostas a este tipo de questionamento. A ferramenta proposta será oriunda de um processo de avaliação com condução baseada na norma *ISO/IEC 14598*, conforme proposta de Koscianski (1999), com o modelo de qualidade definido na norma *ISO/IEC 9126*, que será mais bem detalhada em seguida, integrados em uma ferramenta de apoio ao processo decisório baseada na teoria *AHP*, que será apresentada no capítulo 4 deste documento.

3.2 UM MODELO PARA A QUALIDADE

Segundo Coelho (2005), a *ISO/IEC 9126* mede como um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência² e satisfação em um contexto específico de uso. O autor enfatiza que, apesar das terminologias da norma referenciarem sistemas de informação, são perfeitamente aplicáveis a quaisquer produtos ou artefatos de tecnologia em geral.

A Norma *ISO/IEC 9126* descreve um modelo que objetiva implementar qualidade ao produto tecnológico do ponto de vista do usuário. Este modelo é composto de duas partes:

² Segundo o dicionário o Moderno Dicionário da Língua Portuguesa Michaelis são apresentadas as definições de eficiência: capacidade de produzir um efeito; e eficácia: qualidade daquilo que produz o resultado esperado.

- Qualidade interna e externa: especificada por seis características subdivididas em subcaracterísticas. Estas características são manifestadas externamente, partindo do pressuposto que as características externas dependem das características internas, que podem ser melhoradas durante a implementação, revisão e testes do produto;
- Qualidade em uso: é o efeito, para o usuário, combinado das seis características de qualidade do produto, quando este produto é usado em um ambiente e um contexto de uso. Está relacionada à capacidade dos usuários poderem atingir seus objetivos num determinado ambiente e não às propriedades do produto em si.

As qualidades externas e internas da *ISO/IEC 9126* que refletem na totalidade as características do produto tecnológico são apresentadas na figura 3.3.

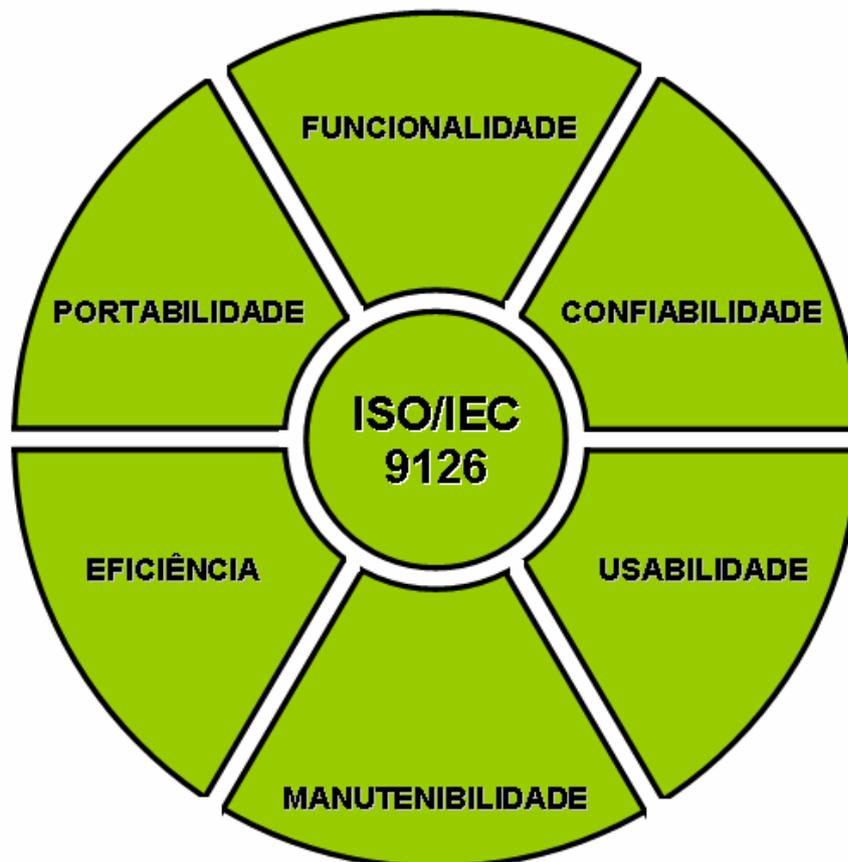


Figura 3.3 – As qualidades internas e externas da *ISO/IEC 9126*
Fonte: adaptado de NBR *ISO/IEC 9126-1* (2003)

Estas características de qualidade apresentam subcaracterísticas que são estruturadas em uma hierarquia apresentada na figura 3.4 e serão descritas a seguir, com base nos conceitos contidos na NBR *ISO/IEC 9126* (ABNT, 2003).



Figura 3.4 – Modelo *ISO/IEC* 9126 de características de qualidade
 Fonte: adaptado de NBR *ISO/IEC* 9126-1 (2003)

3.2.1 Funcionalidade

A característica de funcionalidade é definida como a capacidade do produto tecnológico de atender às necessidades explícitas e implícitas do usuário quando o produto de tecnologia é utilizado sob condições especificadas. Essas funções devem atender às seguintes subcaracterísticas:

- Adequação: capacidade de prover funções que propiciem ao usuário executar as tarefas específicas e alcançar os objetivos especificados;
- Acurácia: capacidade de fornecer o resultado ou efeito correto ou com o grau de precisão acordado;
- Interoperabilidade: capacidade de interagir com outros sistemas tecnológicos especificados;
- Segurança de acesso: capacidade de proteger informações e dados, permitindo acesso com segurança de pessoas ou sistemas autorizados e proibindo leitura e alteração de pessoas ou sistemas não autorizados;
- Conformidade relativa à funcionalidade: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à funcionalidade.

3.2.2 Confiabilidade

O conceito de confiabilidade está relacionado à capacidade de manutenção do desempenho ao longo do tempo sob condições previamente estabelecidas. Apresenta as seguintes subcaracterísticas:

- **Maturidade:** capacidade de evitar falhas provenientes de algum defeito no produto tecnológico;
- **Tolerância a Falhas:** capacidade de manter um nível de desempenho estabelecido em caso de defeito;
- **Recuperabilidade:** capacidade de restabelecer o desempenho especificado e recuperar informações e funcionalidades diretamente afetadas após a ocorrência de falhas;
- **Conformidade relativa à confiabilidade:** capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à confiabilidade.

3.2.3 Usabilidade

A usabilidade está relacionada à facilidade de uso do produto tecnológico por parte do usuário. É definida como a capacidade de entendimento, aprendizagem, utilização e atratividade do produto tecnológico para o usuário e possui as seguintes subcaracterísticas:

- **Inteligibilidade:** capacidade de fornecer ao usuário o entendimento dos conceitos básicos que permitam verificar como o produto tecnológico pode ser usado para tarefas especificadas se ele é adequado;
- **Aprendibilidade:** capacidade de facilitar ao usuário o aprendizado da utilização do produto tecnológico;
- **Operacionalidade:** capacidade de operacionalização e controle sobre produto tecnológico;
- **Atratividade:** capacidade de ser atraente para o usuário;
- **Conformidade relativa à usabilidade:** capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à usabilidade.

3.2.4 Eficiência

A característica de eficiência diz respeito à compatibilidade entre a quantidade de recursos utilizada e o nível de desempenho requerido pelo produto tecnológico sob condições estabelecidas. As subcaracterísticas deste conceito são:

- Comportamento em relação ao tempo: capacidade de fornecer taxas de transferência de informação, tempos de resposta e processamento adequados;
- Comportamento em relação aos recursos: capacidade de usar quantidade e tipos de recursos adequados sob condições específicas;
- Conformidade relativa à eficiência: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à eficiência.

3.2.5 Manutenibilidade

A definição de manutenibilidade remete à capacidade de permitir modificações no produto tecnológico a partir das seguintes características:

- Analisabilidade: capacidade de diagnosticar causas de falhas e deficiências e de identificar as alterações necessárias;
- Modificabilidade: capacidade de permitir implementação de modificações especificadas;
- Estabilidade: capacidade de minimizar efeitos inesperados decorrentes de modificações;
- Testabilidade: capacidade de validar as modificações efetuadas antes da colocação em produção;
- Conformidade relativa à manutenibilidade: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à manutenibilidade.

3.2.6 Portabilidade

O conceito de portabilidade abrange a capacidade que o produto de tecnologia tem de ser transferido de um ambiente para outro com um pequeno esforço de adaptação. As subcaracterísticas deste atributo são:

- Adaptabilidade: capacidade de adaptar o produto de tecnologia para utilização em ambientes diferentes do originalmente especificado, sem intervenção maior no sistema tecnológico;
- Capacidade de instalação: capacidade de ser instalado em um ambiente específico;
- Coexistência: capacidade de coexistir com outros produtos tecnológicos independentes em um ambiente comum, compartilhando recursos comuns;
- Capacidade de substituição: capacidade de substituir outro produto de tecnologia especificado com o mesmo propósito no mesmo ambiente;
- Conformidade relativa à portabilidade: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à portabilidade.

4 O PROCESSO DECISÓRIO

Segundo Bana e Costa (*apud* Almeida, 2004), um processo de decisão é um sistema complexo de relações em que há elementos de natureza objetiva, que pressupõem alternativas e elementos de natureza claramente subjetiva (aspectos cognitivos), que estão relacionados ao sistema de valores dos decisores. Não se consegue separar as duas naturezas desse sistema e, portanto, as metodologias de apoio ao processo de tomada de decisão devem obrigatoriamente considerar os dois aspectos. Conforme reforça o autor a objetividade é importante num processo decisório, contudo, não se deve esquecer que a tomada de decisão é uma atividade desempenhada por pessoas, portanto, a subjetividade estará sempre presente ainda que o modelo não apresente clara ou explicitamente este fato. Por conseguinte, pode-se concluir que tomar decisões é um processo que exige a agregação de variáveis quantitativas e qualitativas.

Para se decidir sobre algo, o decisor deve antes de qualquer coisa adquirir conhecimento sobre a decisão a ser tomada tornando a sua decisão segura e coerente. Esta premissa é reforçada por Robbins e Coulter (1998) e Daft (*apud* Coelho, 2005) ao afirmarem que cada situação de decisão organiza-se uma escala de acordo com a disponibilidade de informações e a possibilidade de falhas. As quatro posições desta escala, que são apresentadas na figura 4.1, são:

- **Certeza:** situação em que todas as informações necessárias à tomada de decisão estão completamente disponíveis. Trata-se da situação ideal para decisões precisas, contudo não é condição sob a qual a maioria das decisões é tomada, sendo uma situação mais ideal que prática;
- **Risco:** situação em que a decisão possui metas bem definidas e dispõe de informações suficientes para simular ou estimar a probabilidade de um resultado para cada alternativa a ser avaliada. Esta estimativa ou simulação de resultado pode ocorrer através de uma ferramenta auxiliar ao processo decisório ou da experiência pessoal do decisor, contudo sempre existe a possibilidade de estimar as probabilidades para as diferentes alternativas;
- **Incerteza:** situação em que metas almejadas são conhecidas, no entanto as informações sobre alternativas e eventos futuros são incompletas. Nesta condição

não se podem produzir estimativas de probabilidade razoáveis a respeito das conseqüências de cada alternativa. Neste cenário o caráter do decisor passa a ter um peso maior na decisão. Inevitavelmente, o tomador de decisão será tendencioso agindo conforme suas orientações pessoais, sejam elas mais ou menos conservadoras;

- Ambigüidade: situação em que as metas a serem alcançadas ou o problema a ser resolvido não estão claras, as alternativas são difíceis de definir e não há informações sobre os resultados.

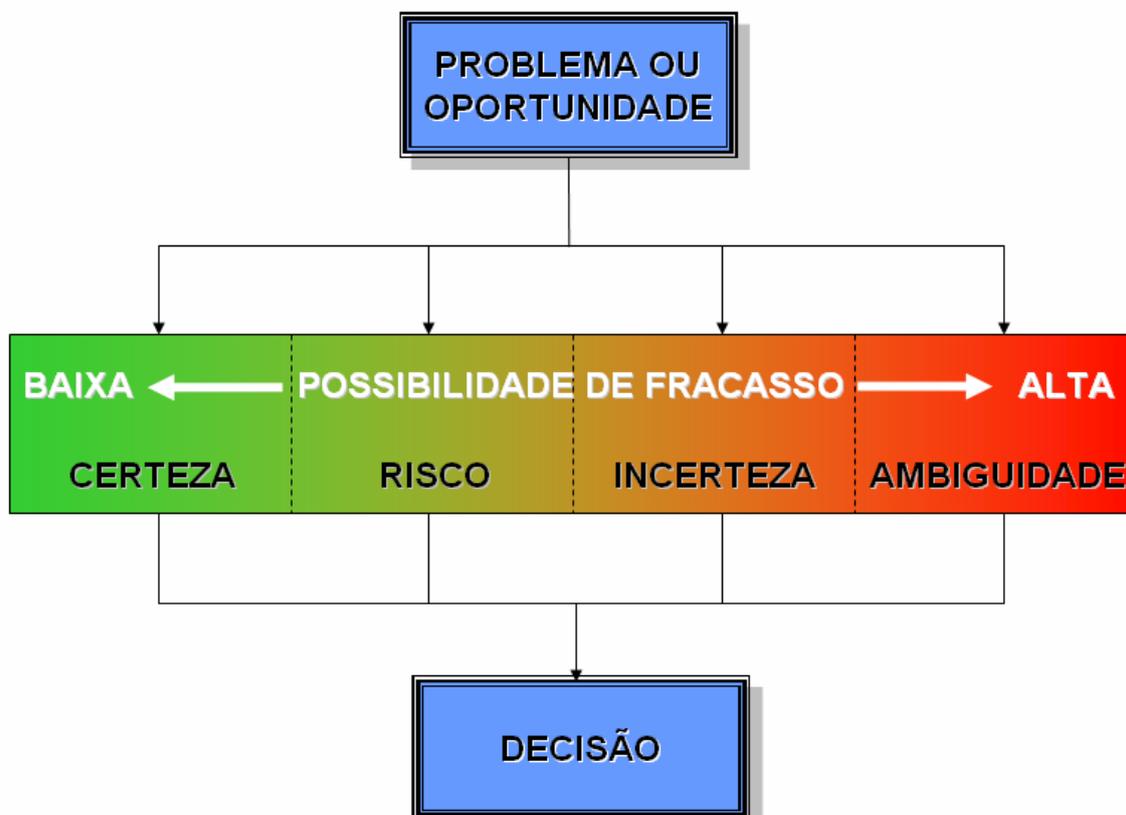


Figura 4.1 – Escala de situação de decisão
Fonte: Adaptado de Coelho (2005)

Fica evidenciado que obter informações adicionais sobre eventos incertos é essencial para garantir que as decisões tomadas sejam as melhores, proporcionando a maximização do acerto na escolha da alternativa a ser aplicada para solução do problema (Samuelson, *apud* Coelho, 2005).

As decisões podem ser classificadas segundo diversos critérios. Uma classificação tradicional da bibliografia de administração é a divisão em decisões programadas e não

programadas. As decisões programadas envolvem cenários que ocorrem frequentemente, o que permite o desenvolvimento e aplicação de regras às situações, logo estas decisões podem ser orientadas por uma regra, procedimento ou método quantitativo. As decisões não programadas ocorrem em situações excepcionais ou incomuns, em que as variáveis do problema ou oportunidade apresentam dificuldade de definição, quantificação e estruturação. Uma outra classificação proposta por Stival (2003) é apresentada a seguir:

- Irreversível: é a tomada de decisão que não permite retrocesso, quando tomada deve ser considerado que os prejuízos de se voltar atrás serão grandes;
- Reversível: é a decisão que pode sofrer mudanças radicais, seja antes, durante ou depois da implementação do que foi decidido;
- Experimental: é um tipo de decisão que só é considerada definitiva, quando os primeiros resultados satisfatórios surgem;
- Tentativa e erro: é a decisão que é tomada com a previsão de que mudanças de planos poderão ocorrer caso determinadas condições previstas não se confirmem;
- Por etapas: são várias decisões colocadas em seqüência previamente definida, onde as conseqüências das decisões anteriores podem influenciar a decisão atual;
- Cautelosa: é a decisão que privilegia a segurança (que pode ter um sentido muito amplo) em detrimento de outros fatores;
- Condicional: é uma decisão em aberto desde o momento em que foi tomada, ou seja, admite alterações, caso surja alguma circunstância inicialmente prevista;
- Tática: é uma decisão cuja concretização se dará somente mediante as circunstâncias ideais para que ela tenha o efeito esperado.

Esta é apenas uma proposta de classificação, dentre as diversas existentes na bibliografia que trata do assunto. O importante aqui é ressaltar o caráter profissional como o assunto de tomada de decisão deve ser encarado nas companhias. Simon (*apud* Stival, 2003) afirma que “administrar é essencialmente tomar decisões”, sendo muito difícil relacionar uma atividade administrativa que não exija tomada de decisões. O processo decisório deve ser encarado como uma ferramenta de gestão, que se bem usada, pode determinar o sucesso ou fracasso de uma empresa. Logo, é racional que as companhias municiem os seus decisores de todas as ferramentas que auxiliem no processo decisório, que possam considerar todos os aspectos humanos capazes de influenciar na decisão, tais como: valores pessoais,

percepção, dinâmica interna do decisor, aspectos políticos e de poder, capacidade de administração do tempo, entre outros. Tomar decisões requer preparo, capacidade de julgamento, conhecimento do assunto sobre o qual a decisão será tomada e principalmente constante aprendizado.

Outro fator de extrema importância a ser considerado no processo decisório é a divisão de responsabilidade. Robbins e Coulter (1998) descrevem que muitas decisões nas organizações, em especial as mais importantes e com impacto no longo prazo sobre as atividades organizacionais, são tomadas por grupos ou equipes. Sob este aspecto Stival afirma:

A responsabilidade das decisões deve ser dividida e compartilhada tanto quanto a cultura da organização permita, da mesma forma como deve ser dividido e compartilhado o desempenho das atividades determinadas por aquelas decisões. Decidir é assumir integralmente a possibilidade de sucesso ou fracasso de uma situação. O sucesso ou o fracasso da organização atinge, ou deveria atingir, todos e cada um dos membros que a constituem. (Stival, 2003, p. 21)

Em processo decisório em que a responsabilidade da decisão é dividida dentro de um grupo terá inevitavelmente características diferentes das decisões individuais. Robbins e Coulter (1998) relacionam algumas vantagens das decisões em grupo sobre as individuais:

- Informação mais completa: num processo decisório, um grupo agrega uma diversidade de experiências e perspectivas que um indivíduo agindo sozinho não atingiria;
- Maior conjunto de alternativas: a informação em maior quantidade e diversidade de um grupo (por exemplo, com diferentes áreas de formação: engenharia, marketing, administração, economia, entre outras) pode identificar mais alternativas do que um indivíduo;
- Maior aceitação da solução: a experiência mostra que quando pessoas que serão afetadas por uma determinada decisão participam do processo decisório, as chances de que o projeto tenha sucesso se elevam, pois estas pessoas serão mais propensas a aceitar a escolha e a incentivar os outros a fazer o mesmo;
- Maior legitimidade: naturalmente as decisões compartilhadas por grupos podem ser percebidas como mais legítimas do que aquelas tomadas por uma só pessoa.

Por outro lado, as decisões tomadas em grupo também apresentam algumas desvantagens quando comparadas às decisões individuais. Robbins e Coulter (1998) citam estes pontos fracos das decisões compartilhadas:

- Maior dispêndio de tempo: decisões tomadas por grupos normalmente requerem um tempo maior do que uma decisão individual, a começar pela dificuldade de reunião do grupo;
- Manipulação do grupo: é possível que um ou mais membros do grupo usem de características pessoais como posição hierárquica, experiência, conhecimento do problema, influência com outros membros, habilidade de comunicação e outras características para direcionar a decisão;
- Pressões para ajuste: visando manter a aparência de consenso é possível que alguns membros do grupo reprimam visões minoritárias, impopulares ou divergentes. Trata-se de um comportamento que pode destruir o pensamento crítico no grupo e comprometer a qualidade na decisão final;
- Responsabilidade ambígua: ao contrário das decisões individuais, nas decisões tomadas por um grupo, a responsabilidade fica diluída entre membros do grupo, não ficando caracterizado quem é a pessoa responsável pela decisão.

A literatura da administração normalmente relaciona duas abordagens para o processo de tomada de decisão: o modelo clássico e o modelo administrativo.

4.1 O MODELO CLÁSSICO PARA TOMADA DE DECISÃO

Segundo Daft (*apud* Coelho, 2005) o modelo clássico para tomada de decisão se baseia na suposição econômica em um ambiente que possui as seguintes características:

- decisor atua para cumprir metas que são conhecidas e acordadas. Os problemas são precisamente formulados e definidos;
- decisor atua sempre com as condições de certeza, coletando informações completas. Todas as alternativas são conhecidas e os resultados potenciais são calculados;

- Os critérios para avaliação das alternativas são conhecidos. O tomador de decisões seleciona a alternativa que maximizará o retorno econômico para a organização;
- tomador de decisões é racional e usa a lógica para alocar valores, ordena preferências, avalia as alternativas e toma a decisão que maximizará o alcance das metas organizacionais.

Em função das características listadas acima, é praticamente inevitável associar o modelo clássico de tomada de decisão a um modelo utópico, que é frequentemente inatingível pelas pessoas em organizações reais.

4.2 O MODELO ADMINISTRATIVO PARA TOMADA DE DECISÃO

O modelo administrativo para tomada de decisão está bastante relacionado à realidade das organizações e de seus decisores, refletindo o cenário de incertezas e ambigüidade sob o qual as decisões, a maioria não programada, são tomadas.

Simon (*apud* Coelho, 2005) propõe um modelo administrativo apoiado sob dois conceitos: os conceitos da racionalidade limitada e satisfatória. Segundo o autor as pessoas têm limites ou fronteiras em sua racionalidade. Os decisores possuem tempo e habilidade de processar somente uma quantidade limitada de informações, dentro da qual tomam decisões. O autor afirma ainda, que os decisores não têm tempo ou habilidade cognitiva para levantar e processar informações completas quando devem tomar decisões complexas. Assim, as decisões objetivadas devem ser as classificadas como satisfatórias. No modelo administrativo proposto por Simon, os tomadores de decisão acabam por optar pela solução que satisfaça as necessidades mínimas dos critérios de decisão.

