

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO

TITO ARMANDO ROSSI FILHO

**Método para análise dos riscos operacionais associados a falhas epidêmicas de
novos produtos eletrônicos:
Uma proposta utilizando redes bayesianas**

SÃO LEOPOLDO

2011

Tito Armando Rossi Filho

MÉTODO PARA ANÁLISE DOS RISCOS OPERACIONAIS ASSOCIADOS A
FALHAS EPIDÊMICAS DE NOVOS PRODUTOS ELETRÔNICOS:
Uma Proposta Utilizando Redes Bayesianas

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. José Antônio Valle Antunes Junior, Dr.

Co-orientador: Prof. Guilherme Luís Roche Vaccaro, Dr.

São Leopoldo

2011

Tito Armando Rossi Filho

MÉTODO PARA ANÁLISE DOS RISCOS OPERACIONAIS ASSOCIADOS A
FALHAS EPIDÊMICAS DE NOVOS PRODUTOS ELETRÔNICOS:

Uma Proposta Utilizando Redes Bayesianas

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Aprovado em 25 de março de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Guilherme Liberali Neto - Erasmus University, Erasmus School of Economics

Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, PPGEPS

Prof.^a Dra. Márcia Elisa Soares Echeveste – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPGEP

Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Junior (Orientador)

Visto e permitida a impressão.

São Leopoldo,

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel
Coordenador Executivo PPG em

AGRADECIMENTOS

Entre tantas pessoas que de alguma forma contribuíram com o meu trabalho, agradeço inicialmente ao meu núcleo familiar de origem. Ao meu pai, gostaria de agradecer pelos valores positivos e pelo bom exemplo, que me guiam por toda a vida. Agradeço à minha mãe, entre tantas coisas, pela sua visão crítica e pragmática. Às minhas irmãs, por terem contribuído com a minha compreensão do mundo de um modo particular.

Ao Prof. Junico, agradeço pela sua boa vontade em ser meu orientador, me proporcionando com isso oportunidades adicionais de aprendizado através de seu posicionamento claro, abrangente e acima de tudo muito inspirador. Tive o privilégio de contar, além de um orientador extraordinário, das sábias contribuições do Prof. Vaccaro, como meu co-orientador, que para mim é um excelente exemplo de dedicação e maestria na condução das atividades acadêmicas.

À UNISINOS, meu especial agradecimento pela oportunidade de ter sido aluno do PPGEPS, o que me fez crescer de maneira completa como profissional e pessoa. Agradeço muito aos colegas, professores, secretariado e direção, pela paciência, respeito e por tantos momentos agradáveis de convivência e amizade.

Aos membros da banca examinadora, por terem acrescentado visões adicionais e complementares que possibilitaram o refinamento deste trabalho.

Ao Banco *Santander*, pela filosofia de trabalho orientada à responsabilidade social e ao apoio à educação superior, o que me possibilitou, através da bolsa a mim concedida, cursar o mestrado em um período em que precisava de estímulo financeiro.

À empresa *Invensys*, que acreditou na minha capacidade e abriu as portas para a aplicação do trabalho desenvolvido na dissertação. Agradeço especialmente ao Roberto Daniel, por ter sido meu “orientador profissional”, através de seus exemplos de liderança.

Aos doze especialistas da indústria eletrônica que contribuíram em momentos diferentes dessa pesquisa, seja através das entrevistas, ou da aplicação e avaliação do método.

À minha esposa, que além da parceria e da compreensão sobre a importância de investir no conhecimento, me ajudou a re-enxergar o sentido da vida. Por último, mas não menos importante, agradeço à minha filha, que ao dizer “o pai está trabalhando”, nos seus quatro anos de idade conseguiu entender de seu jeito a minha ausência durante o período da dissertação, mas acima de tudo teve um papel decisivo no contínuo resgate dos meus

melhores sentimentos e assim me estimulado a seguir em frente, mesmo nas circunstâncias mais incertas e difíceis.

“Precisamos mudar o paradigma existente, migrando de tecnologias reativas para soluções mais integradoras

que lidem com a variedade e a complexidade das ameaças que estão por aí”.

John W. Thomson

RESUMO

A competição entre empresas e cadeias produtivas, acompanhada da crescente complexidade dos produtos e de regulações legais, tem resultado no aumento dos riscos operacionais vinculados a falhas de novos produtos. Na indústria eletrônica, especialmente no segmento de consumo, as implicações econômicas das falhas podem ser muito significativas no lucro das empresas que projetam os produtos. Isso se amplifica quando o nível de falhas é elevado, o que se denomina “falhas epidêmicas”. Todavia, a avaliação dos riscos operacionais durante o projeto de novos produtos eletrônicos ainda parece carecer de métodos que abordem as incertezas de forma integrada, considerando os riscos técnicos e gerenciais, bem como o conhecimento subjetivo dos especialistas. O presente trabalho visa contribuir com o tema, apresentando a proposta de um novo método para avaliação dos riscos operacionais associados a falhas epidêmicas em novos produtos eletrônicos. Esta proposta de método foi construída através de uma pesquisa direcionada pelo método *Design Research*, o qual possibilitou o desenvolvimento de um conjunto de artefatos encadeados através de cinco passos. O principal artefato foi construído utilizando a abordagem de Redes Bayesianas e consiste em um modelo embasado no referencial teórico e em entrevistas com seis especialistas da indústria eletrônica. A partir da delimitação da pesquisa, o modelo foi constituído de 21 construtos, os quais são relacionados entre si e englobam riscos técnicos e gerenciais associados à cadeia de suprimentos, ao processo de projeto, aos ensaios de verificação e validação e às restrições existentes durante o projeto do produto. A avaliação do desempenho do método foi realizada através de uma tentativa de aplicação em um projeto de uma empresa multinacional instalada no Brasil. Identificaram-se três conjuntos de possíveis alterações no projeto, para os quais se estimou a redução dos riscos operacionais frente a limiares previamente estabelecidos, assim como se avaliou os potenciais resultados financeiros de tais alterações ao longo do ciclo de vida do produto. Conclui-se que o método poderá agregar melhorias no processo de avaliação de riscos da empresa, especialmente pelo fato de prever a realimentação dos cálculos probabilísticos de risco através das evidências dos projetos. Esta pesquisa, além de contribuir com uma proposta de método para suportar o processo de Gestão de Riscos durante o desenvolvimento de novos produtos, indicou potenciais melhorias nos processos de tomada de decisão e gestão do conhecimento no ambiente de projetos.

Palavras-Chave: riscos operacionais. redes bayesianas. indústria eletrônica. confiabilidade.

ABSTRACT

The competition between firms and supply chains, along with the increasing product complexity and existing legal regulations, have been resulting in increased operational risks due to failures of new products. In the electronics industry, especially for the consumer goods segment, the resulting economic risks of such failures may be significant to the profit of firms that design products. This is intensified when the failure rate is high, the so-called 'epidemic failures'. Nevertheless, the assessment of operational risks during the project of new electronic products seems to lack methods to address the uncertainties in a whole integrated approach, taking into consideration the technical and managerial risks, as well as the subjective knowledge of the experts. The present work aims to contribute to the topic, presenting the proposal of a new method for assessing the operational risks associated with epidemic failure of new electronic products. This proposed method was driven by the Design Research method, which enabled the development of a set of artifacts linked through five steps. The main artifact was constructed under the Bayesian Networks approach and it is comprised of a model developed through bibliographic research and interviews with six experts of the electronics industry. Based on the research delimitations, the developed model is composed by 21 constructs, which are interrelated and consider technical and managerial risks associated with Supply Chain, with Product Design, with Verification and Validation tests and with restrictions during the project. The performance evaluation of the method was carried out by a tentative application in a project being implemented at a multinational company established in Brazil. Three sets of potential changes to the project have been identified, for which it was estimated the reduction of operational risks compared to previously established thresholds, as well as evaluated the potential financial results of such changes throughout the product lifecycle. A conclusion is that the method may enhance the firm's risk assessment process, especially due to the fact that it allows to feedback the probabilistic risk calculations by the record of project evidences. This research, besides contributing with a method proposal to support the new product risk management, indicated potential enhancements to the decision making and knowledge management in project environments.

Keywords: operational risks. bayesian networks. electronics industry. reliability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa conceitual de alguns elementos do objeto de pesquisa	19
Figura 2 – Teses e Dissertações do Brasil sobre Confiabilidade do Produto	23
Figura 3 – Artigos publicados nos anais do ENEGEP que relacionam a Confiabilidade	24
Figura 4 – Publicações sobre Redes Bayesianas na análise de dependabilidade	26
Figura 5 – Teses e dissertações no Brasil que utilizam Redes Bayesianas	26
Figura 6 – Custos de Garantia dos fabricantes de computadores	29
Figura 7 – Delimitação da pesquisa.....	33
Figura 8 – Estrutura da dissertação.....	35
Figura 9 – Diagrama de Relevância e Contribuição da pesquisa	36
Figura 10- Estrutura Analítica de Riscos (EAR).....	49
Figura 11 – Gestão de Riscos em Projetos	52
Figura 12 – Matriz de Classificação de Risco	52
Figura 13 – Fontes de Confiabilidade do Produto.....	58
Figura 14 – Diferentes noções de confiabilidade do produto.....	59
Figura 15 – A Curva da Banheira.....	61
Figura 16 – Estrutura causal típica de uma rede probabilística.....	66
Figura 17 – Processo de Aprendizado em Redes Bayesianas	68
Figura 18 – Modelo de avaliação de riscos no projeto	72
Figura 19 – Modelo TRACS	76
Figura 20 – Modelo de Confiabilidade (parte inferior).....	78
Figura 21 – Modelo de Previsão de Defeitos em <i>Software</i>	79
Figura 22 – Principais Sustentações Teóricas desta Dissertação	84
Figura 23– Modelo Cognitivo dos Processos de <i>Design</i>	88
Figura 24 – Modelo I de <i>Design Research</i>	88
Figura 25 – Modelo Referencial de <i>Design Research</i>	89
Figura 26 – Modelo II de <i>Design Research</i>	90
Figura 27 – Modelo de <i>Design Research</i> utilizado na presente pesquisa	93
Figura 28 – Fases propostas para utilização do modelo em Redes Bayesianas	102
Figura 29- <i>Design</i> Inicial do Modelo	103
Figura 30 – Modelo Inicial, revisão 1.....	104
Figura 31 – Modelo Inicial, revisão 2.....	105

Figura 32 – Modelo Inicial, revisão 3.....	106
Figura 33 – Modelo Inicial, última versão	110
Figura 34 – Mapa Conceitual das Entrevistas, Primeira Parte	114
Figura 35 – Mapa Conceitual das Entrevistas, Segunda Parte	117
Figura 36 – Modelo Sugerido.....	119
Figura 37 – Fluxograma de atividades do passo de elicitação do modelo	123
Figura 38 – IREACP considerando diferentes níveis de H e M de REACP	129
Figura 39 – Etapas do Passo 5 do Método Proposto	132
Figura 40 – Tela referencial para apresentação dos dados no SISBAAR	133
Figura 41 – Referência de tela para o registro das evidências no SISBAAR.....	134
Figura 42 – Unidade de produção de controles eletrônicos da Invensys no Brasil.....	136
Figura 43 – Tela do software Hugin Expert após a implementação do artefato SOFTRB	141
Figura 44 – Telas do <i>software</i> Hugin Expert durante o processo de adaptação.....	143
Figura 45 – Telas do <i>software</i> Hugin Expert para análise de sensibilidade dos parâmetros..	144
Figura 46 – Gráfico de sensibilidade de parâmetros do modelo	145
Figura 47 – Tela do Artefato SISBAAR (fase 1)	149
Figura 48 – Registro da Evidências e Justificativas no Artefato SISBAAR.....	151
Figura 49 – Variáveis de Utilidade no Artefato SISBAAR (fases 1 e 2).....	152
Figura 50 – Protótipo das placas eletrônicas que constituem o produto	153
Figura 51 – Variáveis de Utilidade no Artefato SISBAAR (fase 3)	154
Figura 52 – Variação da IREACP a cada alteração.....	156
Figura 53 – IREACP de cada Fase do Projeto.....	157
Figura 54 – IREACP de cada Fase do Projeto.....	159
Figura 55 – Impacto do nível de conhecimento prévio do método na avaliação realizada....	170
Figura A.1– Modelo de Gestão Integrada de Riscos	171
Figura A.2 - Detalhamento do processo de gestão de riscos	172
Figura B.1 – Função Confiabilidade	175

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Risco como uma lista de três termos	39
Quadro 2 – Elementos de entrada e saída de uma análise de riscos completa	44
Quadro 3 – Técnicas de Identificação de Perigos, Análise e Avaliação de Riscos	46
Quadro 4 – Diferenças entre as abordagens clássica e bayesiana	63
Quadro 5 – Áreas do <i>Scorecard</i> de Confiabilidade	81
Quadro 6 – Dimensões e Fontes dos Riscos de Modelos Pesquisados	83
Quadro 7 – Questionário para avaliação do método através dos especialistas.....	98
Quadro 8 – Desenvolvimento do Método correlacionando as Etapas da Pesquisa.....	99
Quadro 9 – Requisitos gerais para o método de avaliação de riscos	100
Quadro 10 – Perfil dos entrevistados.....	111
Quadro 11 – Distribuição das idéias coletadas nas entrevistas	112
Quadro 12 – Resumo dos Construtos do Modelo Sugerido	120
Quadro 13 – Artefatos do Passo de Elicitação	121
Quadro 14 – Filtro inicial das possíveis alterações das variáveis na fase 4 e 5.....	156
Quadro 15 – Potenciais Ações para Redução dos Riscos.....	158
Quadro 16– Perfil dos especialistas que participaram da avaliação do método.....	161
Quadro 17 – Avaliação do critério de Clareza e Objetividade	162
Quadro 18 – Avaliação do critério de Completeza.....	163
Quadro 19 – Avaliação do critério de Consistência	163
Quadro 20 – Avaliação do critério de Transformação	164
Quadro 21 – Avaliação do critério de Extensibilidade.....	164
Quadro 22 – Avaliação do critério de Documentação das Informações	165
Quadro 23 – Avaliação do critério de Identificação de Riscos	165
Quadro 24 – Avaliação do critério de Identificação de Riscos	166
Quadro 25 – Avaliação do critério de Tratamento de Riscos.....	166
Quadro 26 – Avaliação do critério de Tratamento de Riscos.....	167
Quadro 27 – Avaliação do Protótipo Computacional SISBAAR.....	168
Quadro 28 – Avaliação feita pelo pesquisador.....	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balança Comercial de Produtos Eletroeletrônicos no Brasil.....	28
Tabela 2 – Estudo feito em 72 empresas sobre atividades mais importantes.....	60
Tabela 3 – Resumo das avaliações com os especialistas x Nível de contato prévio	169