Em vez de considerar todas as alternativas buscando identificar uma solução única para o retorno econômico máximo, os gerentes normalmente escolhem pela primeira solução que parece resolver o problema, mesmo que possam existir soluções melhores. Quem toma decisões não pode justificar o tempo e os gastos para obter a informação completa. Assim, deixa-se de lado o maior esforço para a solução ótima e concentra-se por uma solução sub-ótima, ou seja, busca-se a decisão considerada satisfatória. (Simon, *apud* Coelho, 2005, p.32).

Assim as características do modelo administrativo proposto por Simon, que são mais realistas para decisões complexas e não programadas, podem ser relacionadas:

As metas de decisão são freqüentemente vagas, conflitantes, e não há consenso entre os gerentes. Os gerentes freqüentemente não estão a par dos problemas e oportunidades que existem na organização;
Os procedimentos racionais não são usados sempre e quando são, estão restritos a uma visão simplista do problema que não capta a complexidade real dos eventos organizacionais;
A busca dos gerentes por alternativas é limitada pelas restrições das pessoas, de informações e de recursos;
A maioria dos gerentes acomoda-se com uma solução satisfatória em vez de maximizar as soluções. Isto se deve em parte porque eles têm informação limitada e também porque têm somente um critério vago do que constitui maximizar uma solução. (Simon, *apud* Coelho, 2005, p.32).

4.3 ETAPAS DE UM PROCESSO DECISÓRIO

Diante do exposto até aqui, pode-se sintetizar o processo decisório na identificação de problemas e oportunidades e na conseqüente busca de alternativas para solucionar as questões selecionadas. A decisão correta implica na escolha da opção que, quando comparada às demais, resultará no maior atendimento dos objetivos propostos. Todavia, um processo decisório bem realizado não parte de imediato para a tomada da decisão, sendo necessário cumprir etapas. Uma proposta de divisão do processo decisório formulada por Robbins e Coulter (1998), que envolve identificação do problema, implementação da alternativa escolhida e conclusão com avaliação da decisão, é apresentada na figura 4.2.

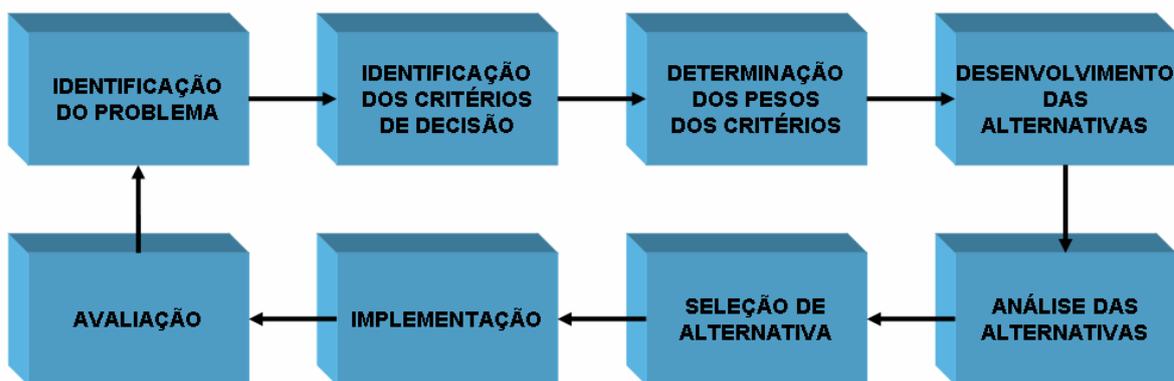


Figura 4.2 – Etapas de um processo decisório

4.3.1 Identificação do problema

A etapa de identificação do problema tem por função a descoberta do problema ou da oportunidade, identificando a situação objeto da decisão, sem confundir a questão verdadeira com os seus sintomas. Uma boa estratégia para cumprir esta etapa é observar os ambientes interno e externo à organização, em assuntos que demandam a atenção do tomador de decisões e relacionar, sem nenhuma avaliação, os fatos relacionados ao objeto da decisão. Então se pode realizar uma análise da situação identificada e dos fatos listados.

4.3.2 Identificação dos critérios de decisão

Nesta etapa o decisor deve determinar o que é relevante na tomada de decisão sobre o problema ou oportunidade que foi identificada na etapa anterior, com o intuito de proporcionar a resolução da questão em foco.

4.3.3 Determinação dos pesos dos critérios

Os critérios relacionados na etapa anterior possuem importâncias distintas, assim, podem ser atribuídos pesos aos itens propiciando as prioridades adequadas de cada item no processo decisório.

4.3.4 Desenvolvimento de Alternativas

O desenvolvimento de alternativas consiste na busca e listagem de alternativas de decisão para tratar o problema ou a oportunidade identificada na etapa de identificação do problema. Nesta etapa não é realizada nenhuma análise das alternativas, apenas uma relação das alternativas deve ser preparada.

4.3.5 Análise das Alternativas

A análise das alternativas de decisão pode ser considerada a etapa mais importante do processo decisório. O decisor deve avaliar de forma crítica as alternativas relacionadas estabelecendo pontos fracos e fortes de cada uma das opções. Kassai (*apud* Coelho, 2005) propõe alguns princípios básicos sobre as alternativas para as tomadas de decisão:

- Sempre existirá pelo menos uma alternativa para uma determinada oportunidade ou problema: a alternativa de não se fazer nada a respeito da questão identificada. Neste caso não existe decisão a ser tomada, todavia havendo pelo menos mais uma alternativa a opção de não se fazer nada ainda deve ser considerada.
- A comparação entre alternativas só pode ser feita entre alternativas homogêneas, sendo necessário ordenar as alternativas por meio de um denominador comum, a fim de torná-las comensuráveis;
- As semelhanças entre as alternativas podem ser eliminadas da avaliação e a análise pode focar apenas nas diferenças entre as alternativas;
- Se o objeto da decisão tiver implicações econômicas como desembolso de capital deverá ser considerado o valor do dinheiro no tempo;
- Não se deve incluir no processo de decisão outras decisões que não influenciem ou sejam influenciadas pelo objeto de decisão em questão, sob o risco de se complicar desnecessariamente o processo decisório;
- Deve-se avaliar o grau de incerteza presente nas variáveis consideradas e se necessário realizar ajustes nos valores a serem considerados;
- Não se deve excluir do processo decisório os aspectos qualitativos não quantificáveis monetariamente.

4.3.6 Seleção de alternativa

Nesta etapa é feita, dentre as alternativas viáveis avaliadas na etapa anterior, a seleção da que melhor propicie o atingimento do objetivo proposto. Esta alternativa deve permitir o alcance dos resultados esperados com a menor utilização de recursos sem se desvincular das metas e valores da organização.

4.3.7 Implementação

A etapa de implementação da decisão envolve monitoração e acompanhamento do plano de ação para desenvolvimento das ações associadas à decisão tomada, incluindo os atos de transmitir a decisão àqueles afetados por ela o obter o seu compromisso. Nesta etapa é aconselhável a utilização dos conceitos de Gerência de Projetos, os quais não são objetos

deste trabalho, que constituem uma ferramenta extremamente eficaz para assegurar o sucesso da solução escolhida.

4.3.8 Avaliação

Uma vez concluídas as ações associadas à decisão que foi tomada, faz-se necessário analisar os resultados obtidos e avaliar a eficiência e a eficácia da alternativa escolhida. O objetivo desta etapa é possibilitar ajustes na decisão tomada, caso ainda exista tempo hábil para tal, e criar uma base de conhecimento, que poderá ser utilizada em decisões futuras, tanto com referência aos aspectos positivos, quanto aos negativos da solução selecionada.

4.4 MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS

Qualquer modelo utilizado como apoio ao processo decisório deverá tratar um volume grande de informações que se relacionam mutuamente. Basicamente as ferramentas de apoio ao processo decisório procuram fornecer ao decisor a estruturação da decisão a ser tomada nas etapas apresentadas no item anterior deste trabalho. As decisões sobre projetos de tecnologia ocorrem geralmente em níveis estratégicos e possuem múltiplos critérios que podem ser quantitativos ou qualitativos. A seguir será apresentado um método de apoio ao processo decisório que implementa este tipo de análise.

4.4.1 O método AHP

Na busca da organização das informações necessárias a decisões mais eficazes e eficientes, no início da década de 70, começaram a surgir métodos de apoio ao processo decisório baseados nos domínios dos multicritérios, a chamada metodologia *MCDA* (*Multiple Criteria Decision Aid*). Os métodos multicritérios de apoio à decisão fornecem uma abordagem estruturada para decisões complexas, considerando critérios quantitativos e julgamentos qualitativos. Um método baseado na *MCDA* permite o gerenciamento de grandes volumes de informações, que podem ser estruturadas de maneira tal que a experiência e o conhecimento sejam tão considerados quanto os dados quantitativos. Salomon (2002) cita diversos métodos *MCDA* utilizados com sucesso em várias situações:

- *AHP (Analytic Hierarchy Process)*: proposto pelo professor Thomas L. Saaty em 1977;
- *ANP (Analytic Network Process)*: também desenvolvido por Saaty em 1996;
- *FDA (Fuzzy Decision Approach)*: baseado em conjuntos *Fuzzy* e proposto por Liang e Wang em 1992;
- *MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique)*: proposto por Bana e Costa e Vasnick em 1994;
- *TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)*: desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981.

Salomon (2002) recomenda a utilização do método *AHP* em decisões envolvendo vários critérios com uma expectativa de bons resultados, desde que três pré-requisitos sejam atendidos: disponibilidade de tempo para a tomada de decisão, existência de menos de dez alternativas e independência entre os elementos de um mesmo nível hierárquico. De acordo com Morita (*apud* Prieto, 2005), o método *AHP* se mostra indicado para responder questões como definição de prioridades, avaliação de custos e benefícios (*CBA-Cost and Benefit Analysis*), alocação de recursos, mensuração de desempenho (*benchmarking*), avaliação ou pesquisa de mercado, determinação de requisitos, decisões estratégicas (*Forward & Backward Planning*), planejamento e sequenciação de atividades, previsão de cenários (*forecasting*), negociação e resolução de conflitos, decisões e previsões políticas ou sociais, e análise de decisão sob risco.

Segundo Murakami (2003), a teoria proposta por Saaty remete ao funcionamento da mente humana, que ao se deparar com uma situação complexa envolvendo uma grande quantidade de elementos controláveis ou não, os agrega em grupos, segundo propriedades comuns, isto é, quando o ser humano identifica alguma coisa, decompõe a complexidade encontrada; quando descobre relações, sintetiza; este é o processo fundamental da percepção: decomposição e síntese.

O modelo desenvolvido por Saaty torna possível analisar um problema de tomada de decisão através da construção de níveis hierárquicos, onde o problema é decomposto em fatores e estes decompostos em um novo nível de fatores e assim por diante até um determinado nível. Trata-se de um processo flexível que permite estruturar

hierarquicamente qualquer problema complexo, com múltiplos critérios; com múltiplos decisores e com múltiplos períodos utilizando ao mesmo tempo a lógica e a intuição.

O método *AHP* foi desenvolvido por Saaty, em meados dos anos 70, dentro dos princípios da escola americana de métodos multicritérios. Segundo Palmer (*apud* Salomon, 2002) neste período o professor Thomas Saaty trabalhou como consultor do governo egípcio em um conflito militar no Oriente Médio e utilizou a Teoria dos Jogos para analisar a situação. Apesar de o governo egípcio ter seguido a orientação de seu consultor e a situação acabar por convergir para um processo de paz, Saaty não ficou satisfeito com o modo pelo qual chegou à decisão, pois considerou que aspectos importantes deixaram de ser considerados por serem intangíveis e não quantificáveis.

Saaty utilizou conceitos de álgebra linear, pesquisa operacional e psicologia no desenvolvimento do método *AHP*, culminado com um trabalho que foi publicado em periódicos de matemática e psicologia. Não demorou até que diversas outras áreas, incluindo engenharia e administração, investigassem e utilizassem o método proposto. Simultaneamente, o professor Ernest Forman, sócio de Saaty na empresa *Incorporated Expert Choice*, desenvolveu um modelo computacional baseado na metodologia proposta por Saaty denominado *Expert Choice*, que atualmente se encontra na versão 11.5 e, segundo a página da companhia na internet, é utilizado por companhias como a *IBM* e a *XEROX*, por órgãos de governos, como a Administração de Seguridade Social, o Departamento de Defesa e as Agencias Federais do governo norte-americano, por cerca de 100 universidades e por mais de 60 países diferentes. Lombardo (*apud* Salomon, 2002) identificou mais de 1500 trabalhos acadêmicos com aplicações, críticas e aperfeiçoamentos ao método *AHP*.

O *AHP* está baseado em dois princípios básicos: estruturação ou construção da hierarquia e avaliação. A fase de estruturação contempla a estruturação da hierarquia do problema a ser resolvido. Nessa fase o *AHP* permite que os decisores modelem problemas complexos em uma estrutura hierárquica que representa as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e sub-objetivos e as alternativas que envolvem a decisão. A estrutura hierárquica forma uma árvore invertida, onde a estrutura vai descendo da meta da decisão para os critérios, sub-critérios, em sucessivos níveis. Após a hierarquização do problema, se inicia a fase de avaliação com a comparação paritária, ou seja, par a par, entre

os critérios, e também sub-critérios. Por meio desta comparação, são determinadas as importâncias relativas ou pesos de cada um dos critérios e sub-critérios. Assim, O *AHP* possui a capacidade de analisar o problema de tomada de decisão através da construção de níveis hierárquicos e a comparação par-a-par dos níveis da hierarquia. (Saaty, 1991).

Na introdução deste trabalho, foi destacado que o grande desafio das operadoras de telecomunicações e de seus profissionais de planejamento é avaliar sob uma ótica única as diferentes características das diversas soluções de convergência fixo-móvel e dos diferentes serviços convergentes, estabelecendo parâmetros que propiciem a uma operadora de telecomunicações definir e planejar novos serviços convergentes. No capítulo 3 foram apresentados os conceitos contidos na Norma *ISO/IEC 9241*, apoiada na *ISO/IEC 14598*. Conforme a revisão bibliográfica apresentada no presente capítulo deste trabalho, entendemos que o método *AHP* reúne condições satisfatórias para integrar estes dois assuntos, conforme a proposta desta dissertação. Assim os conceitos básicos do referido método são apresentados na seqüência, enquanto que a metodologia do mesmo consta do apêndice A. Assim, o *AHP* estrutura a solução de problema em cinco etapas: características do problema, estruturação do sistema de apoio proposto, avaliação do sistema de apoio proposto, aplicação do sistema de apoio proposto e análise de desempenho dos projetos.

4.4.1.1 Características do problema

Esta etapa envolve assegurar que o problema possui características para ser resolvido através do método *AHP*, ou seja, verificar se os três pré-requisitos descritos anteriormente (disponibilidade de tempo para a tomada de decisão, existência de menos de dez alternativas e independência entre os elementos de um mesmo nível hierárquico) são atendidos pelo problema em questão.

4.4.1.2 Estruturação do sistema de apoio proposto

Todos os aspectos envolvidos no processo decisório, tais como custos, características tecnológicas, metas e objetivos estratégicos da companhia e outros, devem ser estudados nesta fase. O objetivo é construir uma hierarquia semelhante à apresentada na figura 4.3. Nesta estrutura o objetivo principal é definido no primeiro nível da hierarquia, os critérios

eleitos ocupam o segundo nível são definidos e no terceiro nível são colocadas as alternativas que serão analisadas. A metodologia permite ainda a construção de níveis intermediários de sub-critérios subordinados aos critérios definidos no segundo nível.

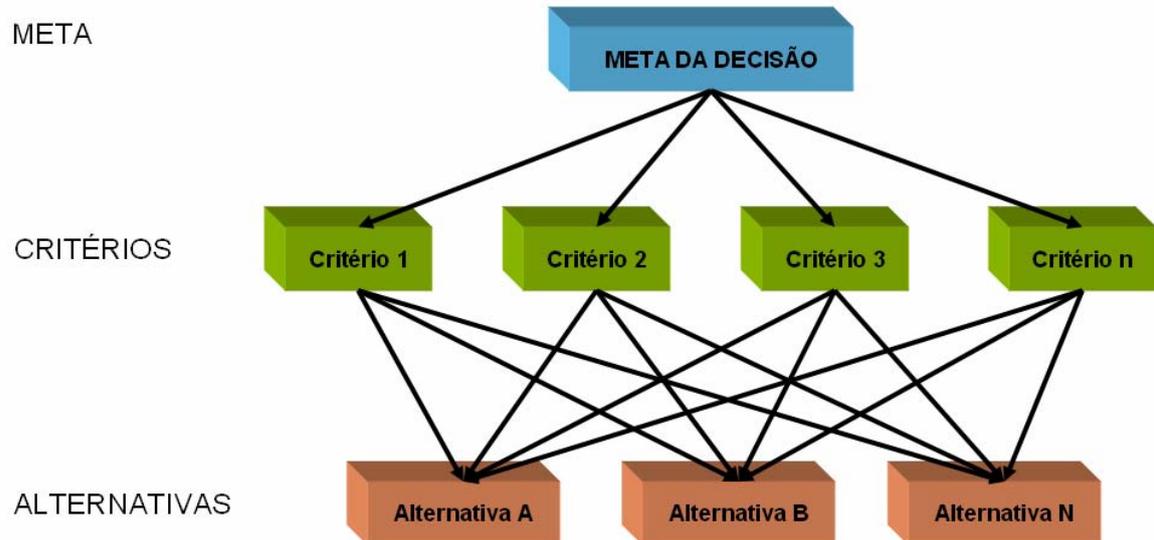


Figura 4.3 – A hierarquia do método *AHP*
Fonte: Adaptado de Gartner (2003)

4.4.1.3 Avaliação da estrutura hierárquica

Os elementos constantes na hierarquia montada na etapa anterior devem ser comparados paritariamente em relação a um objetivo do nível superior da hierarquia. Exemplificando: dado um critério e duas alternativas A e B, é analisado qual alternativa que mais satisfaz, e quanto mais em relação ao critério considerado. Por meio desta comparação as importâncias relativas ou pesos de cada um dos critérios e sub-critérios. Para tal julgamento, é utilizada uma escala de referência de 1 a 9, denominada escala de Saaty, que é apresentada na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Escala de Saaty

1	Igualmente preferível
2	Igualmente para moderadamente preferível
3	Moderadamente preferível
4	Moderadamente para fortemente preferível
5	Fortemente preferível
6	Fortemente para muito fortemente preferível
7	Muito fortemente preferível
8	Muito fortemente para extremamente preferível
9	Extremamente preferível

Fonte: adaptado de Saaty (1991)

Os números obtidos com os julgamentos, através da comparação paritária são colocados numa matriz A quadrada $n \times n$, onde n é o número de critérios ou sub-critérios envolvidos no processo:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (4.1)$$

Os elementos da matriz de julgamentos A devem satisfazer às seguintes condições:

a) $a_{ij} = \alpha$;

b) $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$;

c) $a_{ii} = 1$;

onde:

a = comparação paritária entre os critérios;

α = valor de intensidade de importância.

A resolução da matriz A resulta no autovetor de prioridades w , o qual expressa as importâncias relativas (pesos) de cada um dos critérios ou sub-critérios. A forma mais recomendada de cálculo é elevar a matriz a potências arbitrariamente altas, dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, ou seja, normalizando-se os resultados (Saaty, 1991). Isso resulta no autovetor de prioridades para ordenação. Essa operação deve ser repetida até que a diferença entre o resultado normalizado da última operação seja bem próxima ao resultado da operação precedente (exemplo: diferenças pequenas após a terceira casa decimal). Para facilitar o processamento destes cálculos está disponível o *software Expert Choice*, detalhado no apêndice B.

Em posse das importâncias relativas dos critérios é testada a integridade dos julgamentos, que é calculada por um índice de inconsistência. O objetivo principal do índice de inconsistência é identificar desvios nos julgamentos que violem o princípio da transitividade; isto é, se A é mais preferível que B , e B é mais preferível que C , consequentemente, A é mais preferível que C .

O cálculo do índice de inconsistência inicia com a multiplicação da matriz de julgamentos A pelo autovetor de prioridades w . O resultado será uma matriz que, depois de normalizada, gerará um autovetor. O somatório desse autovetor (coluna) é o autovalor λ . A partir do autovalor λ é calculado o índice de consistência IC , que mede os desvios dos julgamentos, através da equação:

$$IC = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (4.2)$$

onde n é o número de critérios ou sub-critérios da matriz.

O cálculo final do grau de inconsistência RC da matriz é dado por:

$$RC = \frac{IC}{IR}, \quad (4.3)$$

onde IR é um índice randômico médio de inconsistência, calculado a partir de uma amostra de 500 matrizes. Na tabela 4.2 são apresentados os IR correspondentes a matrizes de 2 a 10 critérios ou sub-critérios.

Tabela 4.2 – Índices randômicos médios de inconsistência

Número de critérios ou sub-critérios = tamanho da matriz (n)	Índice randômico médio (IR)
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Fonte: Lane & Verdini (*apud* Gartner, 2003)

Caso o grau de inconsistência seja maior que 0,10 (10%), o decisor ou grupo de decisores é encorajado a rever seus julgamentos, buscando torná-los consistentes (Saaty, 1991). Essa consistência é atingida com um grau menor ou igual a 0,10.

4.4.1.4 Aplicação do sistema de apoio proposto

Após a determinação da importância relativa dos critérios e sub-critérios, pode-se aplicar o sistema de apoio proposto a casos práticos de análise, que é feita em duas etapas: determinação do nível de preferência das alternativas e classificação das alternativas.

A determinação do nível de preferência das alternativas é realizada através da construção de matrizes, que formulam as comparações paritárias das alternativas em cada um dos sub-critérios. Isto determina o desempenho das alternativas em cada um dos sub-critérios. O número de matrizes elaboradas é igual à quantidade de critérios e sub-critérios existentes no projeto.

A classificação das alternativas é implementada através da soma ponderada dos valores das importâncias relativas dos critérios e sub-critérios e dos níveis de preferência das alternativas, conforme a seguinte equação:

$$V(p) = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n w_j (w_{kj} v_{kj}(p)), \quad (4.4)$$

onde:

$V(p)$ é a classificação da alternativa analisada;

$w_j (j = 1, \dots, n)$ é a importância relativa do critério j ;

$w_{kj} (k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ é a importância relativa do sub-critério k do critério j ;

$v_{kj} (k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ é o desempenho ou nível de preferência da alternativa analisada no sub-critério k do critério j ;

com:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \text{ e } 0 < w_j < 1 \quad (j = 1, \dots, n);$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m w_{kj} = 1 \text{ e } 0 < w_{kj} < 1 \quad (k = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n).$$

Uma exemplificação da aplicação da metodologia *AHP* passo a passo é apresentada no apêndice C. O exemplo mostrado neste apêndice permite compreender como é realizada a classificação das alternativas, através da equação 4.4. O resultado desta etapa pode ser expresso através de um gráfico, como por exemplo, o apresentado na figura 4.4, onde se observa que, neste exemplo ilustrativo, a alternativa C é preferível em relação às demais, após a classificação ponderada realizada pela equação 4.4 e a alternativa A é alternativa com pior desempenho neste processo de avaliação.

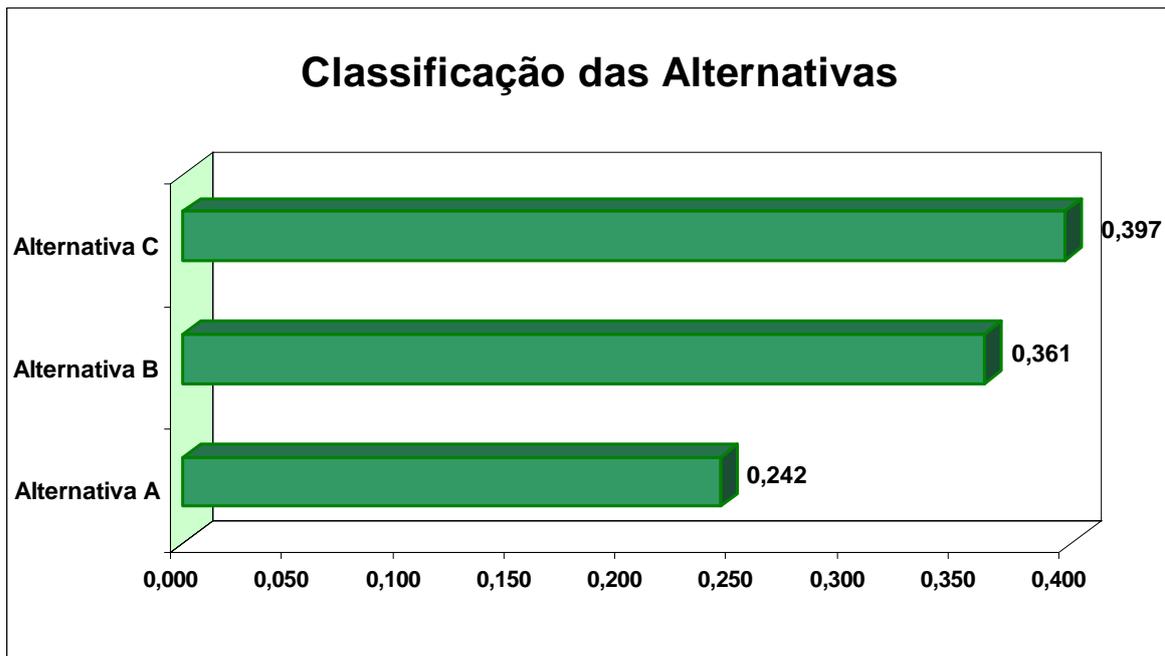


Figura 4.4 – Exemplo de uma classificação de alternativas

4.4.1.5 Análise do desempenho das alternativas

Conforme detalhado no apêndice C, a etapa de análise do desempenho das alternativas em cada um dos sub-critérios é feita a partir de um gráfico como o exemplo ilustrativo mostrado na figura 4.5.

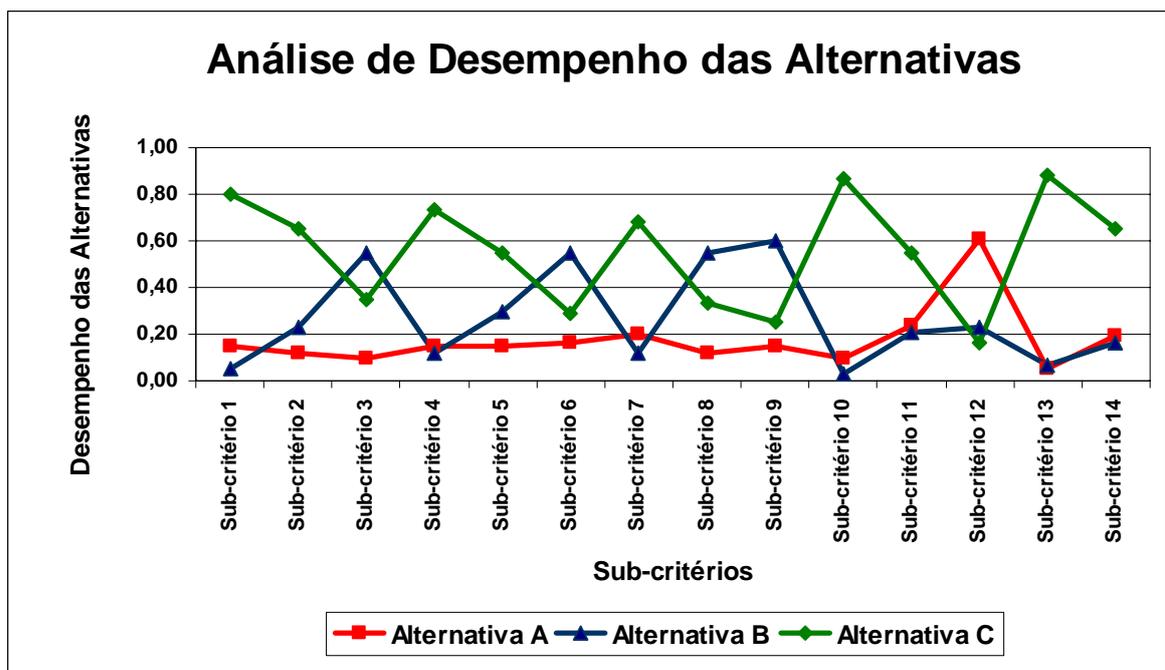


Figura 4.5 – Exemplo de análise de desempenho das alternativas

Neste exemplo pode-se verificar que a alternativa C domina as demais alternativas nos sub-critérios 1, 2, 4, 5, 7, 10, 11, 13 e 14. A alternativa B apresenta melhor desempenho que as demais nos sub-critérios 3, 6, 8 e 9. Somente no sub-critério 12 é que a alternativa A domina as demais.

A análise da figura 4.5 deve ser qualitativa e complementar à análise da figura 4.4, pois o desempenho superior em mais sub-critérios não indica que a alternativa deva ser escolhida, pois os sub-critérios possuem diferentes pesos. O método de apoio ao processo decisório aplicado fornece a estruturação do problema, classificação e desempenho das alternativas, cabendo agora ao decisor tomar a decisão, auxiliado pelo ferramental disponibilizado pela aplicação do método.

5 UMA FERRAMENTA DE APOIO AO PROCESSO DECISÓRIO E APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Será apresentada neste capítulo uma proposta de ferramenta de apoio ao processo decisório de projetos de tecnologia, que poderá auxiliar o gestor na tomada de decisão em projetos de tecnologia. Concomitantemente será realizada uma análise qualitativa de alternativas de convergência fixo-móvel utilizando o método proposto.

A metodologia proposta está baseada em um processo de avaliação com condução baseada na norma *ISO/IEC 14598*, com o modelo de qualidade definido na norma *ISO/IEC 9126*, integrados na teoria *AHP* de apoio ao processo decisório, através do *software Expert Choice*. É importante ressaltar que outros critérios de avaliação podem ser adicionados aos critérios de qualidade do produto tecnológico que compõem a norma *ISO/IEC 9126*, assim como algumas características ou subcaracterísticas da referida norma podem ser suprimidas da avaliação, caso os avaliadores julguem que estes critérios não sejam relevantes ou aplicáveis no processo de avaliação. Objetivando simplificar esta exemplificação da metodologia proposta, considerar-se-á, neste exemplo, exatamente a mesma estrutura da norma *ISO/IEC 9126*, sem adicionar ou excluir critérios ao modelo existente, que é um modelo com critérios bastante razoáveis e aplicáveis para esta avaliação.

5.1 O PROCESSO DE AVALIAÇÃO

O processo de avaliação proposto segue o modelo apresentado por Koscianski (1999) apresentado na figura 3.1 neste trabalho.

O cumprimento das etapas do processo de avaliação será direcionado pelo preenchimento da tabela 5.1. Esta tabela apresenta apenas o resumo dos passos a serem seguidos e dos resultados de cada atividade, as quais devem ser executadas seguindo as premissas apresentadas no item 3.1 deste trabalho.

Tabela 5.1 – Acompanhamento do processo de avaliação

ITEM	RESPOSTA
Propósito da avaliação	Comparar as três soluções existentes e disponíveis de convergência fixo-móvel.
Tipos de produtos avaliados	Produtos finais.
Modelo de qualidade	<i>ISO/IEC 9126.</i>
Métricas	As qualidades internas e externas da <i>ISO/IEC 9126.</i>
Níveis de pontuação para as métricas	Variação de preferência em uma escala de 1 a 9 conforme metodologia <i>AHP.</i>
Critérios de julgamento	Julgamentos ponderados de diversos profissionais com experiências profissionais distintas através do questionário para definição das características e subcaracterísticas.
Plano de avaliação	Plano de ação e cronograma para execução da avaliação.
Tomada de medidas	Aplicação dos questionários para definição das características e subcaracterísticas e comparação entre as soluções de convergência fixo-móvel disponíveis conforme o plano de avaliação.
Comparação com critérios	Utilização do grau de inconsistência <i>RC</i> da metodologia <i>AHP</i> para validação e ajustes das medidas tomadas.
Julgamento dos resultados	Avaliação final dos resultados obtidos e escolha da melhor alternativa de solução para convergência fixo-móvel sob a óptica da norma <i>ISO/IEC 9126.</i>

5.2 A APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Uma vez definido como se dará o processo de avaliação, pode-se partir para integração do modelo de qualidade escolhido, definido na norma *ISO/IEC 9126*, com a metodologia *AHP* conforme as etapas a seguir.

5.2.1 Características do problema

Inicialmente define-se o problema a ser resolvido. Neste caso pode-se enunciar o problema como: “avaliar sob uma ótica única as diferentes características de três soluções de convergência fixo-móvel”. As soluções a serem avaliadas são: *GSM – CTP (Global System for Mobile – Cordless Telephony Profile)*, *UMA – GAN (Unlicensed Mobile Access – Generic Access Network)* e *Wi-Fi – SIP (Wireless-Fidelity – Session Initiation Protocol)*.

Constata-se que este problema cumpre os pré-requisitos para ser resolvido através do método *AHP*, pois existe disponibilidade de tempo para a tomada de decisão, o número de alternativas é menor que dez e existe independência entre os elementos de um mesmo nível hierárquico.

5.2.2 Estruturação do sistema de apoio proposto

A proposta deste trabalho é utilizar as características internas e externas definidas na norma *ISO/IEC 9126* para realizar a comparação entre as soluções de convergência. Cabe ressaltar novamente que, as características de qualidade interna e externa constantes desta norma, não representam os únicos critérios de qualidade do produto tecnológico passíveis de avaliação. Outros critérios de avaliação podem ser propostos pelo próprio grupo avaliador e algumas características ou subcaracterísticas da referida norma podem ser suprimidas da avaliação, caso os avaliadores julguem que estes critérios não sejam relevantes ou aplicáveis no processo de avaliação. Por uma questão de simplificação e por considerar as características e sub-características da norma *ISO/IEC 9126*, como critérios razoáveis para a condução desta avaliação, o sistema de apoio ao processo decisório foi montado considerando todas as subcaracterísticas da norma *ISO/IEC 9126* sem excluir nenhuma subcaracterística ou acrescentar novos critérios na estrutura. Para tanto a

hierarquia apresentada no capítulo 3 (figura 3.4) foi replicada no *software Expert Choice*. Os conceitos de cada critério e sub-critério já foram apresentados.

5.2.3 Avaliação da estrutura hierárquica

A comparação paritária dos elementos constantes na hierarquia da figura 3.4 ocorre através do julgamento ponderado de diferentes profissionais com diferentes experiências no setor de telecomunicações que responderam ao questionário constante do apêndice D. Os julgadores foram escolhidos de maneira a trazer para o processo de avaliação uma heterogeneidade de pontos de vista. Para tanto, foi formado um grupo de 07 avaliadores com as características apresentadas na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Grupo de avaliadores

Avaliador	Formação	Experiência Profissional	Área de atuação atual	Áreas em já atuou
1	Engenharia Elétrica com Especialização	09 Anos	Projeto e Implantação	Regulação
2	Engenharia Elétrica com Mestrado	12 Anos	Planejamento	Projeto e Implantação e O&M
3	Engenharia Elétrica com Especialização	13 Anos	Tecnologia e Arquitetura	Projeto e Implantação
4	Engenharia Eletrônica	17 Anos	Comercial	Planejamento, Projeto e Implantação, O&M
5	Engenharia Elétrica com Mestrado	20 Anos	Planejamento	-
6	Engenharia Elétrica	13 Anos	O&M	Projeto e Implantação
7	Engenharia Elétrica com Mestrado	21 Anos	Tecnologia e Arquitetura	Planejamento, Marketing e Projeto e Implantação

Para cada critério julgado por estes avaliadores foi realizada a média dos sete julgamentos. Em seguida, de modo a simplificar a análise, este valor médio foi arredondado para o número inteiro mais próximo, definindo a comparação paritária entre os critérios analisados. Então este resultado foi introduzido, através de digitação, no *software Expert Choice*. A matriz de comparação paritária entre os critérios construída neste processo é apresentada na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Matriz de comparação paritária entre os critérios

	Funcionalidade	Confiabilidade	Usabilidade	Eficiência	Manutenibilidade	Portabilidade
Funcionalidade	1	1	1	1	1	3
Confiabilidade	1	1	3	3	2	3
Usabilidade	1	1/3	1	1	1	2
Eficiência	1	1/3	1	1	1	2
Manutenibilidade	1	1/2	1	1	1	3
Portabilidade	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Conforme demonstrado no apêndice A, o cálculo do autovetor da matriz mostrada na tabela 5.3, fornece o peso relativo de cada critério analisado. Uma visualização gráfica deste autovetor, ou seja, dos pesos relativos ou grau de importância de cada critério é na figura 5.1.

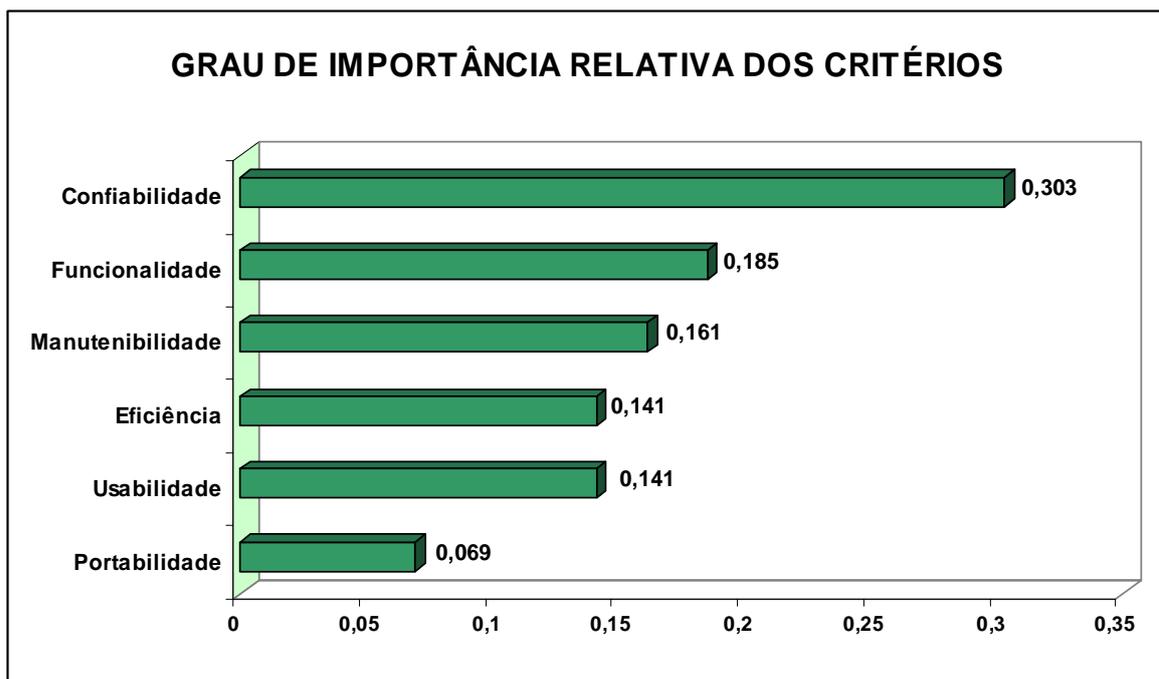


Figura 5.1 – Índices de importância relativa dos critérios

Assim como para os critérios, as respostas dos avaliadores para os sub-critérios foram ponderadas, através do cálculo do valor médio das respostas e o arredondamento para o valor inteiro mais próximo, e em seguida, introduzido, através de digitação, no software *Expert Choice*. Para cada critério é produzida uma matriz de comparação paritária entre os seus sub-critérios. O cálculo do autovetor de cada uma destas matrizes produz a

importância relativa de cada sub-critério considerado nesta avaliação. As matrizes de comparação paritária entre os sub-critérios dos seis critérios de qualidade da norma *ISO/IEC* 9126 e as suas respectivas importâncias ou pesos são visualizadas nas tabelas 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 apresentadas a seguir.

Tabela 5.4 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Funcionalidade

CRITÉRIO FUNCIONALIDADE						
	Adequação	Acurácia	Interoperabilidade	Segurança de acesso	Conformidade relativa à Funcionalidade	Importância
Adequação	1	2	2	1	1	0,264
Acurácia	1/2	1	1	1	1	0,168
Interoperabilidade	1/2	1	1	1	2	0,201
Segurança de acesso	1	1	1	1	1	0,193
Conformidade relativa à Funcionalidade	1	1	1/2	1	1	0,174

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,04

Tabela 5.5 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Confiabilidade

CRITÉRIO CONFIABILIDADE					
	Maturidade	Tolerância à falhas	Recuperabilidade	Conformidade relativa à Confiabilidade	Importância
Maturidade	1	2	2	3	0,426
Tolerância à falhas	1/2	1	1	2	0,231
Recuperabilidade	1/2	1	1	1	0,195
Conformidade relativa à Confiabilidade	1/3	1/2	1	1	0,148

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Tabela 5.6 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Usabilidade

CRITÉRIO USABILIDADE						
	Inteligibilidade	Aprendibilidade	Operacionalidade	Atratividade	Conformidade relativa à Usabilidade	Importância
Inteligibilidade	1	2	1	-2	3	0,231
Aprendibilidade	1/2	1	1	1	3	0,200
Operacionalidade	1	1	1	-2	2	0,178
Atratividade	- 1/2	1	- 1/2	1	4	0,316
Conformidade relativa à Usabilidade	1/3	1/3	1/2	1/4	1	0,075

Grau de Inconsistência da matriz (RC) =0,04

Tabela 5.7 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Eficiência

CRITÉRIO EFICIÊNCIA				
	Comportamento em relação ao Tempo	Comportamento em relação aos Recursos	Conformidade relativa à Eficiência	Importância
Comportamento em relação ao Tempo	1	2	3	0,528
Comportamento em relação aos Recursos	1/2	1	3	0,333
Conformidade relativa à Eficiência	1/3	1/3	1	0,140

Grau de Inconsistência da matriz (RC) =0,05

Tabela 5.8 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Manutenibilidade

CRITÉRIO MANUTENIBILIDADE						
	Analisabilidade	Modificabilidade	Estabilidade	Testabilidade	Conformidade relativa à Manutenibilidade	Importância
Analisabilidade	1	1	1	2	2	0,242
Modificabilidade	1	1	-2	2	1	0,183
Estabilidade	1	- 1/2	1	4	3	0,344
Testabilidade	1/2	1/2	1/4	1	1	0,104
Conformidade relativa à Manutenibilidade	1/2	1	1/3	1	1	0,127

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Tabela 5.9 – Matriz de comparação paritária e importância relativa dos sub-critérios do critério Portabilidade

CRITÉRIO PORTABILIDADE						
	Adaptabilidade	Capacidade de Instalação	Coexistência	Capacidade de Substituição	Conformidade relativa à Portabilidade	Importância
Adaptabilidade	1	1	2	3	2	0,308
Capacidade de Instalação	1	1	1	2	1	0,215
Coexistência	1/2	1	1	3	1	0,206
Capacidade de Substituição	1/3	1/2	1/3	1	1	0,107
Conformidade relativa à Portabilidade	1/2	1	1	1	1	0,164

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,03

Uma visualização diferente da importância relativa dos sub-critérios é apresentada na Tabela 5.10, onde todos os sub-critérios estão classificados em ordem decrescente segundo a sua importância absoluta nesta avaliação.