LISTA DE SIGLAS

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

AVI – Análise do Valor da Informação

BDA - *Block Diagram Analysis* (Análise por Diagrama de Blocos)

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CCA - *Cause and Consequences Analysis* (Análise de Causas e Consequências)

COSO - *Committee of Sponsoring Organizations* (Comitê de Organizações Patrocinadoras)

DFR – *Design for Reliability* (Projeto orientado à Confiabilidade)

EAR - Estrutura Analítica de Riscos

ENEGEP – Encontro Nacional da Engenharia de Produção

EOQC – *European Organization for Quality Control* (Organização Européia de Controle da Qualidade)

ETA – *Event Tree Analysis* (Análise de Árvores de Eventos)

FAA – *Federal Aviation Administration* (Administração Federal de Aviação)

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise de Modos de Falha e seus Efeitos)

FMECA – *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (Análise de Modos de Falha, seus Efeitos e Criticalidade)

FTA – *Fault Tree Analysis* (Análise de Árvore de Falhas)

HAZOP - *Hazard and Operability Studies* (Estudo de Perigos e Operabilidade)

MORT - *Management Oversight and Risk Tree* (Gerenciamento Vigilante e Árvore de Risco)

PDP – *Product Development Process* (Processo de Desenvolvimento de Produto)

PPGEP – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

PHA - *Preliminar Hazard Analysis* (Análise Preliminar de Perigos)

PMI – *Project Management Institute* (Instituto de Gestão de Projetos)

RB - Redes Bayesianas

TPN- Tabela de Probabilidade dos Nós

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNICAMP – Universidade de Campinas

UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O OBJETO DE PESQUISA	15
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA	21
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA	31
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA	31
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	32
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	34
2 REFERENCIAL TEÓRICO	36
2.1 RISCOS E INCERTEZAS NO PROJETO DE NOVOS PRODUTOS	37
2.1.1 Definições de Risco e Incerteza.....	37
2.1.2 Econometria Aplicada à Avaliação dos Riscos	39
2.1.3 Gestão de Riscos	41
2.1.4 Técnicas de Identificação de Perigos, Análise e Avaliação de Riscos	45
2.1.5 Gestão de Riscos no Projeto de Novos Produtos.....	48
2.2 TEORIA DA CONFIABILIDADE	53
2.2.1 Conceitos Básicos Relacionados à Confiabilidade.....	54
2.2.2 Risco e Valor Associados à Confiabilidade do Produto	56
2.2.3 Fontes de Confiabilidade do Produto	58
2.2.4 A Natureza e o Comportamento das Falhas	60
2.3 ABORDAGEM BAYESIANA	62
2.3.1 Redes Bayesianas	64
2.3.2 Construção de Redes Bayesianas	64
2.3.3 Aplicação e Análise de Redes Bayesianas.....	68
2.3.3.1 Aprendizado em Redes Bayesianas	68
2.3.3.2 Inferência em Redes Bayesianas	69
2.3.3.3 Técnicas de Análise utilizando Redes Bayesianas	70
2.3.3.4 Softwares para Redes Bayesianas	71
2.4 MODELOS REFERENCIAIS	72
2.4.1 Modelo para Avaliação dos Riscos do Projeto.....	72
2.4.2 Modelo TRACS.....	74
2.4.3 Modelo de Confiabilidade.....	76

2.4.4 Modelo de Previsão de Defeitos de Software	78
2.4.5 Scorecard para Avaliação de Programas de Confiabilidade da AMSAA	80
2.4.6 Comparativo entre os Modelos Referenciais.....	83
3 MÉTODO DE PESQUISA	85
3.1 METODOLOGIA <i>DESIGN RESEARCH</i>	85
3.1.1 Justificativa para Utilização do Método.....	86
3.1.2 Modelos de <i>Design Research</i>	87
3.1.3 Escolha e Desenvolvimento do Modelo de <i>Design Research</i>	91
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	93
3.2.1 Conscientização do problema	94
3.2.2 Esclarecimento da Pesquisa.....	95
3.2.3 Sugestão	95
3.2.4 Desenvolvimento	97
3.2.5 Avaliação	97
3.2.6 Conclusão	99
4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS.....	100
4.1 <i>DESIGN</i> INICIAL DO MÉTODO	101
4.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO EM REDES BAYESIANAS.....	103
4.2.1 Desenvolvimento do Modelo Inicial.....	104
4.2.2 Desenvolvimento do Modelo Sugerido.....	111
4.3 DESENVOLVIMENTO COMPLETO DOS ARTEFATOS	121
4.3.1 Planejamento da Implementação do Método na empresa	122
4.3.2 Elicitação dos parâmetros numéricos do modelo	123
4.3.2.1 Preparação da Equipe de Especialistas.....	123
4.3.2.2 Elicitação de cada TPN pelos Especialistas	124
4.3.2.3 Definição do Software e Implementação da RB	126
4.3.2.4 Implementação das TPNs no Software.....	127
4.3.2.5 Adaptação das TPNs por Lote	127
4.3.2.6 Análises de Sensibilidade	127
4.3.2.7 Gravar a RB Inicial.....	127
4.3.3 Preparação da Aplicação do Método em Projetos.....	128
4.3.4 Coleta de evidências para cada projeto específico.....	129
4.3.5 Avaliação dos Riscos utilizando o Modelo Elicitado	130
4.3.5.1 Atividades do Passo de Avaliação de Riscos	131

4.3.5.2 Artefato SISBAAR	133
5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....	136
5.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	136
5.2 CONTEXTO DE GESTÃO DE RISCOS NA EMPRESA.....	138
5.3 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	140
5.3.1 Planejamento.....	140
5.3.2 Elicitação	141
5.3.3 Preparação	147
5.3.4 Coleta e Avaliação do Riscos	148
5.3.4.1 Coleta e Avaliação de Riscos na Fase 1	149
5.3.4.2 Coleta e Avaliação de Riscos na Fase 2	150
5.3.4.3 Coleta e Avaliação de Riscos na Fase 3	153
5.3.4.4 Coleta e Avaliação de Riscos nas Fases 4 e 5	155
6. AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	162
6.1 AVALIAÇÃO REALIZADA POR ESPECIALISTAS	162
6.2 AVALIAÇÃO REALIZADA PELO PESQUISADOR.....	172
7 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	176
7.1 CONCLUSÕES	179
7.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	179
7.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	179
REFERÊNCIAS	181
APÊNDICE A – MODELOS DE GESTÃO DE RISCOS	192
APÊNDICE B – FUNÇÕES E ENSAIOS DE CONFIABILIDADE	196
APÊNDICE C – ITENS DO SCORECARD E PRINCIPAIS CONSTRUTOS.....	203
APÊNDICE D – RESUMO DO MODELO.....	203
APÊNDICE E – FLUXOGRAMA DO MÉTODO PROPOSTO	205
APÊNDICE F – DETALHAMENTO DO ARTEFATO DEFCON.....	206
APÊNDICE G – ARTEFATO PLANTPN	216
APÊNDICE H – ARTEFATO PLANHIST	217
APÊNDICE I – DESCRIÇÃO DO ARTEFATO SISBAAR.....	219
APÊNDICE J – CRONOGRAMA DE INSTANCIAÇÃO	222
APÊNDICE K – TPNS DA INSTANCIAÇÃO DO MÉTODO.....	223

1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação trata de uma problemática crescente e relevante, observada nas empresas industriais: o risco de virem a ter perdas financeiras significativas devido a falhas em novos produtos por elas projetados. Neste capítulo são feitas algumas considerações iniciais sobre o objetivo de pesquisa, descrevendo alguns dos desafios enfrentados pelas empresas, e mais especificamente as da área da eletrônica. Além disso, são apresentadas a justificativa e relevância da pesquisa, seus objetivos, a sua delimitação e a forma como está estruturada nos demais capítulos.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O OBJETO DE PESQUISA

No atual ambiente de negócios caracterizado pelo acirramento da competição entre empresas e cadeias produtivas, as empresas de uma maneira geral se veem impelidas a buscar cada vez mais a sustentabilidade econômica através da adoção de várias metodologias, técnicas e modelos de gestão do negócio, além do conhecimento, da intuição, da criatividade e da experiência dos profissionais que nela atuam. Porém, dentro da lógica de mercado das empresas industriais, a demanda pelo lançamento de produtos inovadores, com funcionalidades no “estado da arte” e altos níveis de qualidade a preços competitivos (SMITH; REINERTSEN, 1998), tem resultado, de uma forma geral, num aumento da complexidade dos requisitos técnicos dos produtos e das operações, que por sua vez resultam no aumento das incertezas.

Vários autores têm relacionado o aumento da complexidade com o aumento do nível de incertezas e riscos, como Hughes-Cromwick (2009), Engelhardt-Nowitzki e Zsifkovits (2006), McKenna (2001) e Somerville e Mroz (1997). Enfocando o contexto dos riscos associados a falhas do produto, Murthy e Blischke (2005) afirmam que os mercados para todos os tipos de produtos, sejam de consumo durável, industriais ou de produtos comerciais, são caracterizados pelo seguinte:

- a) velozmente, novos produtos estão sendo lançados e os produtos já existentes cada vez mais rapidamente estão sendo considerados obsoletos;
- b) os produtos estão se tornando mais complexos, devido ao aumento de suas capacidades e/ou desempenho em relação aos produtos que estão sendo substituídos;
- c) está aumentando a demanda dos clientes em relação ao desempenho dos produtos;

- d) os governos estão criando leis mais exigentes para proteger os clientes em relação a produtos que não cumprem os padrões explícitos ou mesmo implícitos de desempenho;
- e) os mercados estão se tornando mais globais e competitivos.

Esse contexto de aumento da complexidade, incertezas e riscos para os produtos, de uma maneira geral, é ainda mais significativo na indústria eletrônica. Uma das particularidades a que a indústria eletrônica está submetida, principalmente no segmento de consumo, é o curto ciclo de vida, tanto dos produtos em si, quanto dos componentes eletrônicos utilizados no produto. O rápido crescimento da indústria eletrônica tem estimulado mudanças expressivas nos componentes eletrônicos, e conseqüentemente, muitos deles possuem ciclo de vida significativamente menor que o ciclo de vida dos produtos (SOLOMON; SANDBORN; PECHT, 2000).

Entre outras implicações da redução do ciclo de vida dos componentes, uma delas é o fato de que várias notificações de alteração de componentes eletrônicos¹ são emitidas anualmente pelos fabricantes. Baca (2007) relatou que em 2006, por exemplo, mais de 34 mil notificações de alteração foram emitidas para componentes em todo o mundo. O mesmo autor estimou que 18% de todos componentes eletrônicos terão alguma notificação de alteração emitida todos os anos. A maior parte dessas alterações não resultará num aumento de riscos, porém todas elas precisam ser avaliadas (SANDBORN; PRABHAKAR; ERIKSSON, 2008). Outro possível impacto da redução do ciclo de vida é o aumento do nível de obsolescência (FELDMAN; SANDBORN, 2007), o que gera uma demanda contínua de projetos² de novos produtos para serem lançados no mercado.

No Brasil, além das manufaturas de produtos eletrônicos terem que contar com uma grande maioria de fornecedores localizados na Ásia, as flutuações de demanda de forma geral são elevadas, e amplificadas ainda mais pelo fato de essas empresas atenderem principalmente ao mercado local. Dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) indicam que, em 2009, a participação da exportação das indústrias eletrônicas brasileiras foi de apenas 12,8%, e vem caindo ano a ano (ABINEE, 2010). Soma-se a isso o fato de que as empresas brasileiras têm mostrado pouca capacidade para lidar com a

¹ As notificações de alteração de componentes são documentos emitidos pelos fabricantes e enviados para todos os seus clientes, informando sobre modificações previstas no processo produtivo, em matérias-primas ou local de produção.

² Quando não associado a outro termo, nesta dissertação o vocábulo “projeto” representa as atividades necessárias para o desenvolvimento de novos produtos.

variabilidade do mercado e do fornecimento. Um dos efeitos que se observa nessa indústria, por exemplo, é a necessidade de utilização de componentes alternativos, por dificuldades de suprimento dos componentes homologados, o que pode aumentar substancialmente o risco operacional devido a falhas nos produtos.

As características do contexto de negócios descritas até aqui ressaltam apenas uma faceta dos riscos: a probabilidade de ocorrer falhas nos produtos. Todavia, conforme Zio (2007), o risco também precisa ser associado às consequências dos danos, ou seja, aos efeitos das falhas. Por exemplo, mesmo que seja alta a probabilidade de que aparelhos celulares venham a ter falhas no funcionamento, o risco operacional do fabricante pode não ser elevado, caso o impacto dessa falha não seja significativo. No entanto, se, por exemplo, ocorrerem falhas que resultem na explosão da bateria do celular, isso pode resultar em danos físicos aos usuários e dessa forma os riscos operacionais tornam-se significativos.