Tabela 5.10 – Classificação dos sub-critérios segundo a importância absoluta

CRITÉRIO	SUB-CRITÉRIO	IMPORTÂNCIA RELATIVA DO CRITÉRIO	IMPORTÂNCIA RELATIVA DO SUB-CRITÉRIO	IMPORTÂNCIA ABSOLUTA DO SUB-CRITÉRIO
Confiabilidade	Maturidade	0,303	0,426	0,129078
Eficiência	Comportamento em relação ao Tempo	0,141	0,528	0,074448
Confiabilidade	Tolerância à falhas	0,303	0,231	0,069993
Confiabilidade	Recuperabilidade	0,303	0,195	0,059085
Manutenibilidade	Estabilidade	0,161	0,344	0,055384
Funcionalidade	Adequação	0,185	0,264	0,048840
Eficiência	Comportamento em relação aos Recursos	0,141	0,333	0,046953
Confiabilidade	Conformidade relativa à Confiabilidade	0,303	0,148	0,044844
Usabilidade	Atratividade	0,141	0,316	0,044556
Manutenibilidade	Analisabilidade	0,161	0,242	0,038962
Funcionalidade	Interoperabilidade	0,185	0,201	0,037185
Funcionalidade	Segurança de acesso	0,185	0,193	0,035705
Usabilidade	Inteligibilidade	0,141	0,231	0,032571
Funcionalidade	Conformidade relativa à Funcionalidade	0,185	0,174	0,032190
Funcionalidade	Acurácia	0,185	0,168	0,031080
Manutenibilidade	Modificabilidade	0,161	0,183	0,029463
Usabilidade	Aprendibilidade	0,141	0,200	0,028200
Usabilidade	Operacionalidade	0,141	0,178	0,025098
Portabilidade	Adaptabilidade	0,069	0,308	0,021252
Manutenibilidade	Conformidade relativa à Manutenibilidade	0,161	0,127	0,020447
Eficiência	Conformidade relativa à Eficiência	0,141	0,140	0,019740
Manutenibilidade	Testabilidade	0,161	0,104	0,016744
Portabilidade	Capacidade de Instalação	0,069	0,215	0,014835
Portabilidade	Coexistência	0,069	0,206	0,014214
Portabilidade	Conformidade relativa à Portabilidade	0,069	0,164	0,011316
Usabilidade	Conformidade relativa à Usabilidade	0,141	0,075	0,010575
Portabilidade	Capacidade de Substituição	0,069	0,107	0,007383
Total				1,000000

Verifica-se que o sub-critério Maturidade é a sub-característica com maior peso nesta avaliação, enquanto o sub-critério Capacidade de Substituição possui uma influência muito pequena neste processo de classificação de alternativas para a convergência Fixo-Móvel. A tabela 5.10 pode ser utilizada para definição de como as alternativas serão avaliadas. Os sub-critérios com baixa importância influenciam muito pouco no resultado final. Caso se torne difícil realizar a análise das alternativas sob a ótica destes sub-critérios, é razoável desconsiderar os mesmos. Nesta avaliação, não será executada este tipo de simplificação, mantendo-se a estrutura completa da norma *ISO/IEC 9126*.

5.2.4 Aplicação do sistema de apoio proposto

Concluída a etapa anterior, pode-se iniciar a determinação do nível de preferência das alternativas e classificação das alternativas.

Por se entender que, para a determinação do nível de preferência das alternativas, faz-se necessário um conhecimento das três soluções de convergência fixo-móvel, esta etapa foi desenvolvida a partir da avaliação individual deste autor, cujas características profissionais encontram-se resumidas na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Avaliador do nível de preferência das alternativas

Avaliador	Formação	Experiência Profissional	Área de atuação atual	Áreas em já atuou
1	Engenharia Elétrica com Especialização	10 Anos	Planejamento	Comercial, Interconexão e O&M

Assim foram construídas as matrizes de comparações paritárias das alternativas em cada um dos sub-critérios. Como a estrutura hierárquica agrega vinte e sete sub-critérios, o resultado desta etapa são 27 matrizes de comparação paritária das alternativas sob a ótica de cada sub-critério, cujo cálculo do autovetor fornece a importância ou o desempenho relativo das alternativas para cada sub-critério. A comparação paritária realizada pelo julgador referenciado na tabela 5.11 e o desempenho relativo de cada alternativa em cada sub-critérios são apresentadas nas tabelas 5.12 a 5.38.

Tabela 5.12 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Adequação

FUNCIONALIDADE - Adequação				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	-2	-2	0,196
UMA - GAN	- 1/2	1	-2	0,311
Wi-Fi - SIP	- 1/2	- 1/2	1	0,493

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,05

Tabela 5.13 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Acurácia

FUNCIONALIDADE - Acurácia				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	1	1	0,333
UMA - GAN	1	1	1	0,333
Wi-Fi - SIP	1	1	1	0,333

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.14 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Interoperabilidade

FUNCIONALIDADE - Interoperabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	3	5	0,627
UMA - GAN	1/3	1	4	0,280
Wi-Fi - SIP	1/5	1/4	1	0,093

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,08

Tabela 5.15 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Segurança de Acesso

FUNCIONALIDADE - Segurança de acesso				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	3	2	0,54
UMA - GAN	1/3	1	-2	0,163
Wi-Fi - SIP	1/2	- 1/2	1	0,297

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,01

Tabela 5.16 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Funcionalidade

FUNCIONALIDADE - Conformidade relativa à Funcionalidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	3	3	0,600
UMA - GAN	1/3	1	1	0,200
Wi-Fi - SIP	1/3	1	1	0,200

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.17 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Maturidade

CONFIABILIDADE - Maturidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	5	6	0,726
UMA - GAN	1/5	1	2	0,172
Wi-Fi - SIP	1/6	1/2	1	0,102

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,03

Tabela 5.18 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Tolerância a Falhas

CONFIABILIDADE - Tolerância à falhas				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,493
UMA - GAN	1/2	1	2	0,311
Wi-Fi - SIP	1/2	1/2	1	0,196

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,05

Tabela 5.19 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Recuperabilidade

CONFIABILIDADE - Recuperabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	3	4	0,625
UMA - GAN	1/3	1	2	0,238
Wi-Fi - SIP	1/4	1/2	1	0,137

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Tabela 5.20 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Confiabilidade

CONFIABILIDADE - Conformidade relativa à Confiabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,500
UMA - GAN	1/2	1	1	0,250
Wi-Fi - SIP	1/2	1	1	0,250

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.21 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Inteligibilidade

USABILIDADE - Inteligibilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	-2	-3	0,163
UMA - GAN	- 1/2	1	-2	0,297
Wi-Fi - SIP	- 1/3	-0,5	1	0,540

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,01

Tabela 5.22 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Aprendibilidade

USABILIDADE - Aprendibilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	-3	-2	0,163
UMA - GAN	- 1/3	1	2	0,540
Wi-Fi - SIP	- 1/2	1/2	1	0,297

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,01

Tabela 5.23 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Operacionalidade

USABILIDADE - Operacionalidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	-2	-4	0,136
UMA - GAN	- 1/2	1	-3	0,238
Wi-Fi - SIP	- 1/4	- 1/3	1	0,626

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Tabela 5.24 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Atratividade

USABILIDADE - Atratividade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	5	2	0,570
UMA - GAN	1/5	1	-4	0,097
Wi-Fi - SIP	1/2	- 1/4	1	0,333

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Tabela 5.25 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Usabilidade

USABILIDADE - Conformidade relativa à Usabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	1	1	0,333
UMA - GAN	1	1	1	0,333
Wi-Fi - SIP	1	1	1	0,333

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.26 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Comportamento em relação ao Tempo

EFICIÊNCIA - Comportamento em relação ao Tempo				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,500
UMA - GAN	1/2	1	1	0,250
Wi-Fi - SIP	1/2	1	1	0,250

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.27 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Comportamento em relação aos Recursos

EFICIÊNCIA - Comportamento em relação aos Recursos				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	-2	-3	0,163
UMA - GAN	- 1/2	1	-2	0,297
Wi-Fi - SIP	- 1/3	- 1/2	1	0,540

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,01

Tabela 5.28 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Eficiência

EFICIÊNCIA - Conformidade relativa à Eficiência				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,500
UMA - GAN	1/2	1	1	0,250
Wi-Fi - SIP	1/2	1	1	0,250

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.29 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Analisabilidade

MANUTENIBILIDADE - Analisabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	3	5	0,648
UMA - GAN	1/3	1	2	0,230
Wi-Fi - SIP	1/5	1/2	1	0,122

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.30 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Modificabilidade

MANUTENIBILIDADE - Modificabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	1	2	0,400
UMA - GAN	1	1	2	0,400
Wi-Fi - SIP	1/2	1/2	1	0,200

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.31 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Estabilidade

MANUTENIBILIDADE - Estabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	3	3	0,600
UMA - GAN	1/3	1	1	0,200
Wi-Fi - SIP	1/3	1	1	0,200

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.32 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Testabilidade

MANUTENIBILIDADE - Testabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,493
UMA - GAN	1/2	1	-2	0,196
Wi-Fi - SIP	1/2	- 1/2	1	0,311

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,05

Tabela 5.33 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Manutenibilidade

MANUTENIBILIDADE - Conformidade relativa à Manutenibilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,5
UMA - GAN	1/2	1	1	0,25
Wi-Fi - SIP	1/2	1	1	0,25

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.34 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Adaptabilidade

PORTABILIDADE - Adaptabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	-3	-7	0,093
UMA - GAN	- 1/3	1	-2	0,292
Wi-Fi - SIP	- 1/7	- 1/2	1	0,615

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.35 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Capacidade de Instalação

PORTABILIDADE - Capacidade de Instalação				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,5
UMA - GAN	1/2	1	1	0,25
Wi-Fi - SIP	1/2	1	1	0,25

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Tabela 5.36 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Coexistência

PORTABILIDADE - Coexistência				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	1	-3	0,210
UMA - GAN	1	1	-2	0,240
Wi-Fi - SIP	- 1/3	- 1/2	1	0,550

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Tabela 5.37 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Capacidade de Substituição

PORTABILIDADE - Capacidade de Substituição				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	-3	-4	0,122
UMA - GAN	- 1/3	1	-2	0,320
Wi-Fi - SIP	- 1/4	- 1/2	1	0,558

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,02

Tabela 5.38 – Matriz de comparação paritária e de importância relativa das alternativas para o sub-critério Conformidade relativa à Portabilidade

PORTABILIDADE - Conformidade relativa à Portabilidade				
	GSM - CTP	UMA - GAN	Wi-Fi - SIP	Importância
GSM - CTP	1	2	2	0,500
UMA - GAN	0,5	1	1	0,250
Wi-Fi - SIP	1/2	1	1	0,250

Grau de Inconsistência da matriz (RC) = 0,00

Em seguida o *software Expert Choice* fornece a classificação das alternativas, que é implementada conforme a equação 4.4. A classificação das alternativas produz o resultado apresentado graficamente nas figura 5.2.

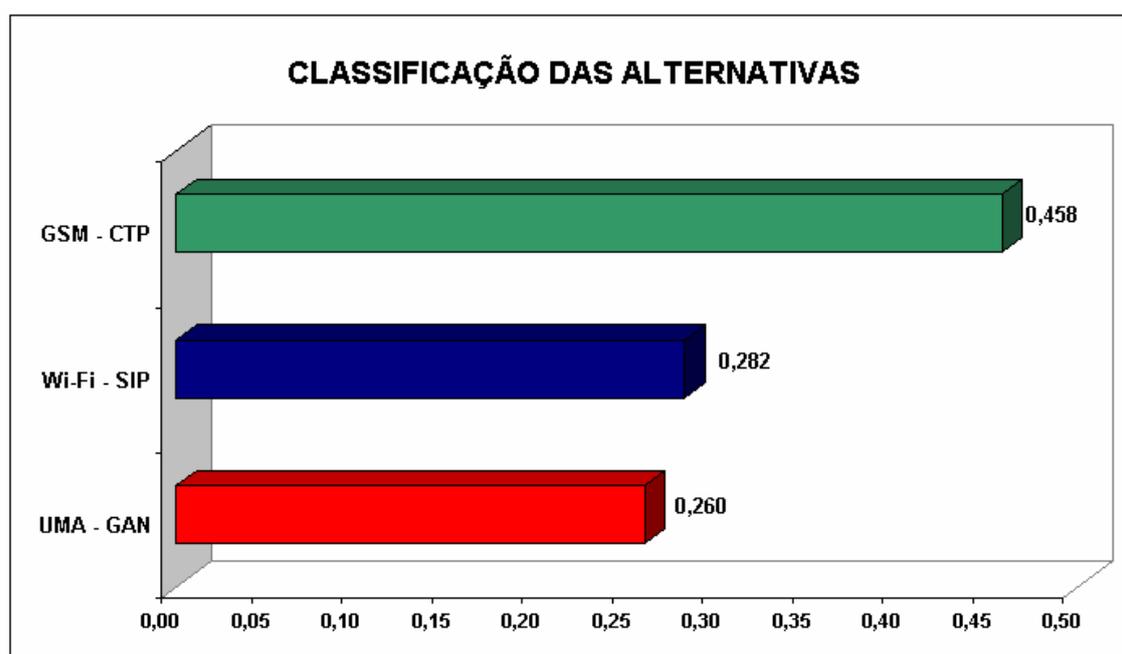


Figura 5.2 – Classificação das alternativas

Observa-se que, nesta avaliação, a alternativa *GSM – CTP* possui desempenho superior às outras duas alternativas analisadas. Por outro lado, a alternativa *UMA – GAN* é a alternativa com o pior desempenho neste processo de avaliação. Uma análise mais qualitativa deste resultado será realizada na próxima etapa da metodologia *AHP*.

5.2.5 Análise do desempenho das alternativas

Através das informações disponibilizadas pelo *software Expert Choice*, que são o resultado da aplicação da metodologia *AHP* detalhada no apêndice A e exemplificada no apêndice C, é possível elaborar o gráfico da figura 5.3, que possibilita a análise do desempenho das alternativas em cada um dos sub-critérios.

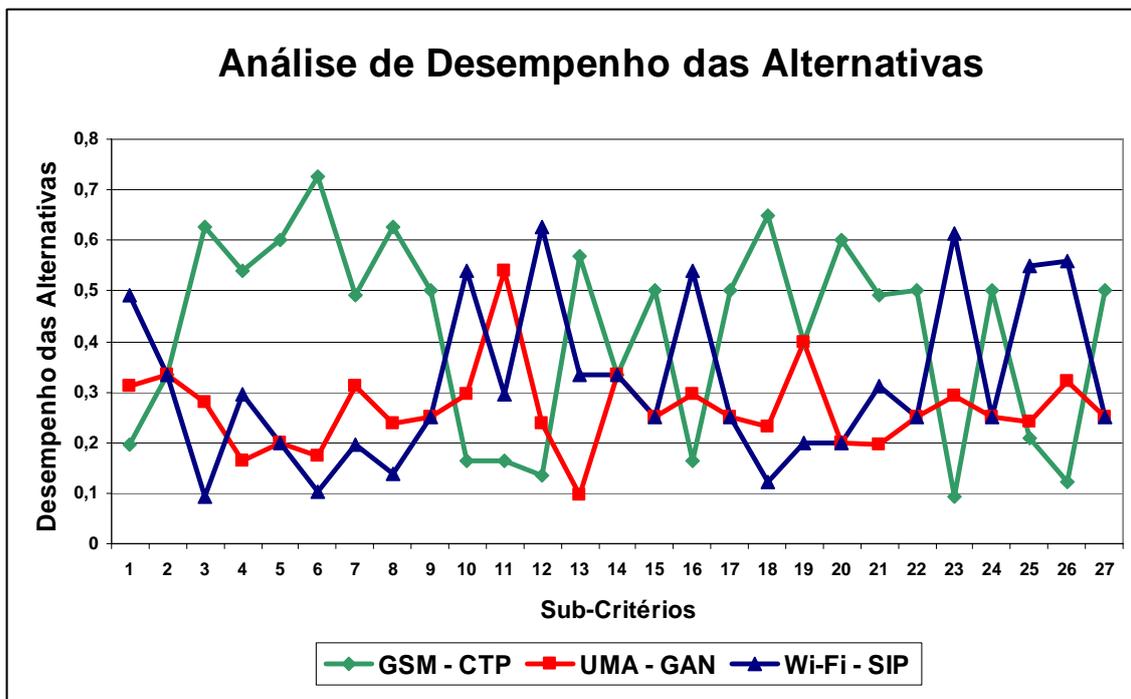


Figura 5.3 – Análise de desempenho das alternativas conforme os sub-critérios

A legenda da figura 5.3 é apresentada na tabela 5.39.

Tabela 5.39 – Legenda dos sub-critérios da figura 5.5

Nº	Sub-Critério
1	FUNCIONALIDADE - Adequação
2	FUNCIONALIDADE - Acurácia
3	FUNCIONALIDADE - Interoperabilidade
4	FUNCIONALIDADE - Segurança de acesso
5	FUNCIONALIDADE - Conformidade relativa à Funcionalidade
6	CONFIABILIDADE - Maturidade
7	CONFIABILIDADE - Tolerância à falhas
8	CONFIABILIDADE - Recuperabilidade
9	CONFIABILIDADE - Conformidade relativa à Confiabilidade
10	USABILIDADE - Inteligibilidade
11	USABILIDADE - Aprendibilidade
12	USABILIDADE - Operacionalidade
13	USABILIDADE - Atratividade
14	USABILIDADE - Conformidade relativa à Usabilidade
15	EFICIÊNCIA – Comportamento em relação ao Tempo
16	EFICIÊNCIA - Comportamento em relação aos Recursos
17	EFICIÊNCIA - Conformidade relativa à Eficiência
18	MANUTENIBILIDADE - Analisabilidade
19	MANUTENIBILIDADE - Modificabilidade
20	MANUTENIBILIDADE - Estabilidade
21	MANUTENIBILIDADE - Testabilidade
22	MANUTENIBILIDADE - Conformidade relativa à Manutenibilidade
23	PORTABILIDADE - Adaptabilidade
24	PORTABILIDADE - Capacidade de Instalação
25	PORTABILIDADE - Coexistência
26	PORTABILIDADE - Capacidade de Substituição
27	PORTABILIDADE - Conformidade relativa à Portabilidade

Neste caso, pode-se verificar que a alternativa *GSM – CTP* domina as demais alternativas nos sub-critérios 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 24 e 27. A alternativa *Wi-Fi – SIP* apresenta melhor desempenho que as demais nos sub-critérios 1, 10, 12, 16, 23, 25 e 26. Somente no sub-critério 11 é que a alternativa *UMA – GAN* domina as demais. Existe ainda uma tríplice empate nos sub-critérios 2 e 14, enquanto no sub-critério 19 *GSM – CTP* e *UMA – GAN* ficam empatadas em grau de preferência.

Para complementar a análise proposta, elaborou-se o gráfico da figura 5.4, onde o grau de preferência de cada alternativa é mostrado segundo cada critério da norma *ISO/IEC 9126*. Esta análise resume o gráfico da figura 5.3, tornando mais claro o desempenho de cada alternativa.

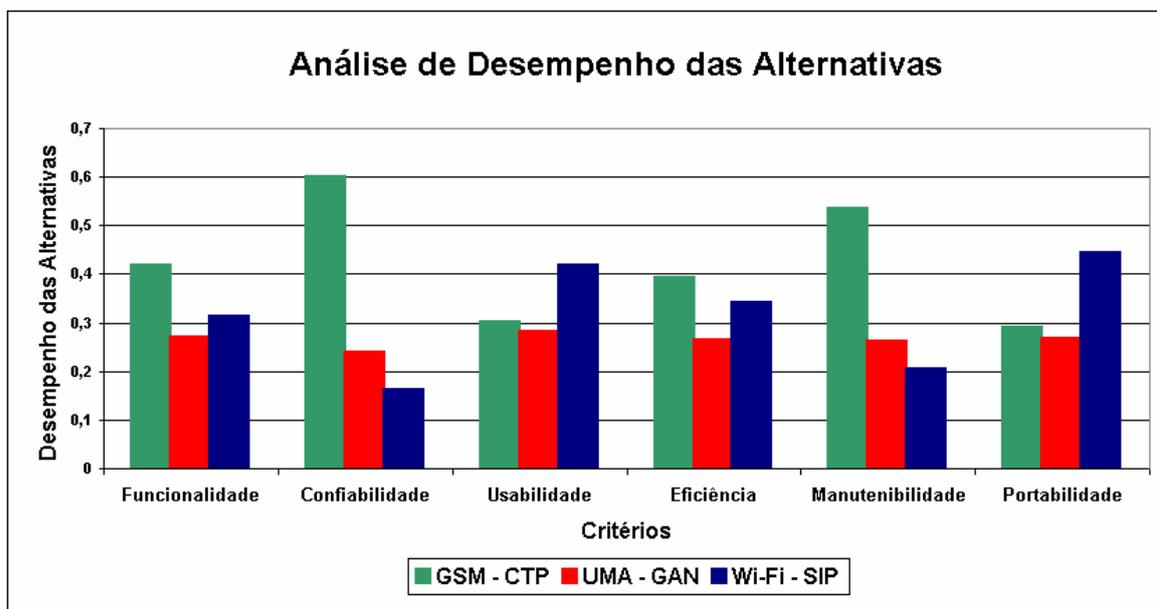


Figura 5.4 – Análise de desempenho das alternativas conforme os critérios

Observa-se o desempenho superior da alternativa *GSM – CTP* nos critérios Funcionalidade, Confiabilidade, Eficiência e Manutenibilidade, enquanto a alternativa *Wi-Fi – SIP* domina as demais nos critérios Usabilidade e Portabilidade. A alternativa *UMA – GAN* não supera as demais em nenhum critério analisado.

Analisando conjuntamente as figuras 5.1 e 5.4, verifica-se que os dois critérios onde a alternativa *Wi-Fi – SIP* apresenta melhor desempenho que a alternativa *GSM – CTP*, são exatamente os critérios com menor grau de importância, conforme estabelecido pelo questionário do apêndice D. Torna-se evidente, portanto, o motivo da preferência pela alternativa *GSM – CTP*, que foi apresentada na figura 5.2: o seu desempenho superior nos critérios com maior grau de importância.

Assim o método de apoio ao processo decisório, proposto neste trabalho e aplicado neste capítulo, forneceu a estruturação do problema, classificação e desempenho das alternativas, propiciando ao decisor um ferramental capaz de auxiliá-lo na sua tomada de decisão. A

proposta deste método é fornecer ao decisor uma comparação entre as alternativas, sob a ótica da qualidade, conforme os critérios da *ISO/IEC 9126*. Este processo culminou com a conclusão que a alternativa *GSM – CTP* supera as demais nos critérios estudados, conforme os pesos definidos pelos avaliadores. Constata-se que a alternativa *GSM – CTP* apresenta maior aderência a critérios de qualidade de produto tecnológico e à expectativa dos avaliadores sobre a importância relativa dos requisitos de qualidade que uma solução de convergência fixo-móvel deve possuir.

Obviamente que esta avaliação não é o único fator a ser considerado em um processo decisório e, portanto este resultado não indica que a alternativa *GSM – CTP* deva ser implementada enquanto as demais alternativas devam ser sumariamente descartadas. O método proposto demonstrou que ao se considerar aspectos subjetivos de qualidade, a alternativa *GSM – CTP* apresenta desempenho superior às demais alternativas de convergência fixo-móvel. Este resultado reflete a opinião de sete avaliadores com experiências distintas que, através da metodologia proposta, foi ponderada e acabou por classificar a alternativa *GSM – CTP* como mais preferível, visto que nos critérios que estes avaliadores julgaram mais importantes, esta alternativa supera às demais. Agora aspectos financeiros e econômicos das três alternativas, que normalmente são comparados com relativa facilidade, podem ser incorporados ao processo decisório, sendo que doravante o processo conta com uma comparação qualitativa das alternativas mensurada quantitativamente, considerando critérios iguais para as diferentes soluções tecnológicas. Assim a metodologia proposta, cuja aplicação foi realizada neste capítulo, almeja contribuir para a produção de decisões mais eficazes e eficientes.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES GERAIS

Alinhado aos conceitos estudados e a partir da proposta de método da presente dissertação, obtêm-se as seguintes conclusões:

- A convergência fixo-móvel é uma alternativa viável para propiciar às operadoras de telecomunicações a manutenção do equilíbrio nas suas receitas e lucros, mediante a inevitável migração de tráfego da telefonia fixa para a telefonia móvel;
- Apesar das redes de telecomunicações se encontrarem diante de um processo eminente de evolução para um ambiente completamente *IP*, conforme as arquiteturas *IMS* e *TISPAN NGN*, existe a disponibilidade de alternativas de convergência fixo-móvel que podem ser implementadas imediatamente, independente da evolução das redes;
- Os investimentos nas redes novas e existentes para a convergência fixo-móvel deverão considerar os aspectos de evolução das redes. Para tanto, as companhias devem aprimorar os seus processos decisórios, contemplando além de variáveis financeiras e econômicas, aspectos qualitativos. Para tanto, os conceitos clássicos de tomada de decisão e de avaliação de projetos devem ser combinados possibilitando um processo de classificação das alternativas existentes, objetivando definir a solução mais adequada;
- Não obstante das alternativas de convergência fixo-móvel apresentarem características tecnológicas distintas, o modelo de qualidade definido na norma *ISO/IEC 9126* apoiada pelo processo de avaliação definido na norma *ISO/IEC 14598*, permite avaliar qualitativamente sob uma ótica única as diferentes características das diversas soluções de convergência fixo-móvel;
- Foi demonstrado que o método *AHP*, proposto por Saaty, é uma ferramenta eficaz na integração dos conceitos contidos nas normas *ISO/IEC 9126* e *ISO/IEC 14598* e na estruturação do processo decisório em etapas conforme proposto por Robbins e Coulter (1998), que possibilita uma ordenação de alternativas, considerando critérios iguais para as diferentes soluções tecnológicas de convergência fixo-

móvel, bem como a indicação daquela tida como a adequada sob a ótica da qualidade do produto tecnológico, dentre as propostas;

- A metodologia apresentada nesta dissertação propõe a classificação das alternativas de convergência fixo-móvel através de critérios subjetivos de qualidade do produto tecnológico, conciliados pelo método *AHP*, contemplando uma visão heterogênea de sete avaliadores com experiências distintas, que pode ser incorporada a aspectos financeiros e econômicos, culminando em um enriquecimento do processo decisório sobre convergência fixo-móvel de uma operadora de telecomunicações;
- Verifica-se ser possível definir critérios que permitam avaliar sob uma ótica única as diferentes características das diversas soluções de convergência fixo-móvel e dos diferentes serviços convergentes, estabelecendo parâmetros que propiciem a uma operadora de telecomunicações definir e planejar novos serviços convergentes.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Pela forma com que o método foi desenvolvido e pela percepção de sua aplicabilidade em uma operadora de telecomunicações, sugerem-se os seguintes trabalhos futuros de forma complementar ao presente estudo:

- Aplicação da metodologia proposta em outros problemas tecnológicos, como por exemplo, o *replacement* da rede STFC, visando agregar aspectos qualitativos aos estudos de viabilidade deste projeto;
- Incorporação ao método proposto de variáveis financeiras e econômicas que poderiam ser mescladas com os critérios de qualidade da norma *ISO/IEC 9126*, dentro da ferramenta *AHP*, implementando comparações paritárias entre as variáveis qualitativas da referida norma e quantitativas dos modelos econômicos, culminando com um modelo que considere os conceitos técnicos e os conceitos comerciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO/IEC 9126. ABNT, Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR ISO/IEC 14598. ABNT, Rio de Janeiro, 2003.
- Almeida, Adiel Teixeira de; Clericuzi, Adriana Zenaide; Costa, Ana Paula Cabral Seixas. Aspectos relevantes dos SAD nas organizações: um estudo exploratório. Artigo. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.
- Bisdikian, Chatschik. An Overview of the Bluetooth Wireless Technology. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, dez. 2001.
- Bluetooth TM. Bluetooth specification version 1.1 part K:3 Cordless Telephony Profile. Bluetooth TM, 2001.
- Brasil Telecom. Boletim Painel Telecom, Brasília, n. 58, 15 fev 2007. 2 p. Semanal
- _____. Boletim Painel Telecom, Brasília, n. 73, 31 mai 2007. 2 p. Semanal
- _____. Diretrizes de Tecnologia e Arquitetura: Ciclo de Planejamento 2007-2009. Diretoria Adjunta de Tecnologia e Arquitetura, Brasil Telecom. Brasília, 2006.
- Camarillo, Gonzalo; Garcia-Martim, Miguel A. The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): merging the internet and the cellular worlds. 2. ed. England: John Wiley & Sons, 2006.
- Castro, Alex; Lourenço, Rogério B. Next Generation Networks. Monografia. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2004
- Coelho, Frederico Siqueira Guedes. Um método para avaliação de projetos de tecnologia no setor público e no terceiro setor. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2005
- ETSI–European Telecommunications Standards Institute. ES 282 001 V1.1.1: Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN) NGN Functional Architecture Release 1. ETSI, 2005.
- _____. ES 282 012 V1.1.1: Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN) IMS-based PSTN/ISDN Emulation Subsystem Functional architecture. ETSI, 2006.
- Expert Choice. History.
- Disponível em <<http://www.expertchoice.com/about/history.html>>. Acesso em: 07 ago. 2007.

- FMCA–Fixed-Mobile Convergence Alliance. Convergence Services over Wi-Fi GAN (UMA) PRD Release 1. FMCA, 2005a.
- _____. Convergence Services using Bluetooth CTP PRD Release 2. FMCA, 2006.
- _____. Convergence Services using SIP over Wi-Fi PRD Release 1. FMCA, 2005b.
- Gartner, Ivan Ricardo. Métodos quantitativos aplicados à gestão. Apostila do Curso de MBA em gestão de negócios. Faculdades Alves Faria. Goiânia, 2003
- _____. Um sistema multicriterial de apoio à análise de projetos em bancos de desenvolvimento. Artigo. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998
- Jeszensky, Paul Jean Etienne. Sistemas Telefônicos. Manole. São Paulo, 2003.
- Koscianski, André et al. Guia para utilização das normas sobre avaliação de qualidade de produto de *software* – ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 14598. ABNT, Curitiba, 1999.
- Mendonça, Alzino Furtado de et al. Metodologia científica: guia para elaboração e apresentação de trabalhos acadêmicos. Faculdades Alves Faria. Goiânia, 2003.
- Murakami, Milton. Decisão estratégica em TI: estudo de caso. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Departamento de Administração, Universidade de São Paulo, 2003.
- Poikselkã, Miikka et al. The IMS IP Multimedia Concepts and Services in the Mobile Domain. England: John Wiley & Sons, 2004.
- Prieto, Vanderli Correia; Laurindo, Fernando José Barbin; Carvalho, Marly Monteiro de. Método de análise jerárquico aplicado a la selección de ambientes de aprendizaje: Estudio de caso en el área de la enseñanza superior a distancia. Espacios, vol.26, no.2, mai, 2005.
- Disponível em <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-10152005000200002&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 11 jul. 2007.
- Robbins, Stephen P.; Coulter, Mary; Administração. 5 ed. LTC. São Paulo, 1998.
- Saaty, Thomas L. Método de Análise Hierárquica, tradução de Wainer das Silveira e Silva. Makron Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo, 1991.
- Salomon, Valério Antônio Plamplona. Auxílio à decisão para adoção de políticas de compras. Produto & Produção, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 1-8, fev. 2002.
- Stival, Jair. Tomada de Decisão. Apostila do Curso de MBA em gestão de negócios. Faculdades Alves Faria. Goiânia, 2003
- Weiszflog, Walter. Michaelis – Moderno Dicionário da Língua Portuguesa. 1 ed. Melhoramentos. São Paulo, 2004

APÊNDICES

A – METODOLOGIA AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)

Fonte: Saaty (*apud* Murakami, 2003)

De acordo com Thomas L. Saaty, quando pensamos, identificamos objetos ou idéias e também sua inter-relação. Quando identificamos alguma coisa, decomponemos a complexidade encontrada. Quando descobrimos relações, sintetizamos. Esse é o processo fundamental da percepção: decomposição e síntese, que é o fundamento do método *AHP* desenvolvido pelo Prof. Saaty, como ficou conhecido.

Trata-se de uma proposta ousada, baseada em metodologia, procura definir valores sociais da complexa sociedade.

A.1 O MÉTODO

Suponha que “*n*” atividades estejam sendo consideradas por um grupo de pessoas interessadas e que os objetivos do grupo sejam:

- Desenvolver julgamento sobre a importância relativa dessas atividades;
- Assegurar que os julgamentos sejam quantificados de modo que permitam uma interpretação quantitativa dos julgamentos entre todas as atividades. Obviamente, este objetivo requererá assistência técnica adequada.

O objetivo é descrever um método de derivação a partir dos julgamentos quantificados do grupo (isto é, a partir dos valores relativos associados aos pares de atividades), um conjunto de pesos que será associado a atividades individuais, conforme a seguir. Esses termos deverão refletir os julgamentos quantificados do grupo. Essa abordagem pretende tornar a informação resultante dos objetivos acima descritos utilizável sem omitir as informações contidas nos julgamentos qualitativos.

O conjunto de atividades será C_1, C_2, \dots, C_n . Os julgamentos quantificados dos pares de atividades C_i, C_j são representados por uma matriz quadrada A de ordem $n \times n$. Os elementos a_{ij} desta matriz são definidos pelas seguintes regras:

- Regra 1: Se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$, onde $\alpha \neq 0$;
- Regra 2: Se C_i é julgado como de igual importância relativa a C_j , então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$; e em particular, $a_{ii} = 1$ para qualquer valor de i .

Assim, a matriz A terá a seguinte forma:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (\text{A.1})$$

Sendo os julgamentos registrados e quantificados em partes (C_i, C_j) , como elementos numéricos a_{ij} na matriz A , o problema agora é designar para n contingências C_1, C_2, \dots, C_n um conjunto de pesos numéricos w_1, w_2, \dots, w_n que refletirão nos julgamentos registrados.

Para tanto, o problema formulado vagamente deverá ser transformado num problema matematicamente preciso.

Esta etapa essencial e aparentemente benéfica é a mais crucial em qualquer problema que requeira a representação de uma situação da vida real em termos de uma estrutura matemática abstrata. É particularmente crucial no problema presente, onde a representação envolve um número de transições que não são imediatamente discerníveis. Assim, parece desejável ao presente problema identificar as etapas maiores no processo de representação, e tornar cada uma dessas etapas a mais explícita possível, a fim de capacitar o usuário potencial a formar seu próprio julgamento sobre o significado e o valor do método em relação ao seu problema e ao seu objetivo.

A questão maior está ligada ao significado de uma condição formulada vagamente na descrição do objetivo. “Estes pesos deverão refletir os julgamentos quantificados do grupo.” Isto cria a necessidade de descrever, em termos aritméticos precisos, como os

pesos w_i , deverão relacionar-se com os julgamentos a_{ij} . Em outras palavras, o problema de especificar corretamente as condições que se deseja impor aos pesos que se procura para definir seus valores em relação aos julgamentos obtidos. A descrição desejada deve ser desenvolvida em 3 etapas, partindo-se do caso especial mais simples para o mais geral.

Etapa 1: Suponha primeiro que os “julgamentos” sejam meramente os resultados de medidas físicas precisas. Os juizes receberão um conjunto de objetos C_1, C_2, \dots, C_n e uma balança de precisão.

Para comparar C_1 com C_2 , eles colocarão C_1 em uma balança e lerão seu peso por exemplo, $w_1 = 305$ gramas. Então, pesarão C_2 e encontrarão $w_2 = 244$ gramas. Dividindo w_1 por w_2 , encontrarão 1,25. Concluirão seu julgamento, “ C_1 é 1,25 vezes mais pesado que C_2 ”, registrando-o como $a_{12} = 1,25$. Assim, neste caso ideal de medida exata, as relações entre os pesos w_i e os julgamentos a_{ij} são simplesmente dadas por:

$$\frac{w_i}{w_j} = a_{ij} \Rightarrow w_i = a_{ij} \times w_j \quad (\text{para } i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (\text{A.2})$$

Logo,

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}. \quad (\text{A.3})$$

Entretanto, seria irrealístico querer que estas relações significassem o caso geral. Imposição destas relações restritas tomaria insolúvel, na maioria dos casos práticos, o problema de encontrar o vetor w (quando a_{ij} são dados), uma vez que mesmo medidas físicas nunca são exatas em seu sentido matemático, daí a necessidade de uma tolerância

para desvios, ainda porque em julgamentos humanos, estes desvios são consideravelmente maiores.

Etapa 2: Para permitir margem de desvios deve-se considerar a linha de ordem “ i ” da matriz A . Os elementos nesta linha são: $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in}$.

No caso ideal (exato), esses valores são os mesmos das razões: $\frac{w_i}{w_1}, \frac{w_i}{w_2}, \dots, \frac{w_i}{w_i}, \dots, \frac{w_i}{w_n}$.

Então, no caso ideal, se multiplicar o primeiro elemento daquela linha por w_1 , o segundo elemento por w_2 , e assim por diante, obter-se-á:

$$\frac{w_i \times w_1}{w_1}, \frac{w_i \times w_2}{w_2}, \dots, \frac{w_i \times w_i}{w_i}, \dots, \frac{w_i \times w_n}{w_n} = w_i, w_i, \dots, w_i, \dots, w_i$$

O resultado é uma linha de elementos idênticos: $w_i, w_i, \dots, w_i, \dots, w_i$ onde, de um modo geral, obter-se-á uma linha de elementos que representaria o espelhamento estatístico dos valores em torno de w_i . Parece, assim, válido esperar que w_i seja igual à média desses valores. Conseqüentemente, em vez das relações do caso ideal (A.2), $w_i = a_{ij} \times w_j$ (para $i, j = 1, 2, \dots, n$), as relações mais realísticas para o caso geral assumem, para cada i definido, a seguinte fórmula:

$$w_i = \text{média de } (a_{i1} \times w_1, a_{i2} \times w_2, \dots, a_{in} \times w_n). \quad (\text{A.4})$$

Mais explicitamente:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (\text{A.5})$$

Embora as relações em (A.5) representem uma flexibilidade substancial das relações mais restritas (A.2), ainda permanece a questão: é essa flexibilidade suficiente para assegurar a

existência de soluções? Ou seja, pode-se assegurar que o problema de encontrar pesos únicos w_i , quando os valores de a_{ij} são dados?

Etapa 3: Para procurarmos a resposta para a questão essencialmente matemática descrita acima, é necessário expressar as relações de (A.5) numa outra forma ainda mais simples. Para tal, precisará sintetizar a linha de raciocínio que se desenvolveu até aqui. Ao procurar um conjunto de condições para descrever como o vetor peso w deveria relacionar-se com os julgamentos quantificados, considerar-se-á primeiramente o caso ideal (exato) descrito na etapa 1 e que gerou as relações (A.2).

Depois, conclui-se que uma situação real requereria flexibilidade para desvios dos valores teóricos ideais (exatos), providenciar a flexibilidade para tais desvios na etapa 2, o que leva à formulação das equações (A.5).

Entretanto, verificamos que esta condição ainda não é suficientemente realista, isto é, (A.5) que atende ao caso ideal; ainda é restrita para assegurar a existência de um vetor peso w que venha satisfazer realmente (A.5). Nota-se que, para estimativas aceitáveis, a_{ij} tende a ficar próximo de w_i/w_j e assim causar uma perturbação pequena nesta razão. À medida que a_{ij} é modificado, percebe-se que há uma solução correspondente de (A.5), (isto é, w_i e w_j podem ser modificados para acomodar esta variação em a_{ij} partindo-se do caso ideal), se n também sofrer modificações. Representa-se esse valor de n para λ_{\max} . Assim, (A.5) torna-se:

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{\max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} \times w_j \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (\text{A.6})$$

Agora (A.6) terá uma solução que também será única. Esse é o tão conhecido problema de autovalor. Em geral, desvios em a_{ij} podem levar a grandes desvios tanto em λ_{\max} como no vetor w . Entretanto, este não é o caso para uma matriz recíproca que satisfaça às regras 1 e 2. Neste caso, a solução é estável.

A.1.1 Relação de Consistência:

Considere os elementos C_1, C_2, \dots, C_n de algum nível em uma hierarquia. Quer-se encontrar seus pesos de influência, w_1, w_2, \dots, w_n sobre algum elemento no próximo nível. A ferramenta básica é uma matriz de números, representando o julgamento de comparações paritárias. Pode-se mostrar por que o autovetor com o maior autovalor é escolhido para definir as prioridades.

Denomina-se a_{ij} o número que indica a importância de C_i quando comparado com C_j . A matriz desses números é chamada A , onde $A = (a_{ij})$.

Como observado antes, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, isto é, a matriz A é recíproca. Se o julgamento for perfeito em todas as comparações, então $a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk}$ para qualquer i, j, k , e chama-se essa matriz de consistente.

Um caso óbvio de matriz consistente é aquele no qual as comparações são baseadas em medidas exatas, isto é, os pesos w_1, w_2, \dots, w_n já são conhecidos. Da equação (A.2):

$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ (para $i, j = 1, 2, \dots, n$). Então:

$$a_{ij} \times a_{ik} = \frac{w_i}{w_j} \times \frac{w_i}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik}. \quad (\text{A.7})$$

Também, pode-se escrever:

$$a_{ji} = \frac{w_j}{w_i} \times \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{a_{ij}}. \quad (\text{A.8})$$

Em um caso prático, a_{ij} são valores baseados não em medidas exatas, mas em julgamentos subjetivos. Então, os valores a_{ij} irão desviar-se das razões “ideais” w_i/w_j e, portanto, a equação (A.8) não mais será válida. Dois axiomas de teoria matricial vêm em auxílio.

O primeiro é o seguinte:

Se $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ são os números que satisfazem à equação: $A \cdot x = \lambda \cdot x$, isto é, são autovalores de A , e se $a_{ij} = 1$ para todo i , então:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n. \quad (\text{A.9})$$

Portanto, se (A.8) é válida, então, todos os autovalores são zero, exceto um, que é n . Claramente, então, no caso consistente, n será o maior autovalor de A .

O segundo fato importante é que se variar os elementos a_{ij} de uma matriz recíproca positiva A por pequenos valores, então os autovalores também variarão por pequenas quantidades.

Combinando esses resultados, encontra-se que, se o a diagonal da matriz A consistir em números em ($a_{ij} = 1$), e se A for consistente, pequenas variações de a_{ij} manterão o maior autovalor, λ_{\max} , próximo de n , e os autovalores restantes próximos de zero.

Portanto, se A for a matriz de valores comparados paritariamente, a fim de encontrar o vetor prioridade, há de se encontrar o vetor w que satisfaça a equação: $A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$

Como é desejável ter uma solução normalizada, altera-se w um pouco, fazendo:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n w_i$$

e substituindo w por $(1/\alpha) \cdot w$. Isso assegura uma solução única também que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Observa-se que uma vez que pequenas variações em a_{ij} implicam uma pequena variação em λ_{\max} . O desvio deste último a partir de n é uma medida de consistência. Isso permite

avaliar a proximidade da escala já desenvolvida e de uma escala de razões que se quer estimar. Então, o Índice de Consistência (*IC*), o indicador de “proximidade da consistência”, será dado por:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \quad (\text{A.10})$$

Em geral, se esse número for menor que 0,10, pode-se ficar satisfeito com o julgamento.