Em relação às consequências das falhas nos produtos eletrônicos, a presente pesquisa está focada na avaliação de riscos associados às chamadas falhas epidêmicas, tendo em vista seu potencial efeito negativo destas na economia das empresas. Falhas epidêmicas são aquelas cujo nível de ocorrência é muito superior ao considerado esperado para um determinado produto, normalmente possuindo uma única causa específica, além de um impacto negativo no desempenho do produto, como a parada total de seu funcionamento. Além das implicações óbvias de uma taxa de falhas elevada, como altos custos de garantia³, as falhas epidêmicas também podem resultar em um *recall*, na perda dos clientes, ou mesmo em uma responsabilização legal⁴. Esses efeitos, por sua vez, podem resultar em severas reduções nos lucros e na competitividade das empresas.

Durante o projeto de novos produtos, os riscos podem ser classificados em técnicos e gerenciais (GRUBISIC, 2009). Os riscos técnicos contemplam principalmente os riscos associados às atividades realizadas durante o processo de projeto⁵, mas também consideram outras atividades do projeto do produto, tais como: a definição de parâmetros de ensaios de

³ A empresa Dell, por exemplo, anunciou que em 2005 teve 300 milhões de dólares em custos para com computadores montados com capacitores eletrolíticos defeituosos. A estimativa atual é que a Dell tenha vendido pelo menos 11,8 milhões de computadores entre 2003 e 2005 com o risco de falhas devido a esses componentes (VANCE, 2010).

⁴ Um exemplo de responsabilização legal ocorreu com a empresa Toshiba, a qual foi processada em 1999 por vender *laptops* defeituosos. Mais de cinco milhões de *laptops* teriam sido fabricados com a falha em um *chip*. Os processos alegavam que a Toshiba sabia do problema desde a década de 1980, mas falhou em corrigi-lo e notificar os clientes. Finalmente a Toshiba concordou em arcar com 2,1 bilhões de dólares para evitar que o caso fosse a julgamento (PAZTOR; LANDERS; *apud* TIKU, 2005).

⁵ O termo processo de projeto, utilizado na presente dissertação, refere-se ao termo *design* em inglês, quando significa ser o processo de transformação de informações técnicas necessárias na definição do produto.

validação e a avaliação da qualidade dos fornecedores. Já os chamados gerenciais são oriundos de alguns elementos mais específicos do projeto, tais como: custo, tempo, comunicação e escopo, ou seja, as variáveis gerenciais do projeto. Pode-se dizer que ambos os riscos (técnicos e gerenciais) podem impactar tanto na probabilidade de ocorrência de falhas quanto na consequência das falhas. Outro aspecto descrito por Grubisic (2009) é que os riscos técnicos podem impactar nos riscos gerenciais e vice-versa.

Em resumo, o contexto de negócios impacta nos riscos técnicos e gerenciais, os quais afetam o projeto de novos produtos eletrônicos, o que pode gerar falhas epidêmicas. As falhas epidêmicas podem resultar em perdas operacionais devido a custos adicionais, tanto por reclamações de garantia quanto pela responsabilização legal da empresa, o que impacta nos lucros da mesma. Além disso, as reclamações em garantia, também devido a falhas epidêmicas, reduzem a satisfação dos clientes, o que, por sua vez, impacta na competitividade da empresa, pois sua reputação acaba sendo afetada. O mapa conceitual⁶ ilustrado na Figura 1 ajuda a sintetizar os principais elementos do objeto de pesquisa descritos até aqui, assim como as principais relações entre eles.

Ao discutir estratégias para lidar com os riscos associados aos produtos, Chen *et al.* (2007) destacam a necessidade de que esses sejam analisados de forma completa e sistemática. Considerando também o fato de que o ambiente de negócios tem, de uma maneira geral, resultado no aumento dos riscos nos projetos, a gestão de riscos tornou-se um elemento muito importante da gestão de projetos. Segundo Carbone *et al.* (2004), pelo fato de as falhas na execução do processo de gestão de riscos poderem causar muitos efeitos indesejáveis, esse tema tem tido cada vez mais importância para o sucesso na gestão dos negócios.

Ao mesmo tempo em que a gestão de riscos em projetos tem tido maior relevância, segundo Segismundo e Miguel (2008, p.45), “[...] apesar de vários estudos sobre a gestão de riscos em novos produtos, muitos autores indicam que as pesquisas nessa área precisam evoluir [...]”. Além de corroborar esta conclusão, Khodakarami (2009, p.11) sugere o motivo para tal necessidade ao dizer que “embora vários autores já tenham proposto uma grande quantidade de processos e técnicas, e a gestão de riscos em projetos tenha evoluído rapidamente, o manejo da incerteza⁷ em projetos ainda é um desafio”.

⁶ O mapa conceitual é uma ferramenta de representação do conhecimento (NOVAK, 1998). Nele as relações entre os conceitos de um determinado tema são identificadas através de setas, as quais são rotuladas com palavras-chave que explicam a relação entre os conceitos.

⁷ Posteriormente, na construção do referencial teórico (Capítulo 2), serão relacionados os conceitos de incerteza e o de riscos.

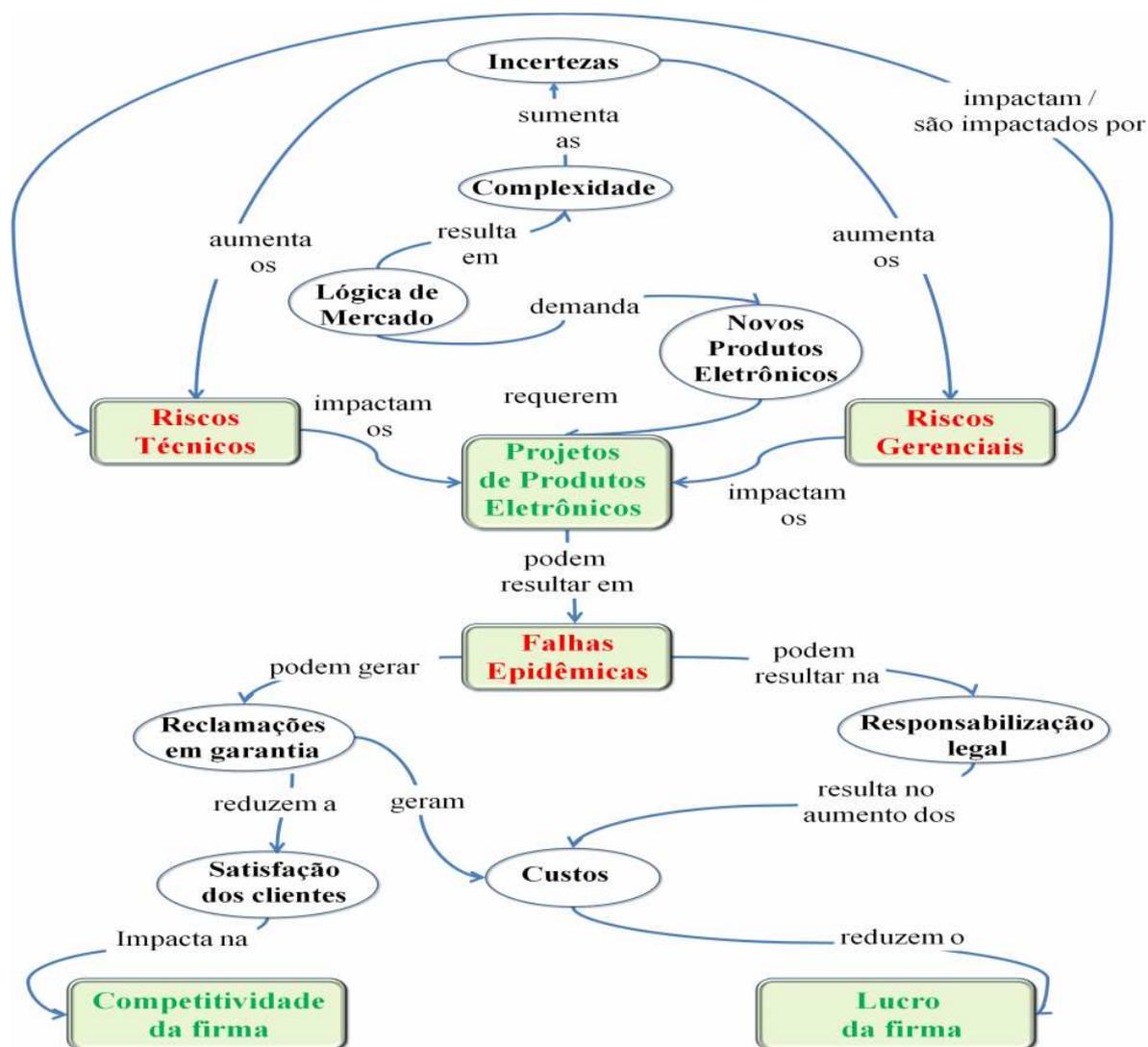


Figura 1 – Mapa conceitual de alguns elementos do objeto de pesquisa
 Fonte: Elaborada pelo autor.

Um componente central na gestão de riscos é a análise de riscos. O objetivo da análise de riscos, conforme define Khodakarami (2009), é a medição dos riscos e seus impactos em diferentes parâmetros do projeto, como, por exemplo, duração, custos e qualidade. Zio (2007) descreve nesse contexto de análise de riscos que a necessidade de *expertise* para lidar com temas multidisciplinares e complicados tem permeado aos poucos todas as aplicações de engenharia. Nesse sentido, cabe destacar que a análise de riscos e a gestão têm ganhado um papel relevante, tanto como ferramentas para dar suporte ao projeto e às operações, quanto como meios indispensáveis para o planejamento de emergência em situações de acidente.

Para a análise de riscos técnicos associados às falhas dos produtos, uma disciplina fundamental a ser utilizada de forma sistemática é a Confiabilidade. A Confiabilidade, representando um atributo do produto, pode ser definida como a habilidade de um produto

funcionar em certas condições e por um determinado período de tempo sem exceder um determinado nível de falhas aceitável (IPC-SM-785, *apud* HNATEK, 2003). Ao enfatizar a importância da Engenharia de Confiabilidade, Salgado (2008) afirma que a aplicação de seus conceitos e técnicas é essencial ao processo de projeto à obtenção de menores riscos. Já Simões Filho (2006) afirma que as técnicas de análise de riscos e confiabilidade têm-se mostrado poderoso instrumento para a tomada de decisões gerenciais. Murthy e Blischke (2006), Magniez (2007) e Barnard (2008) ressaltam que a confiabilidade de um produto é determinada principalmente através das decisões tomadas durante as fases de projeto do produto. Troness (1991) *apud* Vaccaro (1997) acrescenta que os maiores benefícios das análises de Confiabilidade são incorporados nas fases iniciais do projeto.

Segundo Tiku (2005), uma vez que a Confiabilidade pode ser relacionada com a prevenção ou minimização da probabilidade de ocorrência de falhas do produto, pode-se dizer que a Confiabilidade é um fator de risco associado à obtenção de lucro. Ao mesmo tempo, os riscos técnicos e gerenciais estão relacionados com a potencial perda do lucro das empresas, conforme descrito anteriormente. Portanto, a quantificação do impacto dos riscos técnicos e gerenciais na Confiabilidade do produto possui um forte viés econômico, o que torna a questão relevante do ponto de vista da sustentabilidade das empresas.

Além de ações que possam vir a minimizar os riscos técnicos e gerenciais associados à Confiabilidade do produto, Murthy e Blischke (2006) ressaltam que as implicações das falhas dos produtos em campo podem ser abreviadas através de acordos de garantia estabelecidos entre os fabricantes e compradores. Nesse sentido, torna-se fundamental considerar questões relacionadas à gestão da garantia no contexto da gestão de riscos associados ao desempenho dos produtos. Para o entendimento dessa questão, uma das teorias relacionadas à garantia é a chamada “teoria do investimento” (PRIEST, 1981), na qual o comprador enxerga a garantia como um investimento que reduz o risco dos custos devidos a falhas prematuras nos produtos. A garantia, dessa forma, pode ser vista como uma espécie de seguro para o comprador, resultando em uma cobertura para os custos de reparo ou substituição de produtos durante o período estabelecido. Além do comprador, a garantia também pode ser vista como uma proteção ao fabricante, pois pode vir a protegê-lo em determinadas situações na qual o comprador faz uso indevido do produto.

Considerando o contexto do crescente nível de incertezas e os consequentes riscos no qual a indústria eletrônica está inserida, faz-se necessário utilizar métodos e ferramentas que lidem de forma adequada com essas incertezas. Porém, em vários casos, a utilização apenas dos métodos e ferramentas mais clássicas da Confiabilidade, assim como de ferramentas de

análise de riscos em projeto, tem se mostrado insuficiente para lidar com a complexidade desse objeto de pesquisa. Além disso, embora seja usualmente aceita a ideia de que muitos fatores subjetivos, tais como a reputação dos fornecedores e a experiência da equipe de projeto contribuam para a confiabilidade do produto, os modelos clássicos de avaliação da confiabilidade ignoram as informações de caráter subjetivo (NEIL *et al*, 2001).

Conforme citam Venter e Van Waveren (2009), as Redes Bayesianas (RB) são utilizadas para modelar domínios contendo algum tipo de incerteza. Ferreira e Ogliari (2005), em seu trabalho relacionado ao projeto de produtos, concluem que as Redes Bayesianas consistem em uma ferramenta importante para a análise quantitativa dos riscos, fornecendo uma base mais detalhada e precisa para a tomada de decisão. Ao lidar com a incerteza, um aspecto das RB que merece destaque é explicado por Moura e Droguett (2005, p.1561, grifo do autor):

No paradigma Bayesiano para avaliação da confiabilidade, é possível o uso de fontes alternativas de falha. Dentre essas fontes alternativas, estão as **Opiniões de Especialistas**, onde é possível que o conhecimento de um indivíduo inteirado com o objeto de análise seja externalizado através de uma distribuição de probabilidade.