A.2 Racionalidade do número 9 como limite superior

Existem várias razões para se estabelecer um limite superior de escala:

- As distinções qualitativas são significativas na prática e têm uma característica de precisão, quando os itens comparados apresentam a mesma ordem de magnitude ou estão próximos com relação à propriedade usada para fazer a comparação;
- Nota-se que a habilidade para fazer distinções qualitativas é bem representada por cinco atributos: igual, fraco, forte, muito forte e absoluto. Podem-se estabelecer compromissos entre atributos adjacentes quando uma precisão maior for necessária. A totalidade requererá 9 valores e eles podem ser consecutivos - a escala resultante seria, então, validada na prática;
- Com a finalidade de reforçar a razão acima, um método prático frequentemente usado para avaliar itens tem sido a classificação de estímulos de sentimentos: rejeição, indiferença, aceitação. Para melhor classificação, cada um destes será dividido em uma tricotomia: baixo, médio e alto. Estudos de marketing mostraram que não são necessários mais do que 7 pontos na escala para distinguir entre estímulos. Assim, não é preciso passar de 9;
- Limite psicológico de 7 ± 2 itens em uma comparação simultânea sugere que se tomarmos mais que $7 + 2$ itens satisfazendo a descrição sob o primeiro motivo, e se eles diferirem entre si levemente, precisaria de 9 pontos para distinguir essas diferenças.

A escala de comparação paritária proposta por Saaty na metodologia *AHP* possui 9 pontos é apresentada na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Escala de comparação paritária da metodologia AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para os objetivos.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem uma atividade levemente em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem uma atividade fortemente em relação à outra.
7	Importância absoluta	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra e pode ser demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes de zero, comparada com j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.

Fonte: Saaty (*apud* Murakami, 2003)

B – O SOFTWARE EXPERT CHOICE

Fonte: Murakami (2003)

Desde 1983 o *software Expert Choice* tem ajudado diversas organizações na tomada de decisões de negócios ao redor do mundo. Está baseado no modelo denominado *AHP* - Análise Hierárquica de Processo, desenvolvido por Thomas L. Saaty na Universidade de Pensilvânia, *Wharton School of Business* nos anos setenta. Saaty aplicou o *AHP* para o Departamento de Estado Norte-americano em consultoria de decisão e em dúzias de corporações e agências, tais como o Departamento Norte-americano de Defesa, Força Aérea Norte-americana, *XEROX*, *Boeing*, *Merck*, *General Electric*, *Conoco Oil* e os governos do Canadá, África do Sul, Cingapura, Indonésia, China, Irã, Argentina, Egito e Kuwait.

Na década de 80, Ernest Forman, da *George Washington University* desenvolveu o *Expert Choice* adaptando *AHP* para uso em computadores pessoais. *Expert Choice* foi usado em uma variedade de decisões críticas ainda nos anos oitenta para organizações como *IBM*, *XEROX* e *Rockwell International*. Nestas e em outras organizações, o *software* foi utilizado em planejamento estratégico, ordenação de projeto, distribuição de recursos, e seleção de vendedores de tecnologia. *Expert Choice* também participou do desenvolvimento da capacidade de apoio de decisão na aquisição de dois centros de excelência para a Marinha Norte-americana e a *Intelligence Community*.

Em 1990, *Expert Choice*, enquanto organização, estabeleceu uma sociedade estratégica e acordo de licença com o *Gartner Group* que é um dos maiores centros de pesquisas em TI do mundo. O sucesso do *Expert Choice* foi significativo que hoje se tornou um dos “*core service*” do *Gartner Group*.

Hoje, o *EC* é usado para alocar mais de US\$ 30 bilhões ao ano para as agências governamentais e comerciais ao redor do mundo. A aplicação foi adaptada agora para uso na Internet, permitindo maior eficiência na tomada de decisão, permitindo aos usuários a darem contribuição crítica em qualquer lugar ao redor do mundo, o *software* elimina a necessidade por viagem de negócio desnecessária e reuniões em excesso.

C – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AHP

Será apresentado neste apêndice um exemplo didático para mostrar como a metodologia AHP é aplicada através do *software Expert Choice*. Considerar-se-á uma decisão hipotética para realizar a escolha de um sabor de sorvete, mediante três opções (baunilha, morango e chocolate) e considerando três critérios (preço, aspecto e quantidade disponível).

O primeiro passo consiste em introduzir a hierarquia do problema no *software Expert Choice*. O *software* possui uma interface que auxilia na construção desta hierarquia. Ao se escolher a criação de novo modelo de apoio à decisão, é solicitado a digitação do objetivo da decisão, conforme mostrado na figura C.1.

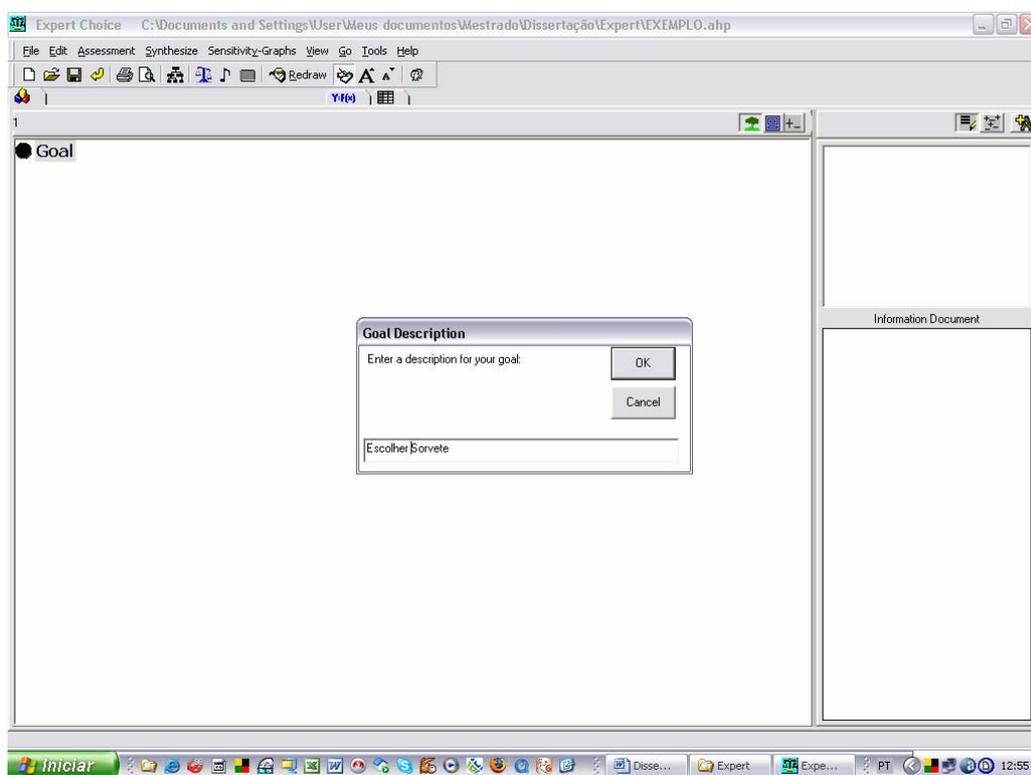


Figura C.1 – Interface do *software Expert Choice* de digitação do objetivo da decisão

Em seguida os critérios da decisão são inseridos hierarquicamente abaixo do objetivo definido no passo anterior. As figuras C.2 e C.3 mostram as interfaces desta etapa.

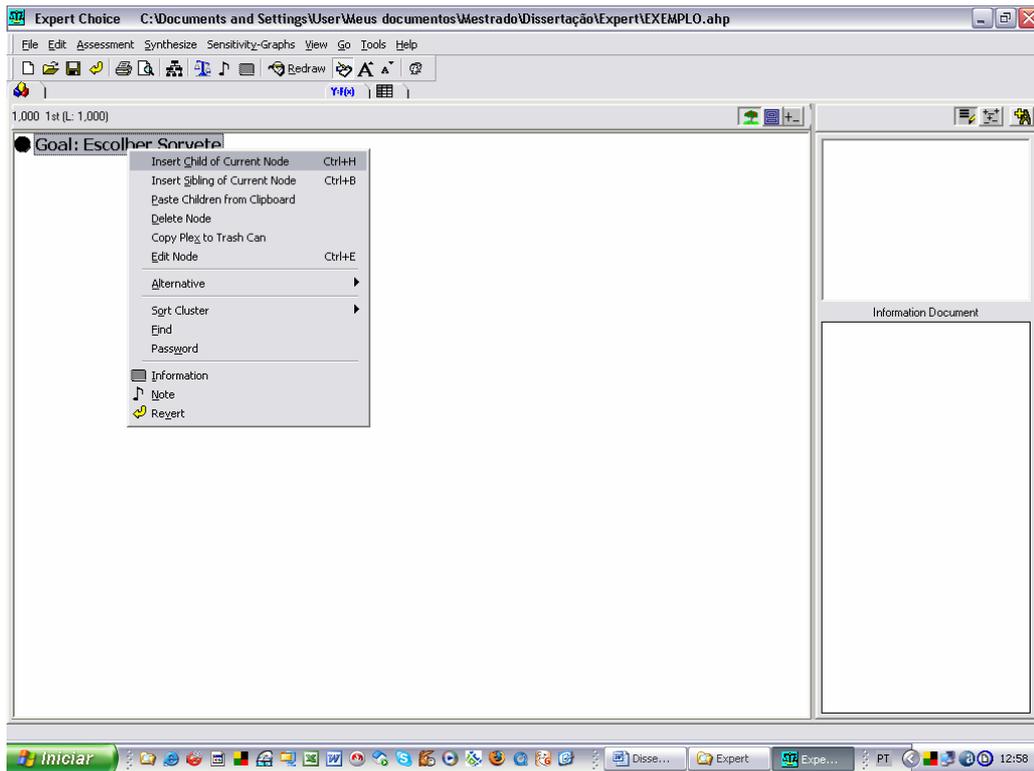


Figura C.2 – Interface do *software Expert Choice* de digitação dos critérios da decisão

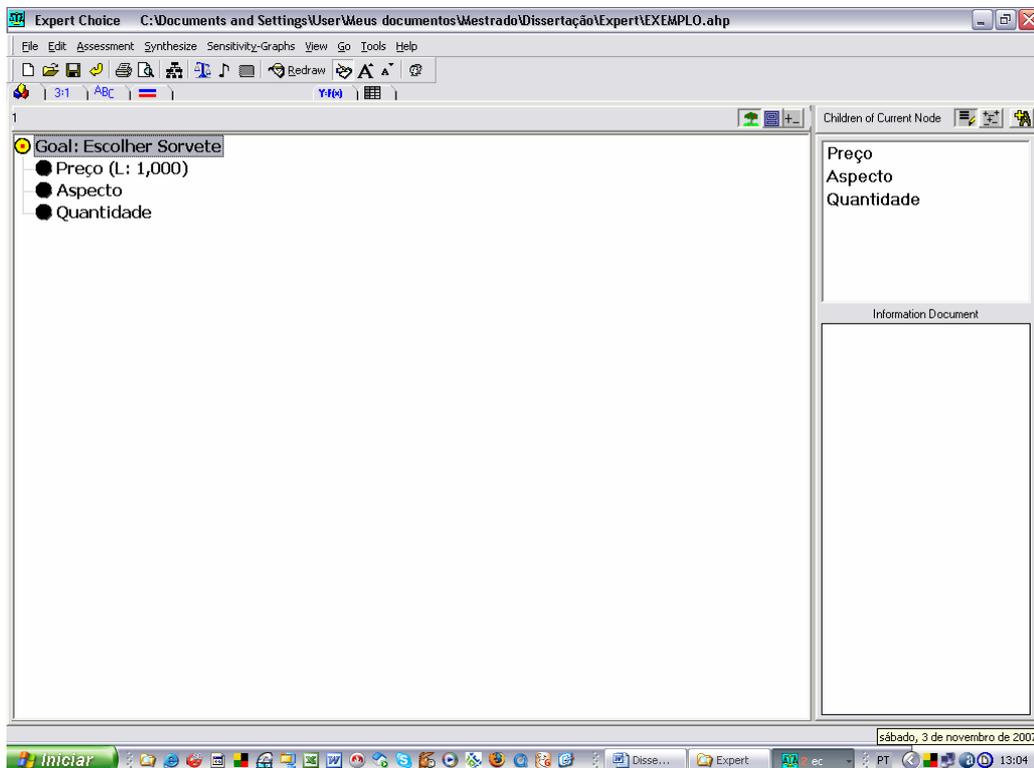


Figura C.3 – Interface do *software Expert Choice* após digitação dos critérios da decisão

Conforme mostrado na figura C.4, o *software* oferece a opção de visualização da estrutura criada.

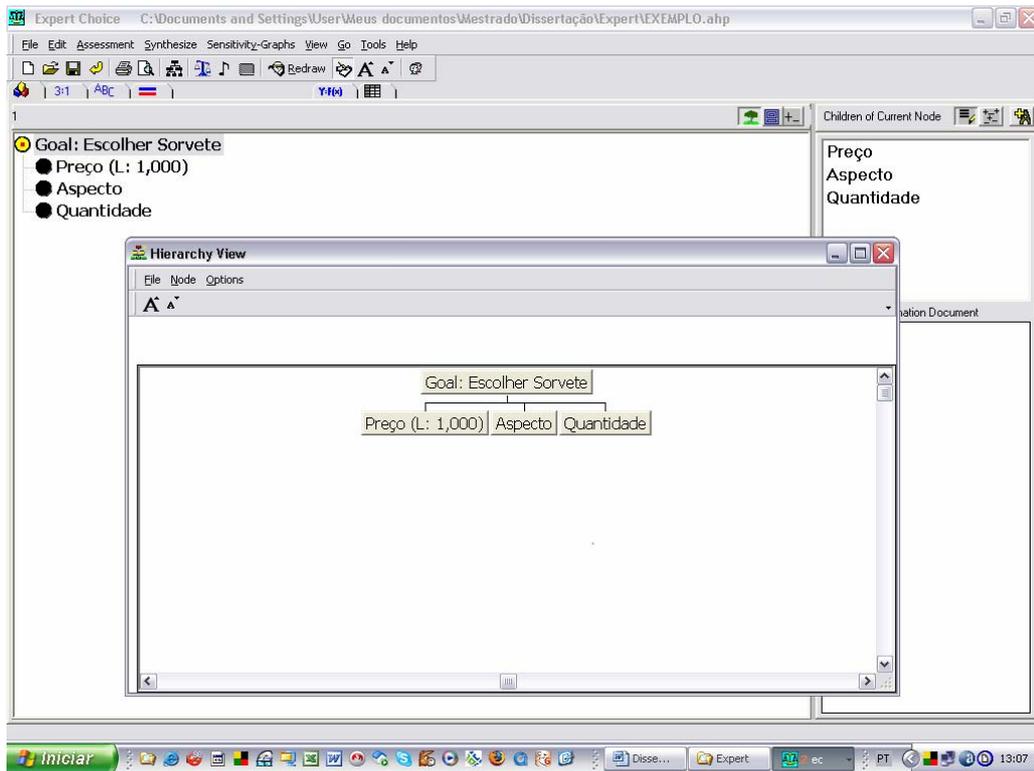


Figura C.4 – Interface do *software Expert Choice* de visualização da hierarquia definida

O próximo passo é introduzir as alternativas que serão avaliadas pela estrutura hierárquica criada na etapa anterior. No canto superior direito existe um botão para a inserção de alternativas. As figuras C.5, C.6 e C.7 apresentam a seqüência de passos para se incluir as alternativas que serão avaliadas.

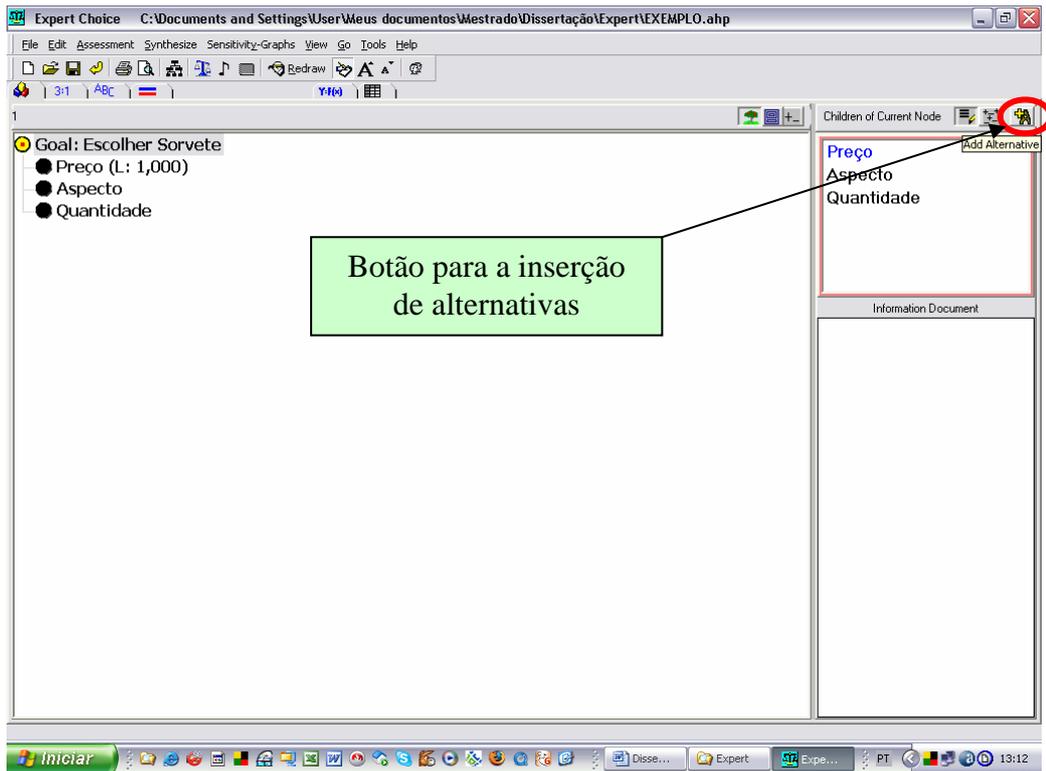


Figura C.5 – Botão do *software Expert Choice* para a inserção das alternativas

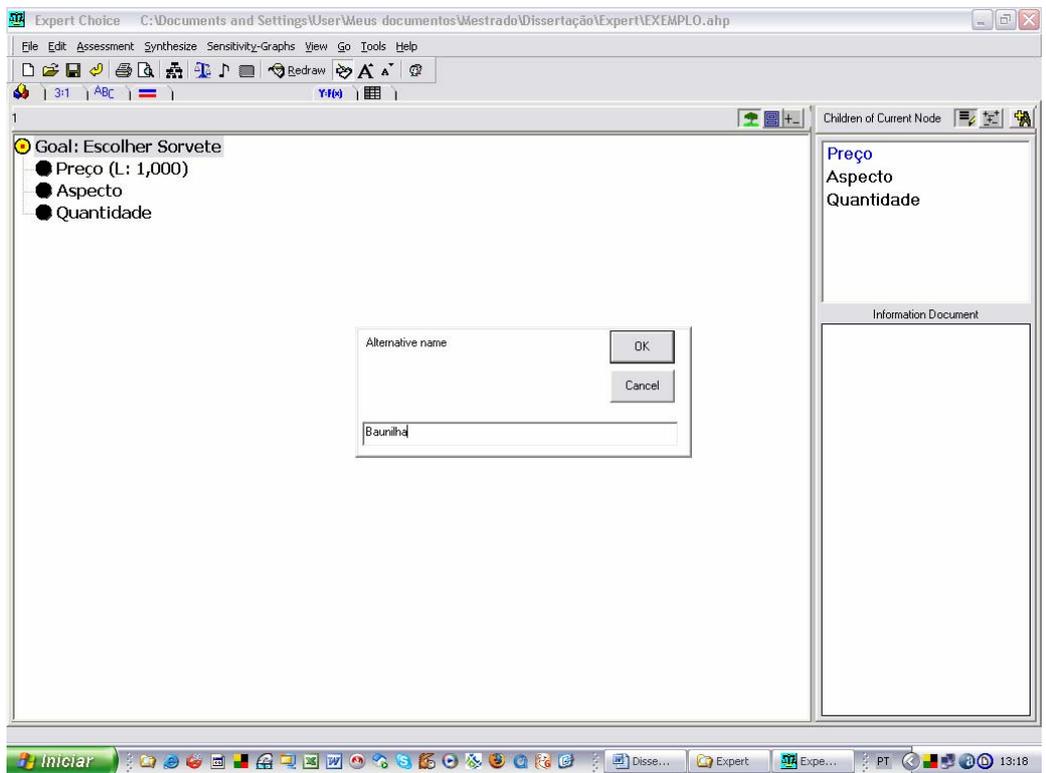


Figura C.6 – Interface do *software Expert Choice* para a inserção das alternativas

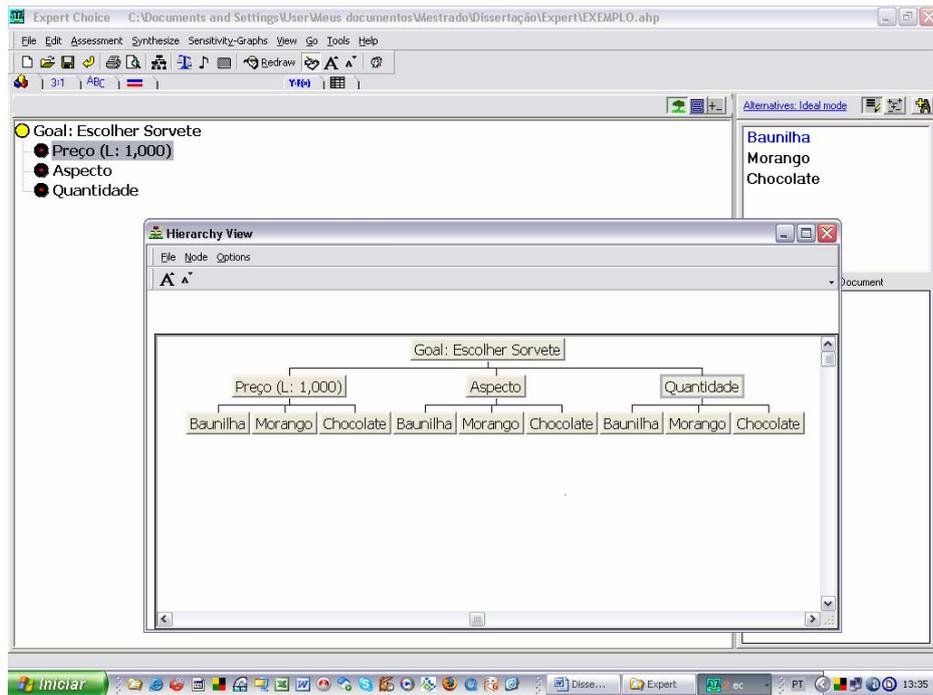


Figura C.7 – Interface do *software Expert Choice* de visualização da hierarquia após digitação das alternativas

Depois de cumprida esta etapa, pode-se realizar a avaliação da estrutura hierárquica construída, ou seja, realizar a comparação paritária entre os critérios. As interfaces do software Expert Choice para realização deste passo são apresentadas nas figuras C.8 e C.9.