Dessa forma, além do paradigma das RB já ter sido comprovado como sendo uma poderosa ferramenta de raciocínio diante de incertezas (FENTON; NEIL, 2001), um dos aspectos do paradigma das Redes Bayesianas que o levaram a ser escolhido como uma parte importante do referencial teórico da presente dissertação é o fato de que ele permite integrar dados e informações relacionadas às variáveis técnicas e gerenciais.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A seguir, a relevância da pesquisa será justificada a partir de três dimensões: acadêmica, para a indústria e para a sociedade.

Para compreender e confirmar a relevância da pesquisa para a Academia foi importante realizar uma pesquisa bibliométrica, além de identificar trabalhos anteriores que o fizeram. A pesquisa bibliométrica permite mapear e analisar as áreas de pesquisa sobre um determinado tema, assim como o perfil dos autores (MORETTI; CAMPANÁRIO, 2008). Uma referência quanto ao volume, à natureza e à origem das pesquisas acadêmicas pode ser obtida através da pesquisa em bibliotecas virtuais.

A pesquisa realizada no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) abrangeu os anos de 1987 (primeiro ano disponível) a

2009, nas categorias de teses, dissertações e dissertações profissionalizantes. A primeira busca foi realizada utilizando as palavras-chave “confiabilidade” e “produto” no campo de assunto, de onde se obteve um total de 577 teses e dissertações no período. Para filtrar os trabalhos de fato relacionados à confiabilidade do produto, inicialmente foram avaliados os títulos dos trabalhos e, após, existindo alguma dúvida sobre o conteúdo dos mesmos, foi lido o resumo de cada um deles. Concluiu-se que apenas 72 teses e dissertações foram desenvolvidas no tema confiabilidade do produto. Considerando o total de 458.657 resumos de teses e dissertações arquivadas no portal (COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR, 2010), isso corresponde a cerca de 0,016% de todas as teses e dissertações do período.

Embora a quantidade total de teses e dissertações sobre o tema confiabilidade do produto não seja significativa, é notório o aumento da ocorrência do tema. Enquanto a média de trabalhos na década de 1990 foi de apenas 1,3 por ano, na década de 2000 aumentou para 5,9 trabalhos por ano. Essa tendência de aumento fica ainda mais evidente ao observar a média de 7,4 teses e dissertações por ano na segunda metade da década 2000.

Em relação ao enfoque dado nos trabalhos, 25% deles tratam da modelagem dos dados de campo do produto. Essa maior ocorrência se explica ao observar a origem desses trabalhos: das 18 teses e dissertações, metade delas foi originária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ou seja, esse maior volume está provavelmente associado a uma ou mais linhas de pesquisa do PPGEP/UFRGS. A segunda maior ocorrência identificada em relação ao enfoque do trabalho foi a proposta de um método ou metodologia (19,4%), sendo que seis deles (42,8%) são originários da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sendo metade originários da pós-graduação em Engenharia Mecânica e metade da Engenharia de Produção. Considerando todos os trabalhos, em torno de 92% são oriundos de universidades públicas e apenas 8% de universidades particulares. As Universidades com maior volume de trabalhos são a UFRGS e UFSC (16 cada uma), Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade de Campinas (UNICAMP). Somadas, correspondem a 65% de todas as teses e dissertações sobre confiabilidade do produto existentes no banco de dados da CAPES.

A Figura 2 mostra a distribuição das 72 teses e dissertações relacionadas à confiabilidade do produto, indicando qual o enfoque dado pelos autores, qual a ocorrência por Universidade e a distribuição por curso.

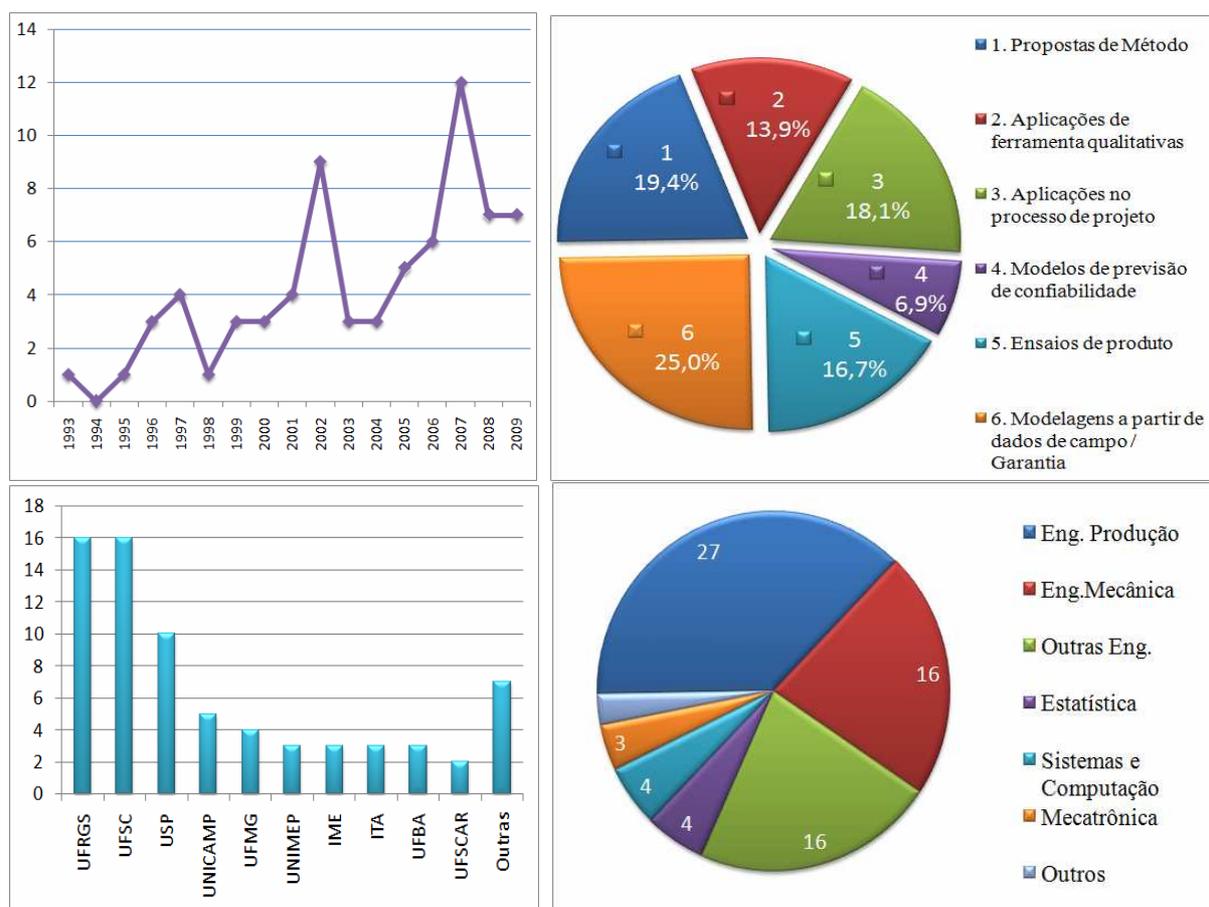


Figura 2 – Teses e Dissertações do Brasil sobre Confiabilidade do Produto

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme mesma pesquisa no portal de teses e dissertações da CAPES, o curso de pós-graduação com maior volume de trabalhos é o da Engenharia de Produção. No Brasil, para a área de Engenharia de Produção, os anais do Encontro Nacional de Engenharia da Produção (ENEGEP) são considerados uma referência útil para esse tipo de pesquisa bibliométrica. Nesse sentido, fez-se uma pesquisa nos anais do ENEGEP tendo como palavra-chave “confiabilidade” em todos os campos de consulta e verificou-se uma quantidade significativa de artigos com citações relacionadas à importância da confiabilidade do produto para as empresas. Totalizaram-se 113 artigos nos últimos 10 anos (2000 a 2009).

No entanto, a quantidade de publicações é irrelevante, se forem considerados somente os que vão além de apenas ressaltar a importância do assunto, e que, de fato, exploram o tema da confiabilidade de produto seja através de modelos, da aplicação de ferramentas ou da integração com sistemas de gestão. Foi identificado um total de apenas 24 artigos que exploravam esse tema de forma aprofundada, o que representa de 0,3% do total de artigos publicados nos anais do ENEGEP nesse período. Cabe também ressaltar que, embora dentre

os artigos identificados, vários abordem de alguma forma a avaliação de riscos relacionados à confiabilidade de produtos, não foram identificadas publicações que tratem da gestão desses riscos, mesmo expandindo o horizonte de consulta até 1996 (primeiro ano disponível para consulta).

A Figura 3 apresenta a evolução de artigos dos anais do ENEGEP que ressaltam a importância da confiabilidade do produto e dos artigos que de fato exploram o tema. Os percentuais referem-se à quantidade total de artigos publicados nos anais do ENEGEP. Verifica-se que a tendência de aumento de teses e dissertações no país sobre o tema não se confirmou em relação aos anais da ENEGEP, em relação ao mesmo período avaliado.

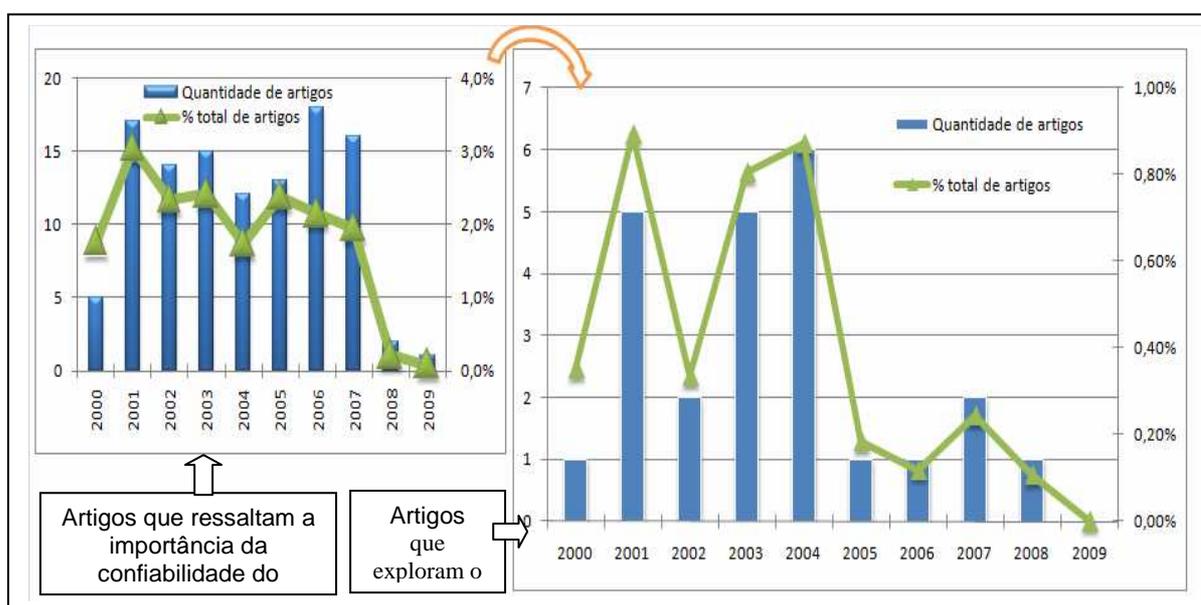


Figura 3 – Artigos publicados nos anais do ENEGEP que relacionam a Confiabilidade
Fonte: Elaborada pelo autor.

Em todos os artigos nacionais pesquisados nos anais do ENEGEP, o de Marcorin e Abackerli (2001) foi o único encontrado que apresenta uma pesquisa bibliométrica sobre artigos publicados na área de confiabilidade. Embora os autores não citem claramente as fontes de consulta, os dados apresentados nesse artigo, de certa forma, corroboram com algumas constatações feitas até então, entre elas, de que apenas 23% dos artigos nacionais pesquisados sobre confiabilidade são tentativas de modelagem matemática, enquanto que nos internacionais a proporção foi praticamente o dobro (aproximadamente 46%). Além disso, foi verificado pelos autores que na literatura nacional não foram encontrados artigos sobre programas institucionais de confiabilidade, enquanto que na literatura internacional este índice é de 13%. Conforme verificado nos anais do ENEGEP, identificou-se apenas um artigo sobre o tema, no qual Richter e Lopes (2004) analisaram o grau de relacionamento do

programa de confiabilidade com o ciclo de projeto de produtos.

Outro tema relacionado ao objeto de pesquisa é a análise de riscos durante o projeto de novos produtos. O foco da pesquisa bibliométrica apresentada por Segismundo e Miguel (2008) foi justamente nesse tema. Os autores realizaram um extenso estudo utilizando várias bases de dados: a PROQUEST, a SIBI/USP, a EMERALDINSIGHT, além do portal da CAPES. Pesquisou-se um total de quinze periódicos relacionados com o tema. Após um filtro inicial, 542 artigos foram identificados. Finalmente, após um filtro adicional no qual foram considerados apenas artigos que possuam o mesmo foco de pesquisa, abordagem de estudo e área de aplicação, constataram-se 22 artigos.

A partir de então, os autores classificaram esses artigos sob vários aspectos. Quanto ao foco da pesquisa: 50% dos artigos encontrados trataram dos riscos do projeto de uma forma geral, 27% dos riscos em novos produtos e 23% sobre outros tipos de risco. Dos artigos que trataram especificamente dos riscos em projetos e novos produtos, cinco deles foram associados aos riscos técnicos, enquanto os outros seis focaram em outros tipos de risco. Os autores ainda classificaram os artigos de acordo com a abordagem, sendo que a maioria deles são do tipo teórico-conceituais, sendo que oito dos quatorze artigos foram considerados propostas de modelos e os demais se trataram de uma adaptação das ferramentas. Finalmente os autores classificaram os artigos quanto à área de aplicação. Foi identificado que 58% deles não se referiam a nenhuma área específica, 13% referiam-se à área de tecnologia da informação e os demais se distribuíram nas áreas de Construção, Automotiva e Aeroespacial.

Além da pesquisa bibliométrica direcionada ao tema confiabilidade do produto, foi importante verificar a aplicação de Redes Bayesianas para tratar de temas relacionados com o objeto de pesquisa desta dissertação. Na pesquisa bibliométrica apresentada por Oliva *et al.* (2009), é constatado que a quantidade de publicações internacionais sobre Redes Bayesianas na análise de riscos tem aumentado consideravelmente. Os mesmos autores apresentam dados que indicam um crescimento de 800% desde o ano 2000 na aplicação de Redes Bayesianas para análise de dependabilidade⁸ de sistemas. A Figura 4 ilustra a tendência de aumento de pesquisas nessa área. Os autores também mostram um aumento considerável de publicações sobre o uso de Redes Bayesianas para análise de riscos, indicando um aumento de 400% entre 2001 e 2007.

⁸ A confiabilidade é uma das dimensões da dependabilidade (MALHOTRA; TRIVEDI, 1994).

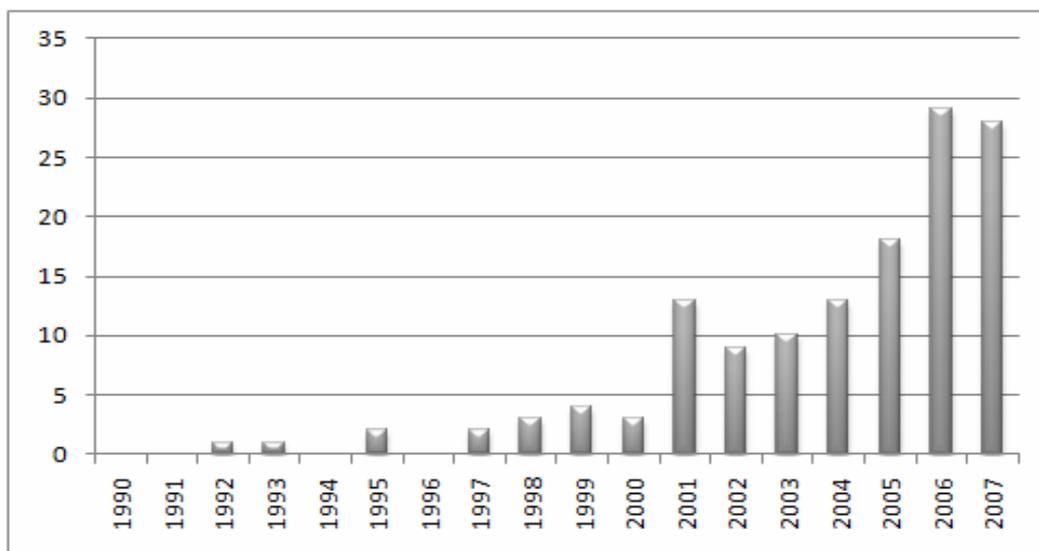


Figura 4 – Publicações sobre Redes Bayesianas na análise de dependabilidade
Fonte: Oliva *et al.* (2009). Adaptada pelo autor.

A tendência de uma maior utilização das Redes Bayesianas pode ser constatada em relação a publicações nacionais. Na busca ao banco de teses e dissertações da CAPES, utilizando a palavra-chave “Redes Bayesianas” no campo de assunto, foi identificada uma quantidade crescente de trabalhos. Na Figura 5 isso fica evidente.

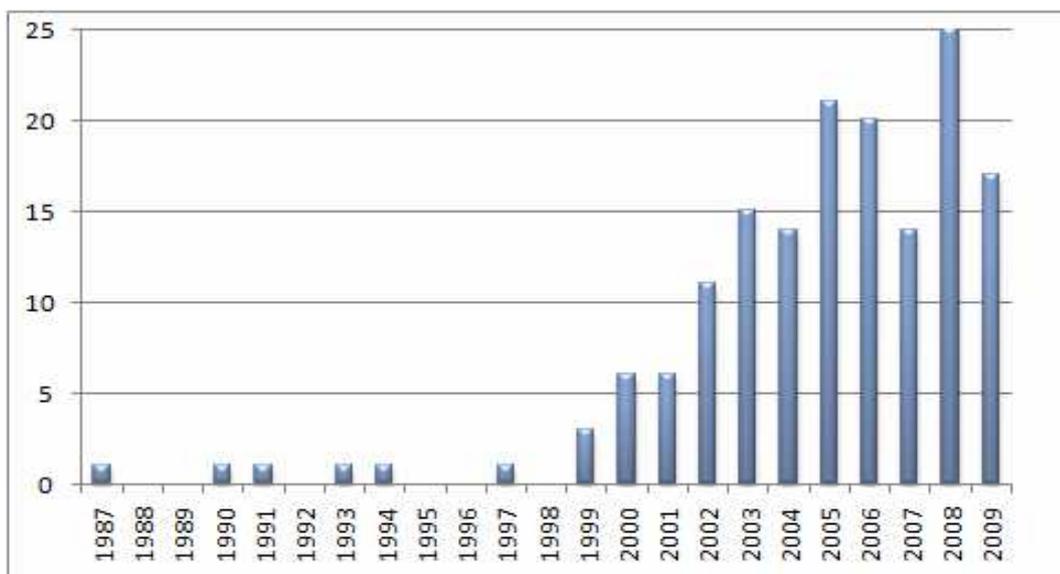


Figura 5 – Teses e dissertações no Brasil que utilizam Redes Bayesianas
Fonte: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (2010).

Porém, ao verificar o resumo de cada uma das 157 teses e dissertações, conclui-se que uma fração muito tímida trata-se da aplicação de Redes Bayesianas em alguma das dimensões

da dependabilidade de sistemas: apenas oito dissertações de mestrado e três teses de doutorado em todo o período (de 1987 a 2009). Nenhuma tese ou dissertação dessas mencionadas foi identificada com o mesmo foco de pesquisa, abordagem de estudo e área de aplicação da presente pesquisa. No entanto, foram localizadas quatro dissertações de mestrado e uma tese de doutorado com alguma similaridade com o tema da presente pesquisa, conforme a seguir:

- a) Firmino (2004), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), aplicou Redes Bayesianas na parametrização da confiabilidade de sistemas complexos;
- b) Moura (2006), da UFPE, apresentou uma proposta de avaliação de indicadores de desempenho da confiabilidade de sistemas complexos;
- c) Barros Junior (2006), da UFPE, apresentou uma metodologia para análise da disponibilidade de sistemas complexos;
- d) Gomes (2008), da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), sugeriu um sistema de diagnóstico de motores diesel a partir de dados de falhas anteriores, entre outras informações;
- e) Grubisic (2009), da UFSC, apresentou em sua tese de doutorado uma metodologia para gestão integrada dos riscos técnicos e gerenciais para o projeto do produto.

Conclui-se que, apesar de vários pesquisadores no país reconhecerem a importância da confiabilidade do produto, o volume de pesquisas relacionadas com o referido tema é reduzido. Além disso, mesmo que no país se acompanhe, até certo ponto, a tendência mundial de utilizar Redes Bayesianas, em se tratando de riscos associados à confiabilidade de novos produtos, claramente existe ainda uma lacuna. Ao propor um método que busca a modelagem e avaliação dos riscos técnicos e gerenciais de maior impacto à empresa, relacionados com as potenciais falhas de um novo produto eletrônico, este trabalho visa elucidar os pontos mais relevantes da questão e de, alguma forma, contribuir para aprofundar o estudo sobre o tema.

A justificativa da relevância desta pesquisa para a indústria inicia pela constatação de que a indústria eletrônica tem um papel muito importante na economia mundial. De acordo com o estudo apresentado pela consultoria francesa *Decision Etudes & Conseil* (2009), a indústria eletrônica representou 10% do valor agregado global das manufaturas em 2008, porém o seu impacto na economia mundial é muito maior, graças ao seu papel-chave na produtividade das manufaturas e no desenvolvimento de novos serviços. O mesmo estudo ilustra que o mercado mundial referente à indústria eletrônica foi estimado em 1,13 trilhões de

dólares em 2008 e prevê um crescimento de 6,8% até 2012. Porém, ao comparar os valores estimados de produção em relação ao tamanho do mercado, chama a atenção o fato de que enquanto na Europa e América do Norte existe um equilíbrio, isso não acontece nas demais regiões. Considerando todos os países asiáticos, o mercado é aproximadamente 2,6 vezes menor do que o que é produzido nessa região, o oposto que ocorre no resto do mundo (sem considerar Europa e América do Norte), onde o mercado é cerca de 2 vezes maior que o tamanho do mercado.

No Brasil, o faturamento da indústria elétrica e eletrônica foi estimado em 124 bilhões de reais em 2010, o que representa um crescimento de 11% em relação ao ano anterior, que foi de cerca de 112 bilhões de reais (ABINEE, 2010). Isso representa, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), aproximadamente 18% de todo o PIB industrial do mesmo período. A produção relativa ao segmento de computadores, por exemplo, foi estimado para 2010 em 14 milhões de unidades, superando em 17% o valor do ano anterior (ABINEE, 2010).

Apesar dos resultados positivos do setor, a balança comercial tem causado preocupações. Em 2010, o aumento das importações em dólares foi de 39,8% em relação ao ano anterior (ABINEE, 2011). Ao mesmo tempo, o volume de exportações teve um pequeno aumento de 1,8% em relação a 2009, porém tiveram uma redução de 23% em relação ao ano anterior. O resultado disso é o déficit comercial do setor, que para 2010 foi de 27,3 bilhões de dólares (ABINEE, 2011). A principal contribuição para esse déficit, ao classificar por áreas do segmento eletro-eletrônico, tem sido a de componentes, que representou 15,4 bilhões de dólares (57% do déficit total). A Tabela 1 apresenta a balança comercial do setor desde 2008.

Tabela 1 – Balança Comercial de Produtos Eletroeletrônicos no Brasil (em bilhões de dólares)

	Ano		
	2008	2009	2010
Exportações	9,9	7,5	7,6
Importações	32	25	34,9
Saldo	-22,1	-17,5	-27,3

Fonte: Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (2011).

Considerando a importância da indústria eletrônica na economia, um dos dados relevantes dessa indústria refere-se aos custos decorrentes de garantia do produto. Nos Estados Unidos, desde 2003, a FASB (*Financial Accounting Standards Board*) exige que as empresas divulguem detalhes de custos e previsões de garantia naquele país (FINANCIAL ACCOUNTING STANDARDS BOARD, 2010). Dessa forma, pela primeira vez, tornaram-se públicas as centenas de milhões de dólares que as empresas têm tido de custos relacionados às falhas dos produtos, inclusive as da indústria eletrônica. Segundo a Warranty Week (2010), na primeira metade de 2010, os fabricantes de computadores, por exemplo, tiveram aproximadamente 2,41 bilhões de dólares em custos devido a reclamações de garantia. Comparativamente com todos os outros segmentos industriais, esse valor gasto em garantia pelos fabricantes de computadores só é inferior ao custo de garantia de toda a indústria automotiva. A figura 6 mostra o total de custos de garantia no segmento de computadores desde 2003, conforme divulgado pelos maiores fabricantes nos Estados Unidos.

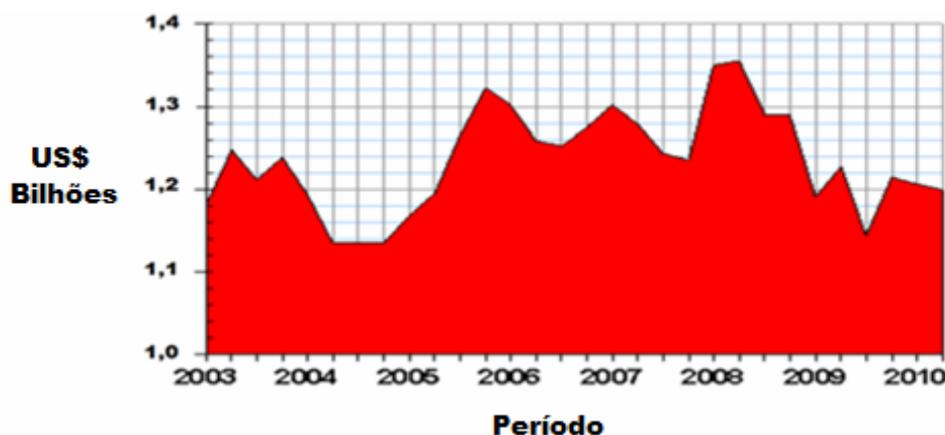


Figura 6 – Custos de Garantia dos fabricantes de computadores
Fonte: Warranty Week (2010).

Outro dado significativo que demonstra a relevância do tema sob o ponto de vista econômico é a provisão de garantia, na qual se enquadram os recursos financeiros que as empresas disponibilizam como uma espécie de reserva para as falhas que acreditam que irão acontecer. Nesse sentido, de acordo com Warranty Week (2010), os fabricantes de computadores mantêm as suas taxas de provisão de garantia entre 2,5% e 3,5% do faturamento bruto. Os demais segmentos da indústria eletrônica também divulgam seus custos e provisões de garantia, como por exemplo, a indústria de telecomunicações, que teve os respectivos custos na ordem de 1 bilhão de dólares em 2010 (WARRANTY WEEK, 2010). No Brasil, ao contrário dos Estados Unidos, infelizmente não existe uma legislação que obrigue as empresas a divulgar informações sobre os custos com garantia, o que faz com que

tais informações não sejam de domínio público.