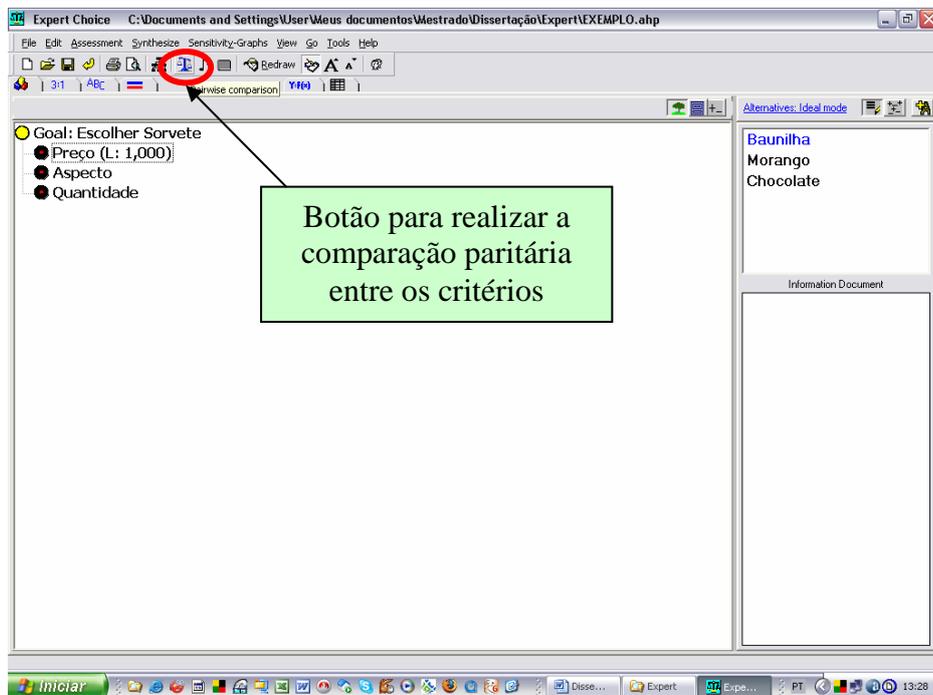


Figura C.8 – Botão do *software Expert Choice* para realizar a comparação paritária dos critérios

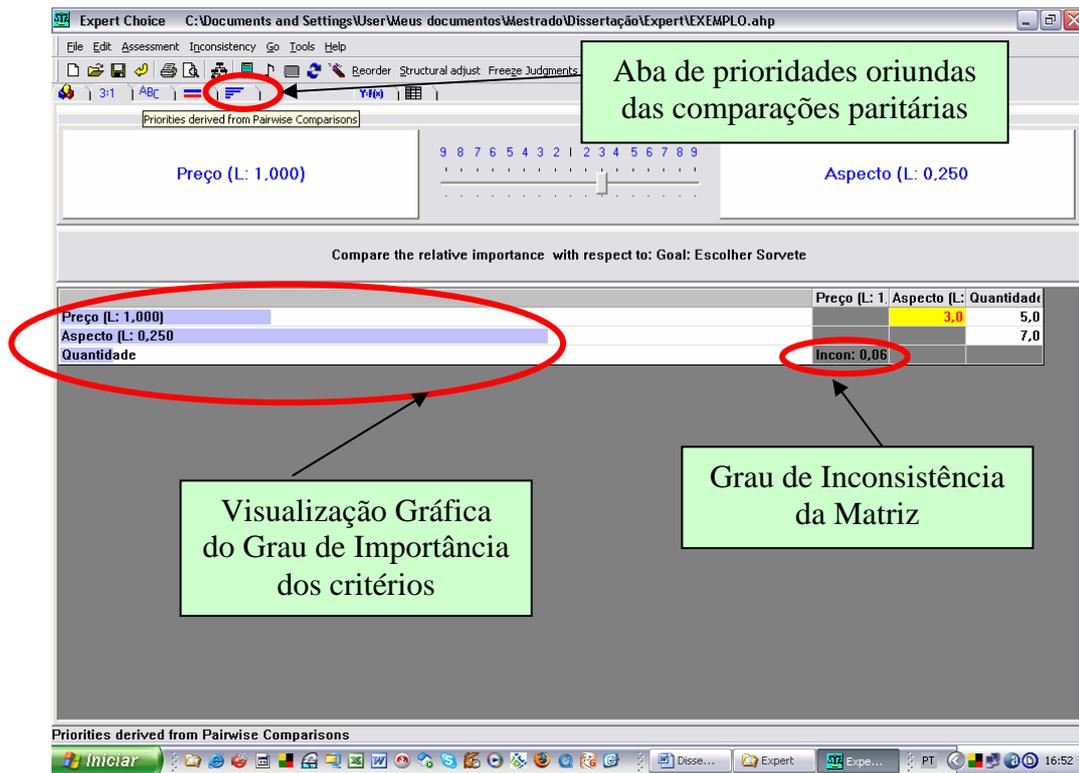


Figura C.9 – Interface do *software Expert Choice* para realizar a comparação paritária dos critérios

Na figura C.9 é possível visualizar o grau de inconsistência (RC) da matriz que é calculado pelo o *software* através da equação 4.3 e grau de importância relativa ou o peso de cada critério. Nesta interface os pesos são visualizados apenas graficamente, sendo necessário selecionar a aba de prioridades oriundas das comparações paritárias para que o software mostre os valores dos pesos calculados. A figura C.10 mostra a interface que aparece quando se seleciona esta aba, interface esta que apresenta graficamente e numericamente os valores destes pesos, calculados pelo *software*, através de extração do autovetor da matriz de julgamentos mostrada na figura C.9, conforme demonstrado no apêndice B.

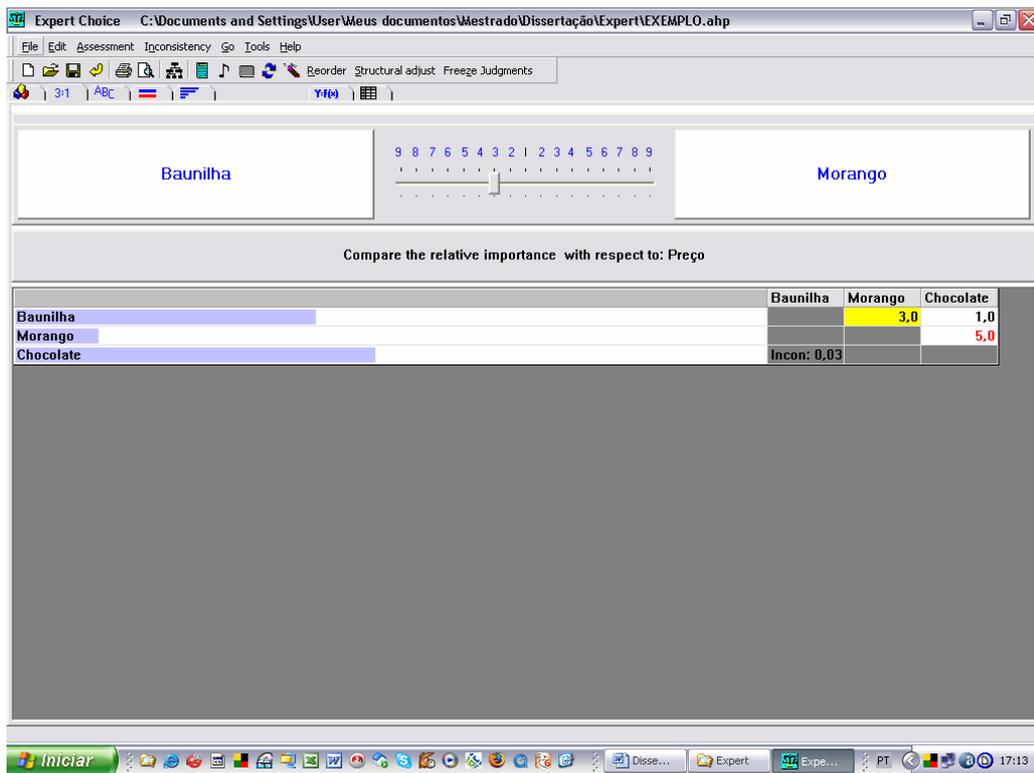


Figura C.11 – Interface do *software Expert Choice* para realizar a comparação paritária das alternativas para o critério Preço

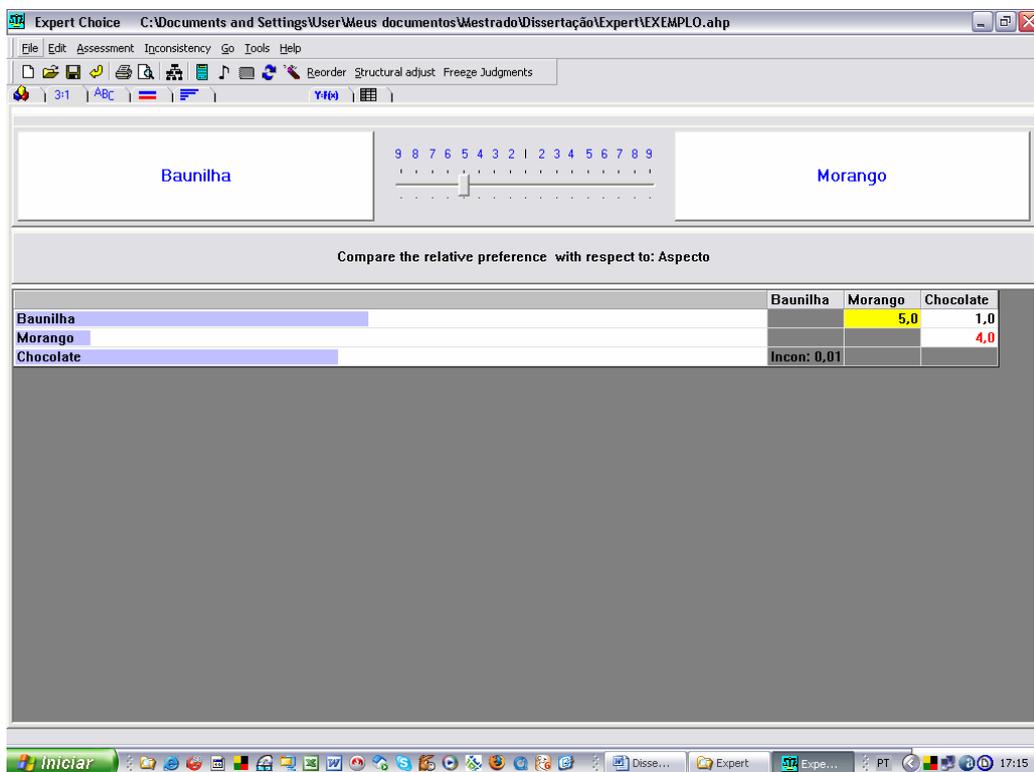


Figura C.12 – Interface do *software Expert Choice* para realizar a comparação paritária das alternativas para o critério Aspecto

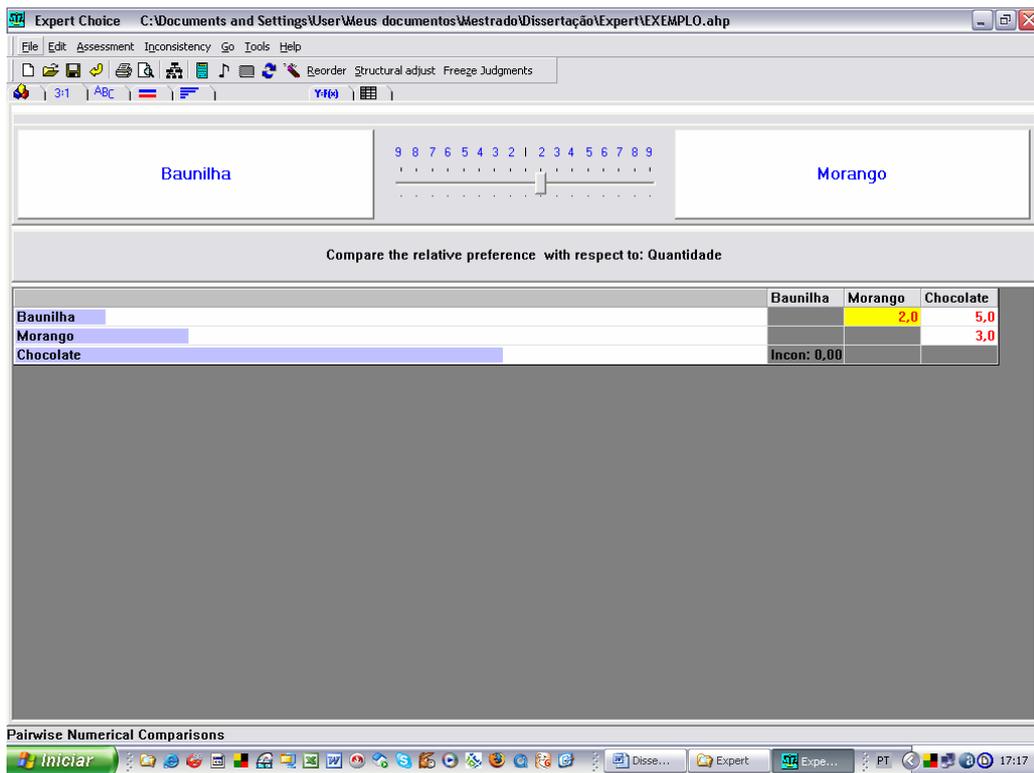


Figura C.13 – Interface do *software Expert Choice* para realizar a comparação paritária das alternativas para o critério Quantidade Disponível

O *software* realiza o cálculo do autovetor de cada uma das matrizes construídas. Cada elemento deste autovetor representa o grau de preferência de cada alternativa sob a ótica do critério em questão. Este grau de preferência pode ser observado através da seleção da aba de visualização do modelo de decisão e em seguida selecionando-se o critério para o qual se deseja verificar o desempenho das alternativas. As figuras C.14, C.15 e C.16 apresentam estas informações.

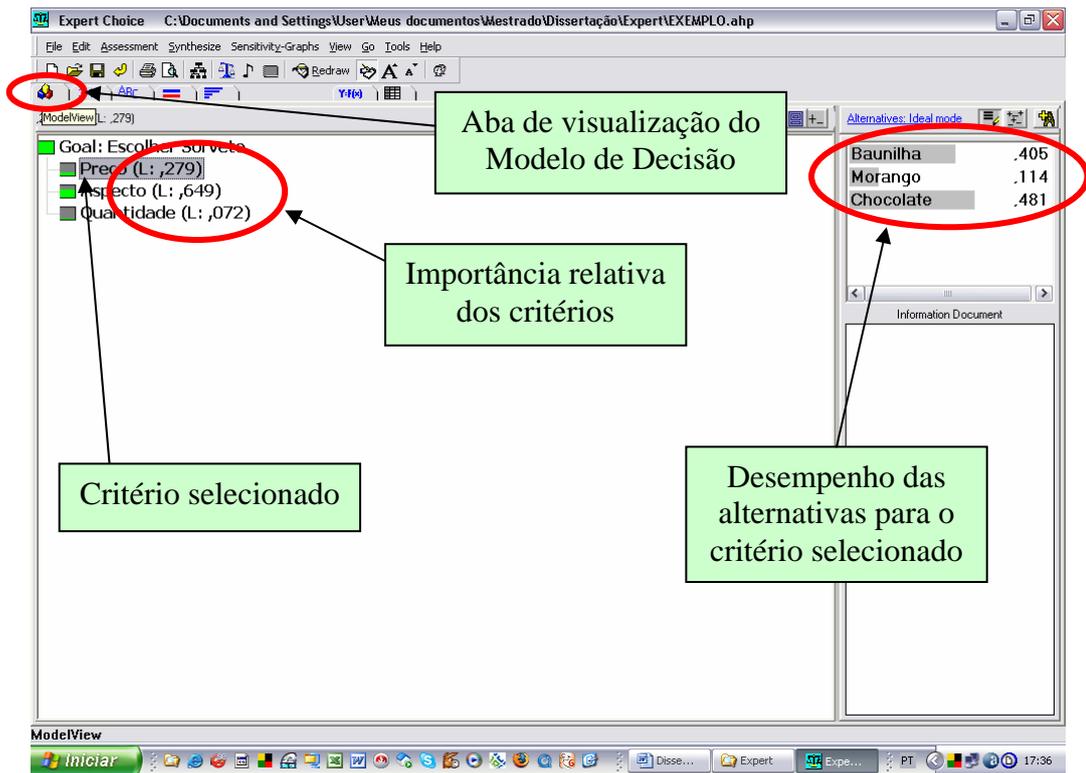


Figura C.14 – Interface do *software Expert Choice* de visualização do grau de preferência das alternativas sob a ótica do critério Preço

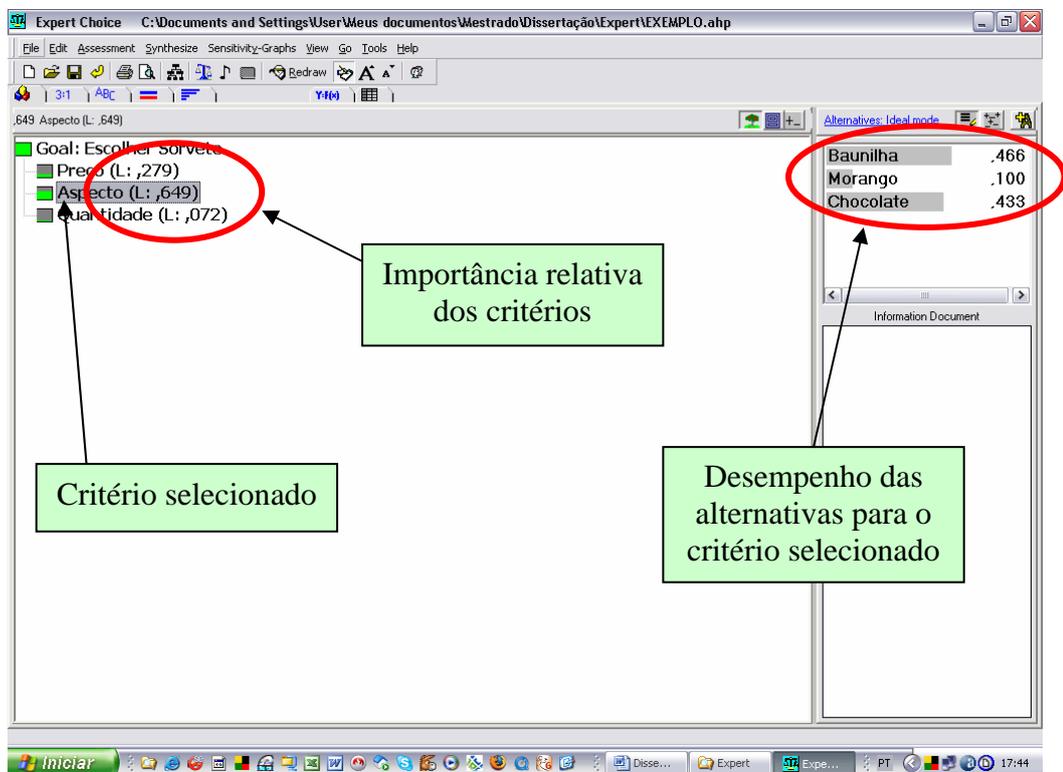


Figura C.15 – Interface do *software Expert Choice* de visualização do grau de preferência das alternativas sob a ótica do critério Aspecto

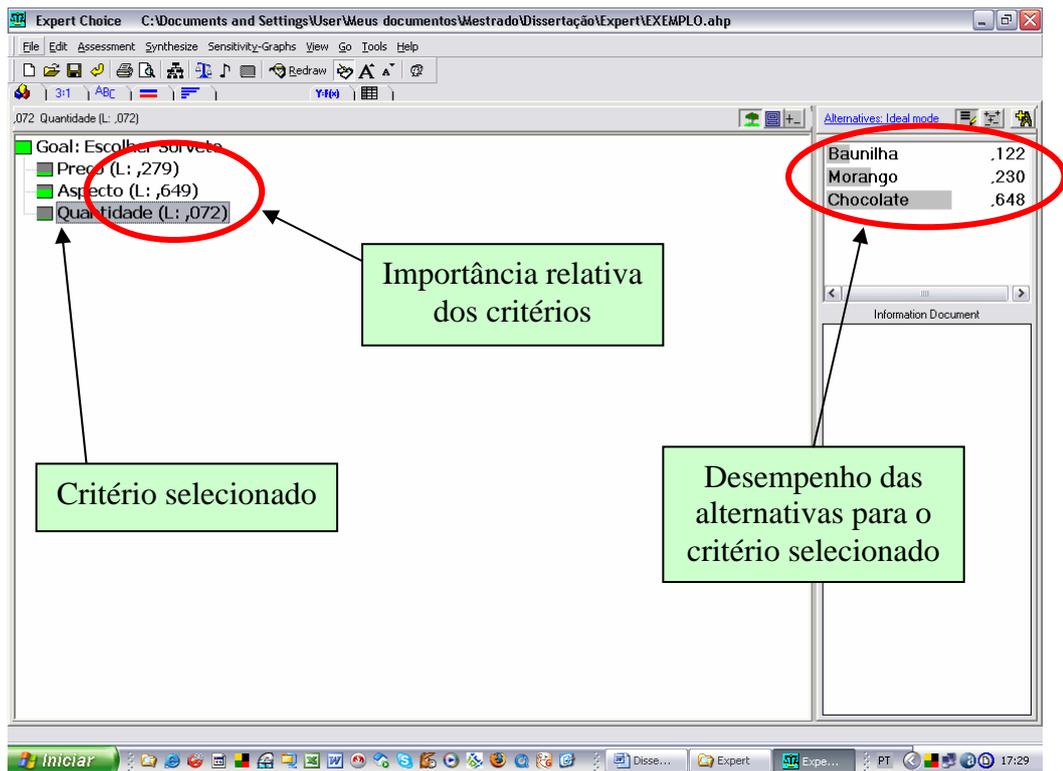


Figura C.16 – Interface do *software Expert Choice* de visualização do grau de preferência das alternativas sob a ótica do critério Quantidade Disponível

Finalmente pode-se verificar o desempenho de cada alternativa para o objetivo global da decisão. O *software* realiza a ponderação dos desempenhos de cada alternativa em cada critério com os pesos ou grau de importância relativa de cada critério através da equação 4.4. Para se observar este resultado no *software*, estando na aba de visualização do modelo de decisão, basta selecionar o objetivo da decisão que o desempenho ponderado das alternativas é mostrado como na figura C.17.

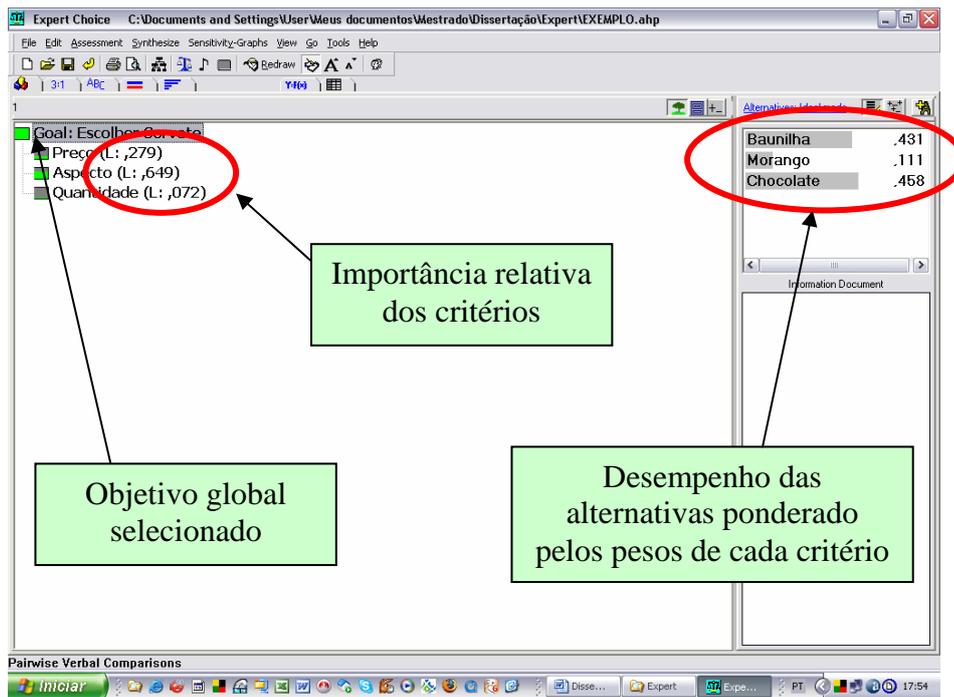


Figura C.17 – Interface do *software Expert Choice* de visualização do grau de preferência das alternativas ponderado pelos pesos de cada critério

O *software* oferece uma opção de síntese do processo realizado através do menu mostrado na figura C.18.

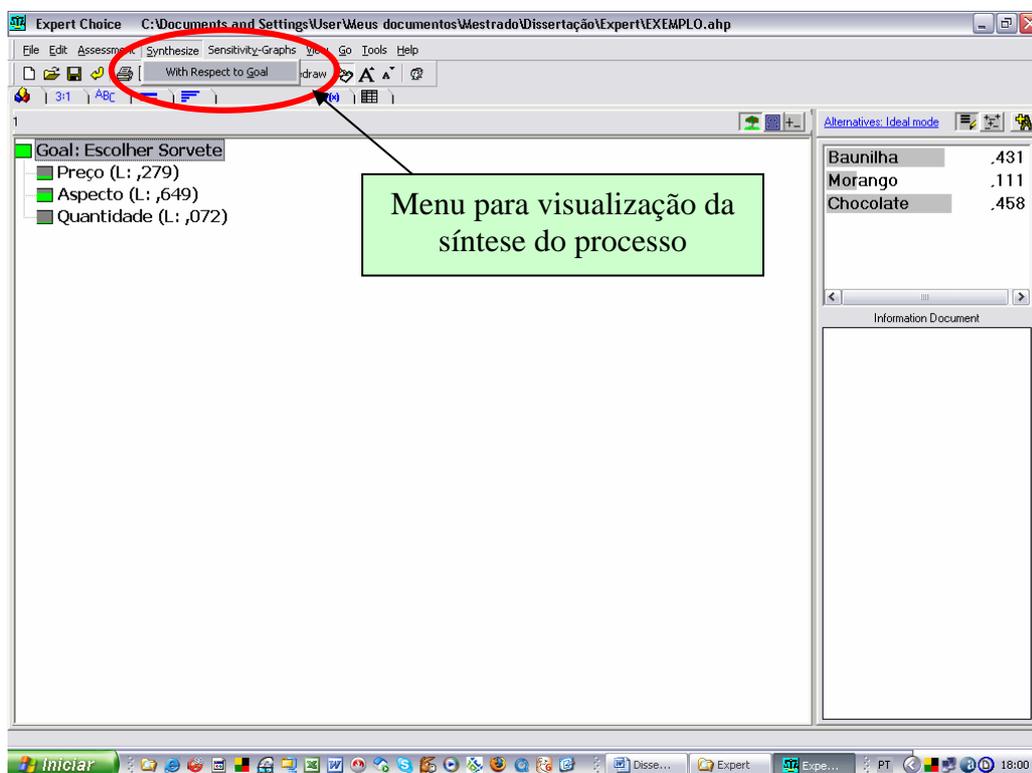


Figura C.18 – Menu do *software Expert Choice* para visualização da síntese do processo decisório utilizado

Selecionando-se esta opção, pode-se verificar graficamente ou numericamente, os resultados da avaliação realizada. A visualização gráfica do resultado desta avaliação é apresentada na figura C.19, enquanto detalhes da avaliação são mostrados na figura C.20.

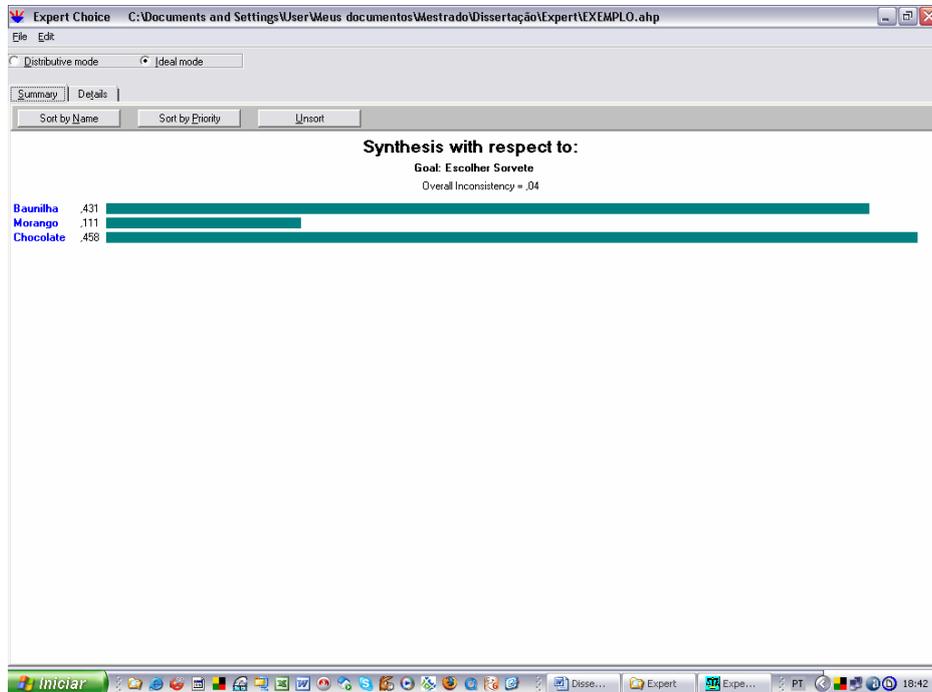


Figura C.19 – Interface do *software Expert Choice* para visualização gráfica da síntese do processo decisório utilizado

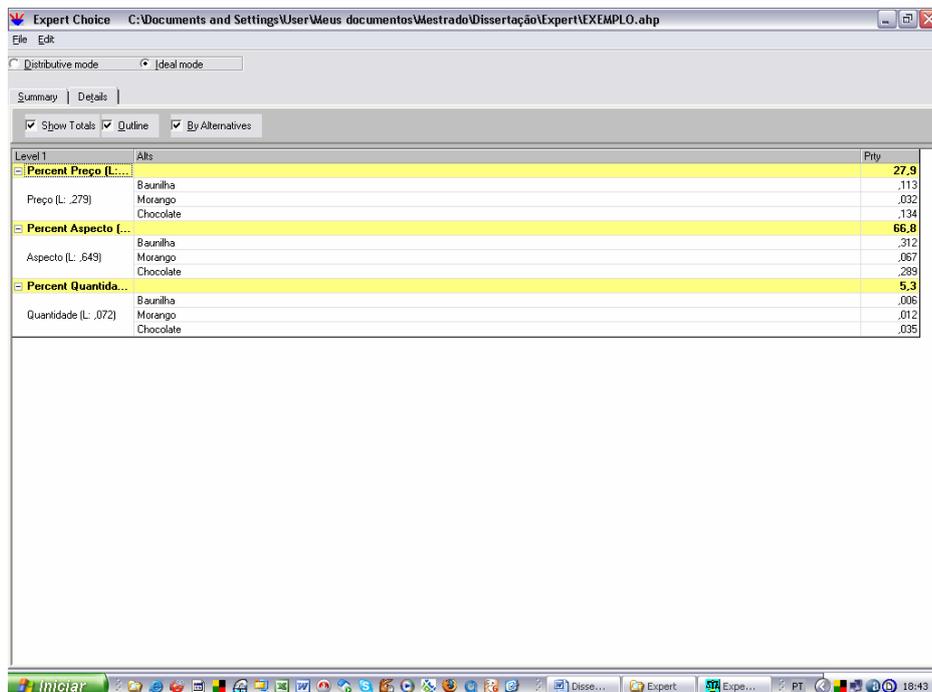


Figura C.20 – Interface do *software Expert Choice* para visualização dos detalhes da síntese do processo decisório utilizado

Neste exemplo ilustrativo e hipotético, observa-se que, após esta seqüência de passos, foi possível verificar que, a opção Sorvete de Chocolate apresenta, nos critérios considerados (Preço, Aspecto e Quantidade Disponível), desempenho superior às alternativas Sorvete de Baunilha e Sorvete de Morango, considerando os pesos atribuídos a cada critério. Logo a ferramenta permitiu a organização do problema em uma estrutura de avaliação, que possibilitou a escolha da alternativa adequada aos requisitos dos avaliadores.

D – QUESTIONÁRIO PARA DEFINIÇÃO DAS IMPORTÂNCIAS RELATIVAS DAS CARACTERÍSTICAS E SUBCARACTERÍSTICAS

Dados do Julgador:

Formação: _____

Experiência Profissional: _____ Anos

Área de atuação atual:

- Arquitetura Planejamento Projeto e Implantação
 O&M Comercial Marketing

Áreas em já teve atuação:

- Arquitetura Planejamento Projeto e Implantação
 O&M Comercial Marketing

Dados os conceitos e definições a seguir:

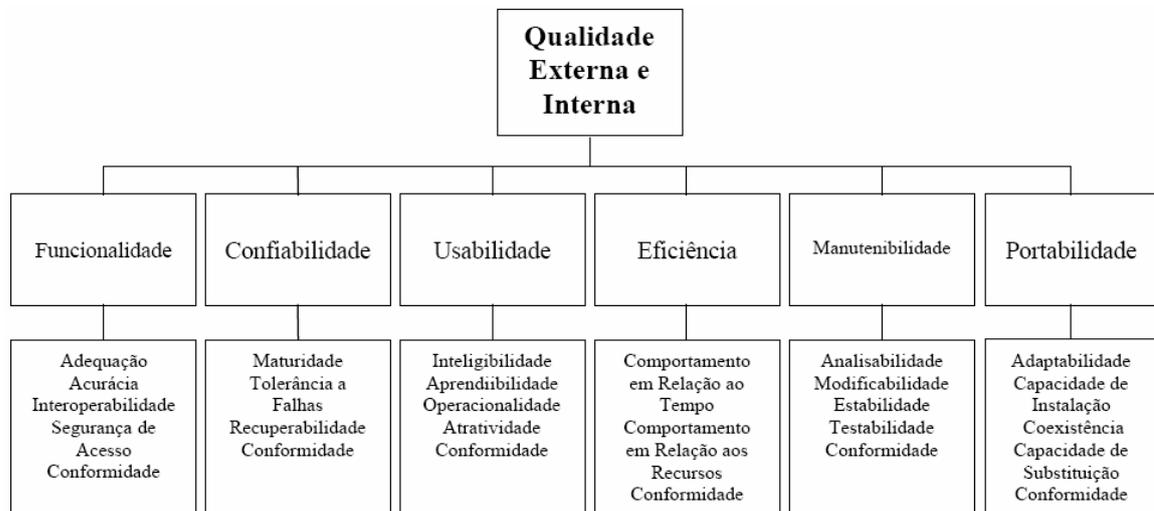


Figura D.1 – As qualidades internas e externas da ISO/IEC 9126

Fonte: adaptado de NBR ISO/IEC 9126-1 (2003)

Funcionalidade: capacidade do produto tecnológico de atender às necessidades explícitas e implícitas do usuário quando o produto de tecnologia é utilizado sob condições especificadas. Essas funções devem atender às seguintes subcaracterísticas:

- Adequação: capacidade de prover funções que propiciem ao usuário executar as tarefas específicas e alcançar os objetivos especificados;
- Acurácia: capacidade de fornecer o resultado ou efeito correto ou com o grau de precisão acordado;
- Interoperabilidade: capacidade de interagir com outros sistemas tecnológicos especificados;
- Segurança de acesso: capacidade de proteger informações e dados, permitindo acesso com segurança de pessoas ou sistemas autorizados e proibindo leitura e alteração de pessoas ou sistemas não autorizados;
- Conformidade relativa à funcionalidade: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à funcionalidade.

Confiabilidade: capacidade de manutenção do desempenho ao longo do tempo sob condições previamente estabelecidas. Apresenta as seguintes subcaracterísticas:

- Maturidade: capacidade de evitar falhas provenientes de algum defeito no produto tecnológico;
- Tolerância a Falhas: capacidade de manter um nível de desempenho estabelecido em caso de defeito;
- Recuperabilidade: capacidade de restabelecer o desempenho especificado e recuperar informações e funcionalidades diretamente afetadas após a ocorrência de falhas;
- Conformidade relativa à confiabilidade: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à confiabilidade.

Usabilidade: facilidade de uso do produto tecnológico por parte do usuário. É definida como a capacidade de entendimento, aprendizagem, utilização e atratividade do produto tecnológico para o usuário e possui as seguintes subcaracterísticas:

- Inteligibilidade: capacidade de fornecer ao usuário o entendimento dos conceitos básicos que permitam verificar como o produto tecnológico pode ser usado para tarefas especificadas se ele é adequado;

- **Aprendibilidade:** capacidade de facilitar ao usuário o aprendizado da utilização do produto tecnológico;
- **Operacionalidade:** capacidade de operacionalização e controle sobre produto tecnológico;
- **Atratividade:** capacidade de ser atraente para o usuário;
- **Conformidade relativa à usabilidade:** capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à usabilidade.

Eficiência: compatibilidade entre a quantidade de recursos utilizada e o nível de desempenho requerido pelo produto tecnológico sob condições estabelecidas. As subcaracterísticas deste conceito são:

- **Comportamento em relação ao tempo:** capacidade de fornecer taxas de transferência de informação, tempos de resposta e processamento adequados;
- **Comportamento em relação aos recursos:** capacidade de usar quantidade e tipos de recursos adequados sob condições específicas;
- **Conformidade relativa à eficiência:** capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à eficiência.

Manutenibilidade: capacidade de permitir modificações no produto tecnológico a partir das seguintes características:

- **Analisabilidade:** capacidade de diagnosticar causas de falhas e deficiências e de identificar as alterações necessárias;
- **Modificabilidade:** capacidade de permitir implementação de modificações especificadas;
- **Estabilidade:** capacidade de minimizar efeitos inesperados decorrentes de modificações;
- **Testabilidade:** capacidade de validar as modificações efetuadas antes da colocação em produção;
- **Conformidade relativa à manutenibilidade:** capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à manutenibilidade.

Portabilidade: capacidade que o produto de tecnologia tem de ser transferido de um ambiente para outro com um pequeno esforço de adaptação. As subcaracterísticas deste atributo são:

- Adaptabilidade: capacidade de adaptar o produto de tecnologia para utilização em ambientes diferentes do originalmente especificado, sem intervenção maior no sistema tecnológico;
- Capacidade de instalação: capacidade de ser instalado em um ambiente específico;
- Coexistência: capacidade de coexistir com outros produtos tecnológicos independentes em um ambiente comum, compartilhando recursos comuns;
- Capacidade de substituição: capacidade de substituir outro produto de tecnologia especificado com o mesmo propósito no mesmo ambiente;
- Conformidade relativa à portabilidade: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à portabilidade.

Considere a seguinte escala de avaliação

Tabela D.1 – Escala para avaliação da importância relativa das qualidades internas e externas da norma *ISO/IEC 9126*

1	Igualmente preferível
2	Igualmente para moderadamente preferível
3	Moderadamente preferível
4	Moderadamente para fortemente preferível
5	Fortemente preferível
6	Fortemente para muito fortemente preferível
7	Muito fortemente preferível
8	Muito fortemente para extremamente preferível
9	Extremamente preferível

Avalie as características e subcaracterísticas paritariamente, considerando um produto tecnológico de convergência fixo-móvel, conforme tabelas a seguir:

Tabela D.2 – Tabela para avaliação da importância relativa das qualidades internas e externas da norma *ISO/IEC 9126*

Característica	Grau relativo de importância das Características																		Característica
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Funcionalidade																		Confiabilidade	
Funcionalidade																		Usabilidade	
Funcionalidade																		Eficiência	
Funcionalidade																		Manutenibilidade	
Funcionalidade																		Portabilidade	
Confiabilidade																		Usabilidade	
Confiabilidade																		Eficiência	
Confiabilidade																		Manutenibilidade	
Confiabilidade																		Portabilidade	
Usabilidade																		Eficiência	
Usabilidade																		Manutenibilidade	
Usabilidade																		Portabilidade	
Eficiência																		Manutenibilidade	
Eficiência																		Portabilidade	
Manutenibilidade																		Portabilidade	

Característica	Grau relativo de importância da Subcaracterística Funcionalidade																		Característica
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Adequação																		Acurácia	
Adequação																		Interoperabilidade	
Adequação																		Segurança de acesso	
Adequação																		Conformidade rel Funcionalidade	
Acurácia																		Interoperabilidade	
Acurácia																		Segurança de acesso	
Acurácia																		Conformidade rel Funcionalidade	
Interoperabilidade																		Segurança de acesso	
Interoperabilidade																		Conformidade rel Funcionalidade	
Segurança de acesso																		Conformidade rel Funcionalidade	

Característica	Grau relativo de importância da Subcaracterística Confiabilidade																		Característica
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Maturidade																		Tolerância a falhas	
Maturidade																		Recuperabilidade	
Maturidade																		Conformidade rel Confiabilidade	
Tolerância a falhas																		Recuperabilidade	
Tolerância a falhas																		Conformidade rel Confiabilidade	
Recuperabilidade																		Conformidade rel Confiabilidade	

Característica	Grau relativo de importância da Subcaracterística Usabilidade																		Característica
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Inteligibilidade																		Aprendibilidade	
Inteligibilidade																		Operacionalidade	
Inteligibilidade																		Atratividade	
Inteligibilidade																		Conformidade rel Usabilidade	
Aprendibilidade																		Operacionalidade	
Aprendibilidade																		Atratividade	
Aprendibilidade																		Conformidade rel Usabilidade	
Operacionalidade																		Atratividade	
Operacionalidade																		Conformidade rel Usabilidade	
Atratividade																		Conformidade rel Usabilidade	

Característica	Grau relativo de importância da Subcaracterística Eficiência																	Característica
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Comportamento rel Tempo																		Comportamento rel Recursos
Comportamento rel Tempo																		Conformidade rel Eficiência
Comportamento rel Recursos																		Conformidade rel Eficiência

Característica	Grau relativo de importância da Subcaracterística Manutenibilidade																	Característica
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Analísabilidade																		Modificabilidade
Analísabilidade																		Estabilidade
Analísabilidade																		Testabilidade
Analísabilidade																		Conformidade rel Manutenibilidade
Modificabilidade																		Estabilidade
Modificabilidade																		Testabilidade
Modificabilidade																		Conformidade rel Manutenibilidade
Estabilidade																		Testabilidade
Estabilidade																		Conformidade rel Manutenibilidade
Testabilidade																		Conformidade rel Manutenibilidade

Característica	Grau relativo de importância da Subcaracterística Portabilidade																	Característica
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Adaptabilidade																		Capacidade de Instalação
Adaptabilidade																		Coexistência
Adaptabilidade																		Capacidade de Substituição
Adaptabilidade																		Conformidade rel Portabilidade
Capacidade de Instalação																		Coexistência
Capacidade de Instalação																		Capacidade de Substituição
Capacidade de Instalação																		Conformidade rel Portabilidade
Coexistência																		Capacidade de Substituição
Coexistência																		Conformidade rel Portabilidade
Capacidade de Substituição																		Conformidade rel Portabilidade