Quanto à utilização de técnicas e modelos para suportar a minimização dos custos em garantia, um ponto relevante levantado por Marcorin e Abackerli (2001) é que no modelo industrial utilizado no Brasil existe um enfoque muito maior na utilização de técnicas e modelos de confiabilidade para a manutenção de equipamentos industriais do que no projeto de produtos. O alto custo de aquisição de ativos para a produção no país ajuda a justificar tal tendência, conforme indicam Passos Junior, Antunes Junior e Klippel (2005), ao afirmarem que pelo fato de o recurso restritivo no país ser o capital para aquisição de máquinas, deve-se utilizar a lógica da maximização da utilização dos ativos.

Por outro lado, ao considerar as indústrias do país no contexto de competitividade global, percebe-se uma tendência muito grande de maior necessidade de diferenciação competitiva. Conforme Salerno (1995), uma das maneiras para as empresas se diferenciarem competitivamente é através do desempenho e a confiabilidade final do produto. Para obter isso, de acordo com o autor, as inovações incrementais de produto e processo são fundamentais.

No caso específico da indústria eletrônica, observa-se mundialmente um nível de competitividade elevado no setor, com predomínio de empresas com unidades produtivas localizadas na China. Tais empresas na China têm explorado a competitividade principalmente através do fator custo, graças à abundância de mão-de-obra sujeita a baixos salários ou mesmo por condições logísticas favoráveis em relação aos principais fornecedores de componentes.

Por outro lado, conforme ressaltam Hauser *et al.* (2007), a inexistência de uma indústria no Brasil que detenha o ciclo completo de produção de Circuitos Integrados (CI's) impacta negativamente a competitividade do complexo eletrônico nacional. Nesse contexto, para que as empresas da área de eletrônica sediadas no Brasil possam ser competitivas, a diferenciação por custo não parece ser a estratégia mais adequada, mas, sim, o objetivo de melhor atender o consumidor, uma melhor logística de entrega de produtos para clientes do mercado regional e um melhor desempenho dos produtos na aplicação.

A avaliação dos riscos de uma forma integrada, completa e utilizando um método estruturado, poderá contribuir para que a questão das falhas dos produtos na aplicação deixe de ser visto apenas como um risco de perdas operacionais, mas acima de tudo uma oportunidade para que a indústria eletrônica no país torne-se mais competitiva.

A justificativa da relevância da presente pesquisa para a sociedade baseia-se em dois pilares, os quais serão explorados a seguir. O primeiro deles, que se refere mais

especificamente à sociedade brasileira, está relacionado na verdade a um reflexo do aumento da competitividade das empresas localizadas no país. Para a indústria eletrônica aqui existente, onde a redução de falhas do produto pode representar um aumento da competitividade, a sociedade como um todo tende a perceber vários benefícios, sendo uma forma direta de aumentar ou manter os empregos devido ao resultado financeiro positivo das empresas. No Brasil, estima-se que a quantidade total de empregados diretos do setor elétrico e eletrônico seja de 175 mil funcionários (ABINEE, 2010).

O segundo ponto de benefício para a sociedade é simplesmente a partir da utilização de produtos com menor probabilidade de falhas em todas as sociedades, principalmente no caso das indústrias de bens de consumo, como os eletrodomésticos e computadores. Uma avaliação completa dos riscos de falhas epidêmicas, assim como os esforços das empresas para a redução desses riscos, poderá contribuir para que os consumidores venham a ter menores custos e contratempos relacionados ao conserto ou à substituição dos produtos de forma prematura.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão norteadora da presente pesquisa é: como avaliar durante o projeto de um novo produto eletrônico os riscos operacionais associados a potenciais falhas epidêmicas ao longo do ciclo de vida do produto, integrando as principais variáveis técnicas e gerenciais do produto e do negócio?

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral da pesquisa é **desenvolver um novo método a ser utilizado durante o projeto de novos produtos eletrônicos, para a avaliação do risco operacional associado a falhas epidêmicas dos produtos ao longo dos seus ciclos de vida.**

Os objetivos específicos são os seguintes:

- a) Desenvolver um modelo que represente as principais variáveis técnicas e gerenciais, bem como a relação entre elas e que seja consolidado de uma forma que possibilite mensurar o impacto final dos riscos na empresa.

- b) Avaliar a aplicabilidade do método proposto em uma empresa que projeta e manufatura produtos eletrônicos, contemplando a discussão de vantagens e desvantagens em relação a outros que são utilizados na empresa.
- c) Propor uma solução computacional para utilização do modelo como um apoio à utilização do método nas empresas.

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A delimitação deste trabalho constituiu-se em si só num estímulo considerável ao pesquisador. Procurou-se obter equilíbrio entre desenvolver o tema sob um ponto de vista estratégico e tratar a complexidade existente com um nível de profundidade adequado aos objetivos desta dissertação. Inicialmente a delimitação foi feita em relação a algumas classificações possíveis para os riscos, conforme descrito a seguir.

O escopo desta pesquisa, definido a partir do segmento de indústria, refere-se apenas a empresas que atuam no projeto e fabricação de produtos eletrônicos. Ou seja, não fazem parte do escopo o projeto e a manufatura de outros tipos de produtos que não sejam eletrônicos. Sua definição concretizou-se devido ao acesso do pesquisador a informações de uma empresa deste segmento e também a sua formação e experiência na área, aspectos considerados úteis na etapa de aplicação e avaliação da metodologia proposta.

Pelo fato de que a maioria dos riscos em que as empresas estão submetidas é o resultado de definições da etapa de projeto do produto, este trabalho tem a delimitação definida em relação aos riscos operacionais originários de fatores apenas dessa etapa, ou seja, as definições tomadas após o lançamento do produto não estão inclusas na presente dissertação. Delimitando ainda mais as definições que podem ser tomadas na fase de projeto do produto, estão presentes os riscos oriundos do processo de projeto e da validação do produto, além da definição de componentes e fornecedores que serão utilizados para a respectiva montagem. As definições feitas durante o projeto do produto que estão associadas à manufatura não estão no escopo deste trabalho.

Ressalta-se a definição do escopo em relação aos efeitos resultantes dos potenciais riscos. Serão tratados especificamente os efeitos financeiros oriundos de falhas nos produtos durante a aplicação dos mesmos em campo, ou seja, os custos devido a falhas relacionadas à baixa confiabilidade do produto na aplicação final. Tais custos podem ser oriundos de garantia, de concessões ou mesmo de processos judiciais. Portanto, não serão consideradas perdas financeiras relacionadas a outras fontes, como, por exemplo, perda de negócios e

danos à imagem da marca. Também estarão fora do escopo os custos de reparação dos produtos. A Figura 7 ilustra a delimitação proposta quanto aos tipos de risco.

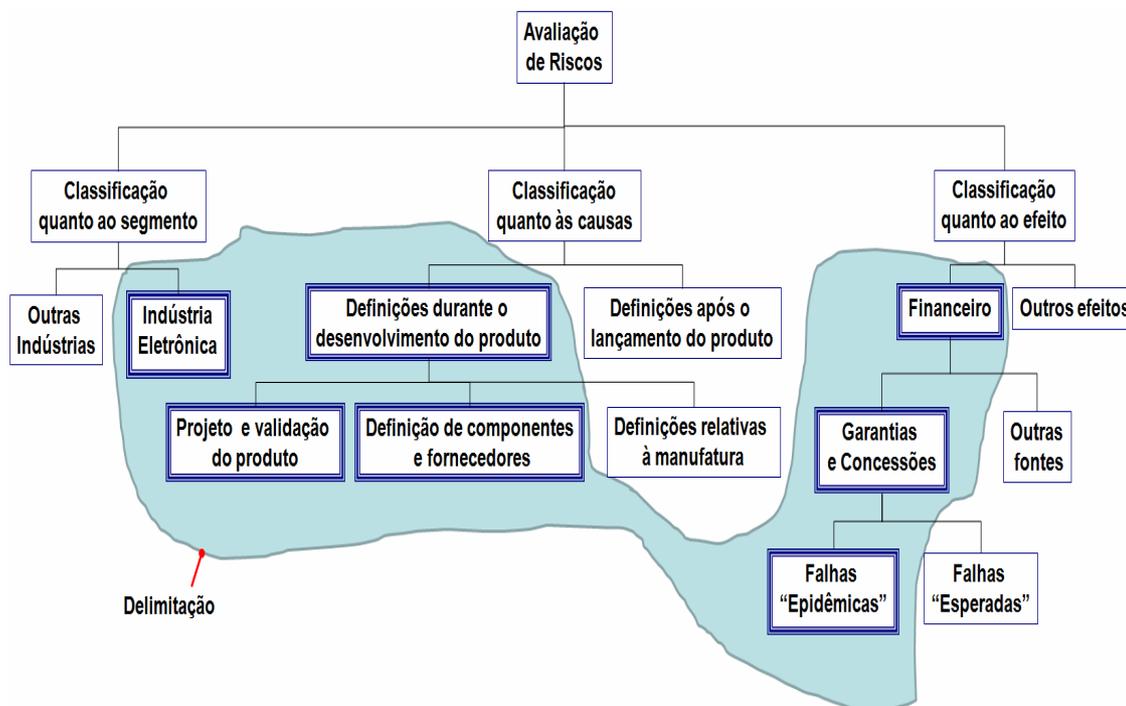


Figura 7 – Delimitação da pesquisa quanto aos tipos de risco
Fonte: Elaborada pelo autor.

Finalizando a delimitação desta pesquisa em relação aos tipos de riscos, a mesma tratará somente das chamadas falhas epidêmicas, conforme citado anteriormente, tendo em vista o potencial efeito catastrófico sobre os lucros e até mesmo a sustentabilidade econômica da empresa.

Adicionalmente às classificações de risco, cabe explicitar algumas delimitações deste trabalho, as quais foram estabelecidas no sentido de viabilizar a conclusão da presente pesquisa em tempo hábil, mas sem comprometer os objetivos propostos. As mesmas são citadas a seguir:

- Previsão da Confiabilidade:** ao contrário dos métodos tradicionais de previsão de confiabilidade, o que foi proposto não indicou o valor previsto de confiabilidade do produto em desenvolvimento. Por outro lado, o nível de risco foi relacionado a níveis de falhas esperadas durante o período de garantia, de forma a auxiliar na tomada de decisão quanto a possíveis alternativas de mitigação de riscos.

- b) Avaliação econômica: o método apresentará dados econômicos para serem utilizados como referência na tomada de decisão, porém não aprofundou questões econômicas existentes em situações de *trade-off*.
- c) Avaliação das consequências dos riscos: o método considerou patamares fixos para os efeitos das falhas epidêmicas, ou seja, não avaliou diferentes níveis de consequência decorrentes de defeito nos produtos.
- d) Garantia: apesar de o pesquisador reconhecer a importância dos contratos de garantia quanto aos riscos resultantes, o método não considerou o impacto de diferentes modalidades de contratos que possam ser feitos com os clientes e fornecedores.
- e) Avaliação da aplicabilidade do método: o presente trabalho não irá realizar uma avaliação aprofundada de o quanto o método é aplicável em diferentes empresas da indústria eletrônica, visto que para concretizar tal objetivo, seria necessário, por exemplo, o estudo de caso em várias empresas de segmentos diferentes.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O primeiro e presente capítulo desta dissertação menciona os objetivos e questão da pesquisa, as justificativas para o seu desenvolvimento, a delimitação e a estruturação.

No segundo capítulo, é desenvolvida uma síntese do referencial teórico, construída a partir da revisão bibliográfica e da experiência do pesquisador no tema. Além de relatar os tópicos conceituais básicos para o assunto, são apresentados alguns modelos e estudos mais recentes publicados na área, em artigos científicos e livros. Conforme descreve Luna (1997), o referencial teórico é importante para a determinação do chamado “estado da arte”, ou seja, buscou-se na literatura o que já foi desenvolvido sobre o tema, incluindo as lacunas existentes e onde se encontram os principais entraves teóricos ou metodológicos.

No terceiro capítulo é apresentada a definição da metodologia que foi adotada para a execução da pesquisa, além da justificativa para tal escolha. A metodologia buscou ser adequada aos objetivos estabelecidos no primeiro capítulo e refletir o referencial teórico construído no capítulo dois.

No quarto capítulo será apresentado o detalhamento da proposta para o método de avaliação de riscos propriamente dito, incluindo a descrição detalhada do desenvolvimento dos artefatos. Nessa etapa, além de utilizar o referencial teórico, serão relacionadas entrevistas com alguns especialistas da indústria eletrônica. Juntamente com a metodologia de gestão de

riscos, será apresentado o desenvolvimento de um modelo que representa as principais variáveis que impactam na probabilidade de falhas epidêmicas de novos produtos eletrônicos. Durante o desenvolvimento do método a partir de necessidades adicionais identificadas o referencial teórico foi acrescido de novas pesquisas a referenciais bibliográficos.

O quinto capítulo apresenta a tentativa da metodologia pela sugestão de aplicação em uma empresa específica, ou seja, a instanciação do método.

No sexto capítulo será apresentada a avaliação do método como resultado da aplicação na empresa estudada. A avaliação foi realizada a partir de critérios estabelecidos no capítulo quatro.

Finalmente no sétimo capítulo, serão apresentadas as conclusões, limitações do trabalho e recomendações para continuidade da pesquisa.

O desenvolvimento da presente dissertação e a forma como a mesma será estruturada são representados na Figura 8.

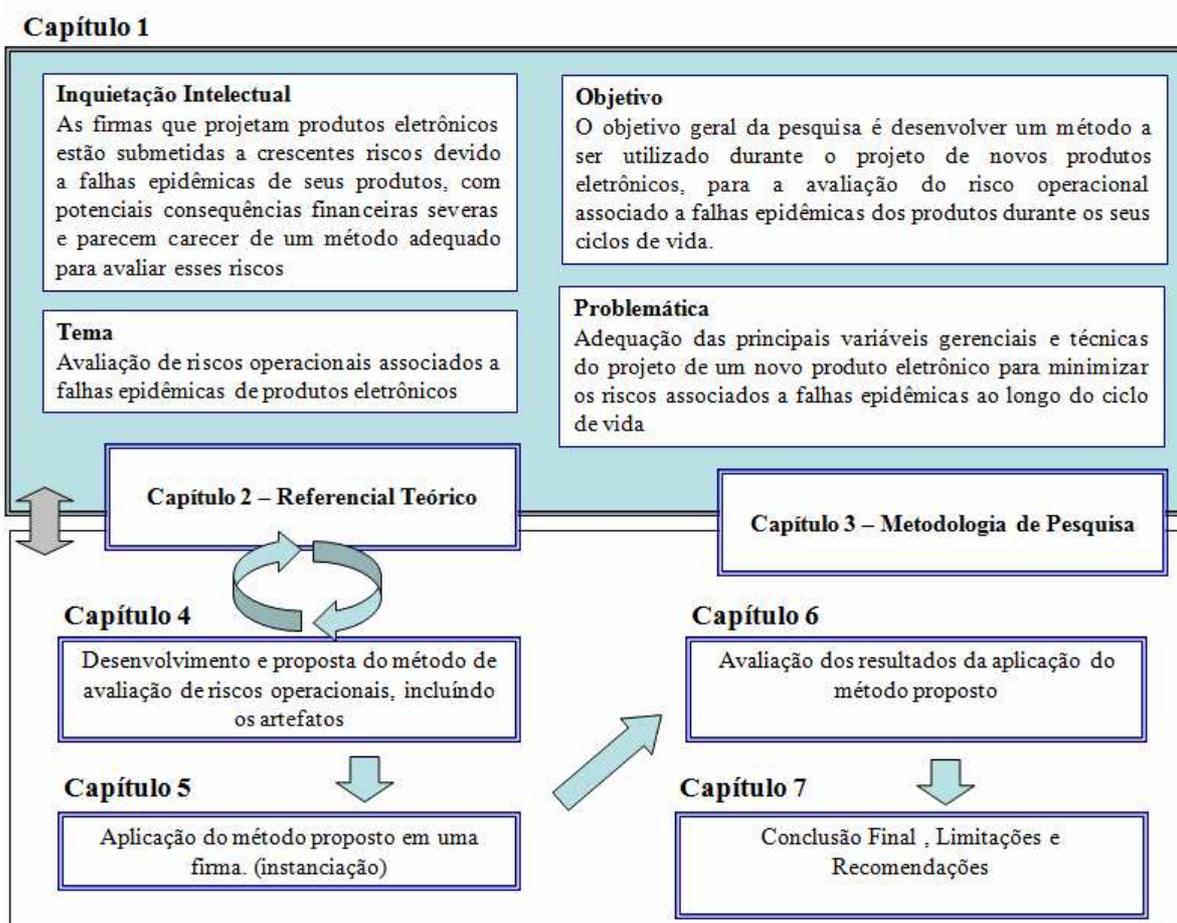


Figura 8 – Estrutura da dissertação
Fonte: Elaborada pelo autor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a síntese do referencial teórico, a qual foi construída a partir do referencial bibliográfico sobre os assuntos relacionados ao tema de dissertação, assim como da experiência do pesquisador nesses assuntos.

O ponto de partida para a construção do referencial teórico foi a utilização do Diagrama de Relevância e Contribuição, proposto por Blessing e Chakrabarti (2009), que, segundo os autores, tem se mostrado bastante útil para esclarecer quais são os alicerces teóricos nos quais a pesquisa irá se basear, tendo em vista a grande quantidade de áreas e disciplinas que podem estar relacionadas à questão de pesquisa. Esse diagrama, conforme pode ser visualizado na Figura 9, permitiu ilustrar a diferenciação entre as chamadas áreas essenciais, que foram as mais relevantes para a pesquisa, e as áreas úteis, ou seja, as que não foram essenciais, mas que agregaram valor ao estudo. Além disso, o diagrama indicou as áreas nas quais a presente pesquisa pretendeu contribuir.



Figura 9 – Diagrama de Relevância e Contribuição da pesquisa
Fonte: Elaborada pelo autor.

Inicialmente foi feita uma pesquisa sobre tópicos relacionados à gestão dos riscos. Em seguida, a revisão bibliográfica buscou compreender os conceitos clássicos sobre o objeto de pesquisa, ao estudar a Teoria da Confiabilidade e o Projeto de Novos Produtos, os quais foram utilizados tanto para a identificação de riscos potenciais do produto, quanto para a modelagem e análise dos riscos. Tendo em vista a necessidade identificada de agregar o julgamento subjetivo de especialistas na análise dos riscos, foi pesquisada a Abordagem

Bayesiana, e convergido para a pesquisa de modelos do estado da arte, os quais foram utilizados como referência para a construção do modelo proposto.

2.1 RISCOS E INCERTEZAS NO PROJETO DE NOVOS PRODUTOS

Na introdução da presente dissertação foi feita uma explanação sobre o contexto no qual as empresas cada vez mais estão inseridas, que está caracterizado por crescentes incertezas. Essas, por sua vez, acabam significando um aumento de riscos com os quais as empresas precisam lidar para a tomada de decisões durante o projeto de novos produtos. No entanto, de acordo com Khodakarami (2009), os processos tradicionais de gestão de riscos em projetos possuem um foco muito restrito. Segundo o autor, isso acontece porque a gestão de riscos tradicional apenas lida com os eventos que representam algum perigo, ao invés de gerenciar as diferentes fontes de incertezas. A seguir será apresentada uma revisão bibliográfica sobre conceitos importantes relacionados ao tema.

2.1.1 Definições de Risco e Incerteza

A definição de risco é uma das questões mais controversas na comunidade de gestão de riscos em projetos (CHAPMAN, 2006). Embora a discussão sobre as várias definições de risco e incerteza não esteja no escopo deste trabalho, como ponto de partida para o referencial teórico foi importante explorar esses conceitos. Souza (2004, p.19) resume a diferença entre risco e incerteza:

A incerteza é definida como aquela situação em que não se tem conhecimento objetivo da distribuição de probabilidades associada aos eventos que poderão resultar. E risco, geralmente é definido como a medida da incerteza. Ou seja, quando se conhece a distribuição de probabilidades de cada um dos eventos possíveis relacionados à decisão tomada.

Modarres (1993), ao construir a definição de risco, explica que ele pode ser visto tanto qualitativa quanto quantitativamente. Qualitativamente, quando se está exposto a um perigo e assim existe uma possibilidade de perda ou danos. Essa possibilidade, de acordo com o autor, pode ser chamada de risco. Zio (2007), por sua vez, desenvolveu um pouco mais o conceito qualitativo na mesma linha de raciocínio. Conforme explica o autor, a primeira observação intuitiva vem do fato de que existe um risco se existir uma fonte potencial de dano ou perigo. Acrescenta, ainda, que a presença de um perigo por si só não é suficiente para definir a condição de risco. Segundo o autor, existe um fator de incerteza na transformação de um risco

potencial em um risco real através do perigo. Dessa forma, conforme complementa, a noção de risco envolve algum tipo de perda ou evento negativo que pode ser percebido, e a incerteza na transformação em perda real ou evento negativo, ou seja, Risco é igual à perda mais a incerteza.

Esse conceito de risco é apresentado por vários outros autores. Kerzner (1998), por exemplo, define o risco como sendo não apenas a probabilidade de ocorrência (ou seja, a incerteza), como também as implicações de não atingir um determinado objetivo. Do ponto de vista quantitativo, pode-se então estabelecer que sendo x um determinado evento negativo e p a probabilidade de ocorrer o evento, então uma forma de medir quantitativamente o risco R é dada por:

$$R = x \cdot p \quad (1)$$

Na prática, porém, conforme descreve Zio (2007), a percepção de risco é tal que a relevância dada para consequências de evento negativo x é muito maior do que a probabilidade de ocorrência p , então a equação anterior sofre pequenas alterações, conforme a seguir:

$$R = x^k \cdot p, \quad k > 1 \quad (2)$$

Dessa forma, uma vez que o fator k é maior que 1 (um), valores maiores de risco resultam em efeitos mais significativos. Zio (2007) adiciona que essas definições quantitativas devem ser aprimoradas para sistemas complexos, devido ao fato de que tipicamente ocorre mais do que um efeito indesejável. Portanto, a equação (1) passa a ser descrita para a definição de risco composto, que leva em conta todos os perigos de forma integrada, conforme a equação (3). De forma similar o mesmo poderia ser feito para a equação (2).

$$R = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i \quad (3)$$

Zio (2007) alerta, porém, que para as definições de risco serem úteis no propósito de análise de riscos, elas deveriam ajudar a responder a três questões fundamentais:

- a) Qual sequência de eventos indesejáveis transforma perigo em perdas reais?
- b) Qual a probabilidade de ocorrência da cada sequência?
- c) Qual a consequência da cada uma das sequências?

As respostas a essas questões levam à definição de risco como um conjunto de três termos (Zio, 2007):

$$R = \left\{ \left\langle s_i, p_i, x_i \right\rangle \right\} \quad (4)$$

onde s_i é a sequência de eventos indesejáveis levando ao evento, p_i é a probabilidade associada e x_i é a consequência. Então, o autor conclui que a saída de uma análise de riscos é um conjunto de cenários, como o do Quadro 1, que representa o risco.

Sequência	Probabilidade	Consequência
s_1	p_1	x_1
s_2	p_2	x_2
...
s_n	p_n	x_n

Quadro 1 – Risco como uma lista de três termos
Fonte: Zio (2007).

Conforme ressalta Khodakarami (2009), a avaliação tradicional de riscos, usando apenas o conceito de probabilidade e consequência, não é adequado para projetos. Entre outros motivos, porque ela trata dos riscos como eventos externos sobre os quais a probabilidade é conhecida, não considerando as relações causais entre as várias fontes de incerteza. A base proposta por Zio (2007) para a análise de risco, ao integrar o conceito de sequência de eventos indesejáveis na quantificação do risco, em parte contribui para o fechamento dessa lacuna. Porém, conforme acrescenta Khodakarami (2009), o estabelecimento de um arcabouço causal para o risco pode fornecer uma descrição útil e clara para a modelagem e análise dos riscos. Na seção 2.3 será apresentada uma abordagem para a mensuração dos riscos, a Abordagem Bayesiana, que é considerada uma alternativa à tradicional.

2.1.2 Econometria Aplicada à Avaliação dos Riscos

Embora haja controvérsias na definição de Econometria (KENNEDY, 1998), existe certa convergência quanto ao seu principal objetivo que, segundo Enders (1995) *apud* Oliveira Junior (2007) é o de desenvolver modelos capazes de prever, interpretar e testar hipóteses sobre dados econômicos e financeiros. Segundo Mallinvaud (1966) *apud* Kennedy (1998), a arte da Econometria consiste em encontrar um conjunto de premissas que seja, ao mesmo tempo,

suficientemente realista e específico, e ainda, que permita, da melhor forma possível, usar os dados disponíveis.

Um dos conceitos fundamentais da probabilidade, utilizado na Econometria, é o de valor esperado. De acordo com Pindyck e Rubinfeld (1995, p.141), “[...] o valor esperado associado a uma situação incerta corresponde a uma média ponderada dos *payoffs*⁹ ou valores associados a todos os possíveis resultados”.

Conforme definição qualitativa apresentada por Pindyck e Rubinfeld (1976), para uma variável aleatória discreta X com valores possíveis $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, o valor esperado de X é a média ponderada de todos os possíveis resultados, conforme equação (5):

$$E[X] = p_1X_1 + p_2X_2 + p_3X_3 + \dots + p_nX_n = \sum_{i=1}^n p_iX_i \quad (5)$$

Onde p_i é a probabilidade que X_i ocorra, $\sum p_i = 1$, e $E[x]$ é o operador do valor esperado. Por exemplo, se uma determinada decisão tiver 0,7 de probabilidade de resultar num *payoff* de R\$2000,00, a probabilidade de 0,2 de um *payoff* de R\$5000,00 e a probabilidade de 0,1 de um *payoff* de R\$ 9000,00, o valor esperado, conforme a equação (5), é dado por:

$$E[X] = 0,7 \times R\$2000,00 + 0,2 \times R\$5000,00 + 0,1 \times R\$9000,00 = R\$3300,00$$

Nesse exemplo, caso uma das alternativas possíveis, em relação à decisão mencionada, resulte num ganho certo de R\$ 2000,00, chama-se esse valor de “equivalente de certeza” (WILKINSON, 2005). De acordo com Wilkinson (2005), se o tomador de decisão for indiferente ao valor esperado e ao equivalente de certeza, diz-se que ele é insensível ao risco. Por outro lado, segundo o mesmo autor, muitos tomadores de decisão possuem aversão ao risco, ou seja, preferem pagar o chamado “prêmio de risco” ao enfrentar os riscos envolvidos. O prêmio de risco é calculado pela diferença entre o valor esperado e o equivalente de certeza. No exemplo anterior, caso a decisão resulte num ganho certo de R\$2000,00, o prêmio de risco é de R\$3300,00 – R\$2000,00 = R\$1300,00. Uma terceira atitude em relação ao risco é a tendência ao risco (WILKINSON, 2005), quando o tomador de decisão dá preferência ao valor esperado em detrimento do equivalente de certeza.

⁹ *Payoffs* são valores associados a um possível resultado (PINDYCK; RUBINFEL, 1995).

2.1.3 Gestão de Riscos

Embora a análise dos riscos operacionais seja fundamental, de nada adianta eles serem identificados se não forem devidamente tratados. Por esse motivo, mesmo estando fora do escopo desta dissertação o tema da gestão do risco propriamente dita, entendeu-se como importante explorar o tema da gestão de riscos no sentido de identificar os elementos mais importantes que devem ser gerados pela análise de riscos operacionais e qual a sua relação com as demais atividades necessárias para a referida gestão.

A gestão de riscos pode ser entendida como um processo de negócios que lida com a questão do risco de forma sistemática. Vaughan (1997) a descreveu como um ramo da economia aplicada, que possui o objetivo de reduzir e eliminar o que pode ameaçar os negócios e outras organizações. Hubbard (2009), recentemente, definiu a gestão de riscos como uma disciplina que trata da identificação, medição e priorização dos riscos, seguindo a aplicação de recursos coordenados para minimizar, monitorar e controlar a probabilidade e/ou impacto de eventos negativos aos negócios.

Embora os métodos, definições e objetivos específicos relacionados com a gestão de riscos variem consideravelmente de acordo com o contexto relacionado, existem vários conceitos e ferramentas dessa linha que se mostram potencialmente úteis para tratar da problemática do desempenho de produtos, considerando principalmente aspectos estratégicos. Dentro desse aspecto, a gestão de riscos enquadra-se como uma aplicação da engenharia econômica. ASTM E833 (1999) *apud* Watts e Chapman (2002) menciona que a engenharia econômica é a aplicação de técnicas da economia na avaliação de alternativas de projeto e engenharia.

O conceito de gestão de riscos veio a ser consolidado apenas na segunda metade do século XX. Porém as ações para lidar com o risco acompanham a humanidade desde os seus primórdios. Vaughan (1997) cita, por exemplo, que uma das primeiras formas que o homem lidou com o risco foi através da criação de ferramentas, as quais aumentaram as chances de sobrevivência de duas maneiras: através do uso como proteção do ataque de outras criaturas, e também por simplificar o processo de obtenção de comida.

Conforme descreve Vaughan (1997), a chamada gestão de riscos teria evoluído a partir da área de aquisição de seguros corporativos. De acordo com Kloman (1999) um dos marcos históricos foi a publicação em 1956, pela *Harvard Business Review*, do artigo “*Risk Management: a New Phase of Cost Control*”, por Russell Gallagher. Muitos anos antes, em

1921, Frank Knight em seu livro “*Risks, Uncertainty and Profit*”, separa o conceito de incerteza, como algo não mensurável, de risco, que é mensurável (KLOMAN, 1999).

Alguns anos mais tarde, em 1974, o Comitê de Supervisão Bancária da Basileia foi criado com o objetivo de promover maior coerência em relação a como bancos e reguladores encaram a gestão de risco (COQUE JUNIOR, 2008). Mais recentemente, em reação a inúmeros desastres financeiros bastante divulgados, esta instituição publicou o chamado “Novo Acordo de Capital”, em junho de 2004, denominado Basileia 2, que provê um conjunto de abordagens para os bancos identificarem, quantificarem e controlarem seus riscos. Ainda de acordo com essa instituição, o risco operacional é definido como sendo o risco de perdas resultantes de processos internos inadequados ou falhos, pessoas e sistemas ou eventos externos. Um ponto-chave para o processo regulatório é a necessidade de que os riscos do negócio sejam modelados, considerando a variedade de potenciais eventos (NEIL, MARQUEZ; FENTON, 2008).

O relatório da Basileia classifica as perdas financeiras devido a fatores operacionais em dois tipos: i) perdas esperadas, que são consideradas aquelas “normais” que ocorrem frequentemente, como parte do dia a dia dos negócios, portanto com baixa severidade; ii) perdas inesperadas, as quais são consideradas não usuais, que ocorrem raramente e possuem alta severidade (NEIL; MARQUEZ; FENTON, 2008), sendo o tipo que está no escopo desta dissertação, com a denominação de “falhas epidêmicas”. O conceito das chamadas falhas epidêmicas está ligado à ideia de falhas que apresentam um elevado nível de ocorrência e assim contribuem para que ocorram perdas financeiras elevadas. Rubin (2007) define as falhas epidêmicas como defeitos substanciais nos materiais entregues, ocorrendo a partir de uma determinada porcentagem das entregas, usualmente entre 1% a 3%. Porém trata-se de um conceito pouco explorado em publicações acadêmicas, sendo mais encontrado em contratos de fornecimento, conforme exemplos a seguir.

O contrato entre as empresas *Sun Microsystems* e a *MiTac International*, por exemplo, define falhas epidêmicas como sendo falhas funcionais do produto durante o período de garantia, possuindo a mesma causa ou uma causa similar, oriundas de defeitos em materiais, erro humano, processo de manufatura, projeto do produto ou falha em atender as especificações (TECHAGREEMENTS, 2007). Nesse contrato, é estabelecido o nível de falhas para serem consideradas falhas epidêmicas: se a taxa de falhas em um mês for igual ou superior a duas vezes a taxa de falha acumulada em cinco meses consecutivos.

Rundle (2003) cita um exemplo de contrato de fornecimento no qual a falha epidêmica é definida como falhas no produto acima de níveis estabelecidos, sendo resultado de

deficiências no material, erro humano, processo de manufatura e/ou projeto atribuídas ao fornecedor, incluindo, mas não limitada aos componentes com defeitos latentes ou ajustes inadequados na manufatura. O mesmo contrato, segundo o autor, define que as consideradas epidêmicas são limitadas a falhas no produto atribuídas a uma mesma causa-raiz. Em relação ao nível de falhas mínimo para ser considerada uma falha epidêmica, o autor cita que nesse exemplo a taxa máxima é de 1,8%, sendo calculada pela equação (6),

$$tfe = \frac{tafe}{qpp} \quad (6)$$

sendo *tfe* a taxa de falhas epidêmicas, *tafe* a taxa acumulada de falhas epidêmicas no período e *qpp* a quantidade produzida no período, sendo esse período de quatro meses.

Alguns exemplos adicionais de definições podem ser verificados em Onecle (2010), ao apresentar alguns contratos estabelecidos entre empresas da área de informática. Entre as empresas *Netpliance* e *Quanta Computer*, estabelecido em 1999, a falha epidêmica é considerada uma falha que apresenta uma mesma causa-raiz e resulta em no mínimo 2% de falhas num período de noventa dias. Já no contrato entre as empresas *Apple Computer* e *SCI Systems*, a definição é similar aos demais contratos mencionados, porém são citadas duas modalidades de falhas epidêmicas: aquelas atribuídas a uma única causa-raiz e a falhas as atribuídas a múltiplas causas-raiz.

Conclui-se que existem algumas variações em como as falhas epidêmicas são definidas nas relações contratuais entre empresas. Porém, em todas as fontes pesquisadas existe uma convergência na definição de que falhas epidêmicas são as que ocorrem num nível considerado elevado pelo mercado consumidor. Foi verificado também que a maioria dos referenciais pesquisados atribui às falhas epidêmicas apenas a uma causa-raiz e que o nível de falhas é comparado a um período específico e algumas vezes a uma referência anterior de taxa de falhas.

Voltando à problemática do risco operacional, verifica-se que não é uma particularidade do setor financeiro. O risco operacional ocorre em todos os setores (REASON, 1997 *apud* NEIL; MARQUEZ; FENTON, 2008). Existe uma série de razões para falhas catastróficas, incluindo: falhas em reforçar lições aprendidas de falhas anteriores, degradação lenta ou colapso dos procedimentos, mudanças na cultura e na gestão, falta de visibilidade e suporte à divulgação de riscos e falta de atenção aos detalhes (NEIL, MARQUEZ; FENTON, 2008).

A gestão de riscos é um processo de negócios muito importante nos setores público e privado no mundo todo. A implementação correta e eficaz da gestão de riscos faz parte das melhores práticas de negócios, tanto no âmbito corporativo, quanto no estratégico, e é uma maneira de buscar a melhoria das atividades operacionais (DE CICCIO, 2005). A empresa deve estabelecer um ambiente favorável para a identificação dos potenciais riscos que ameaçam o desempenho do produto. Nesse sentido, a gestão de riscos tem um papel muito importante.

No Apêndice A são descritos alguns dos paradigmas: o de COSO (*Committee on Sponsoring Organization*), o da norma AS/NZS 4360:2004 e o da FAA (*Federal Aviation Administration*). Esse referencial teórico foi utilizado para identificar quais os elementos mais importantes que deverão fazer parte das entradas e saídas de uma análise e avaliação de riscos completa. Os elementos são resumidos no Quadro 2.

Elemento	Tipo		Fontes
	Entrada	Saída	
1. Perigos (quaisquer situações reais ou potenciais que podem causar degradação, doenças, morte ou danos a um equipamento ou propriedade)			FAA (2000)
2. Mapeamento dos riscos à organização			COSO (2004)
3. Lista abrangente de fontes de riscos ou eventos que podem ter um impacto na execução de cada um dos objetivos identificados nos contextos			AS/NZS 4360:2004
4. Determinação de qual o risco associado a perigos específicos			FAA (2000)
5. Nível de risco a partir da probabilidade de ocorrência e da consequência			AS/NZS 4360:2004
6. Fornecimento de subsídios quanto à necessidade de tratamento do risco, se alguma determinada atividade deverá ser realizada e quais as prioridades para o tratamento dos riscos			AS/NZS 4360:2004
7. Identificação e análise dos riscos associados à operação sob as perspectivas qualitativas e quantitativas			COSO (2004)
8. Fornecimento de subsídios para avaliação das opções de resposta a risco			COSO (2004)

Quadro 2 – Elementos de entrada e saída de uma análise de riscos completa
Fonte: Elaborada pelo autor.

Damodaran (2008) apresenta um argumento interessante em relação à gestão de riscos. Segundo o autor, algumas empresas obtiveram e obtêm sucesso não evitando os riscos, mas

organizando o processo de assumir riscos. Nessa linha, o autor defende a importância da experiência para lidar com as crises, por ser oriunda da atuação passada em ambientes instáveis. Nos casos em que a empresa não possui tal experiência, o autor cita três formas de adquiri-la:

- a) da maneira mais difícil, expondo-se aos riscos, por exemplo, ao entrar num novo mercado;
- b) adquirir outras empresas com experiência em mercados não-familiares, aproveitando a experiência do pessoal daquela que foi adquirida;
- c) como solução intermediária, seria contratar pessoal experiente em gestão de riscos.

Mesmo com várias particularidades, a gestão de riscos pode ser considerada um modelo de gestão. Portanto, ela também é influenciada por paradigmas de gestão que foram sendo historicamente desenvolvidos para os negócios. Morano (2003) compara, por exemplo, doze modelos de gestão de riscos. Segundo o mesmo autor, apesar de os modelos estudados apresentarem cada um a sua metodologia particular, todos eles possuem uma mesma estrutura básica, contemplando as seguintes fases: identificação de riscos, avaliação dos riscos, ações de prevenção contra os riscos e controle das ações de prevenção.

Além da identificação dos elementos de entrada e saída que mais indicados para serem contemplados no método proposto nesta dissertação, o referencial teórico indicou uma convergência quanto a etapas da gestão de riscos que devem fazer parte do método: a identificação de perigos, a análise de riscos e a avaliação de riscos¹⁰. A seguir serão referenciadas algumas das técnicas mais utilizadas para tais etapas.

2.1.4 Técnicas de Identificação de Perigos, Análise e Avaliação de Riscos

Uma vez esclarecidas quais etapas do processo de Gestão de Riscos devem estar diretamente contidas no método que será proposto, é importante esclarecer o referencial teórico sobre as técnicas e ferramentas atualmente existentes para tais etapas. No Quadro 3 constam as técnicas que foram identificadas e a qual etapa da gestão de riscos elas estão relacionadas. O entendimento de tais técnicas é útil para compreender quais os desafios no

¹⁰ Segundo COSO (2004) e FAA (2000) as fases de análise de riscos e avaliação de riscos apareçam juntas. Porém decidiu-se utilizar a denominação da norma AS/NZS 4360:2004 (2004) que estabelece uma distinção entre essas duas fases.

uso de cada uma das técnicas em relação aos objetivos propostos, quais os pontos positivos e para obter ideias iniciais de como integrá-las com o método proposto.

A seguir cada uma das técnicas será brevemente explicada. Para detalhes adicionais, o Quadro 3 indica o referencial bibliográfico utilizado.

Na fase de identificação de perigos, a técnica de “*Brainstorming*” (“tempestade de ideias”) muitas vezes é importante para que as sugestões sejam discutidas sem filtros, favorecendo a obtenção de ideias criativas. No contexto de identificação de perigos em projetos, essa técnica contribui para que membros da organização manifestem suas preocupações com o projeto.

Técnica	Etapa da Gestão de Risco			Fontes
	Identificação de Perigos	Análise de Riscos	Avaliação de Riscos	
<i>Brainstorming</i>				Rodrigues (2004), Baxter (2000)
<i>What-If</i>				Kingdon <i>et al.</i> (2001)
<i>Checklist</i>				PMI (2004), Machado (2002)
PHA				FAA (2000)
FMECA				USACE (2006)
HAZOP				Kletz (1984)
ETA				Ericson (2005)
BDA				Kuo (2003)
FTA				Jung, Yang e Ha (2005)
CCA				Ericson (2005), De Cicco (1989)
MORT				NRI (2009), Hammer (1993)

Quadro 3 – Técnicas de Identificação de Perigos, Análise e Avaliação de Riscos
Fonte: Elaborada pelo autor.

Outra técnica útil na fase de identificação de perigos é “*What-if*” (“O que aconteceria se”). Nela, a equipe do projeto pergunta-se exaustivamente qual seria o potencial resultado de determinados eventos negativos em relação ao produto. De certo modo, essa técnica apresenta características similares à técnica FMECA, que, a seguir, será brevemente descrita.

Ainda na fase de identificação de perigos, a técnica mais difundida nessa fase é a do *check list* (lista de verificação). Uma série de itens que tipicamente representa um potencial

perigo para a organização é colocada numa lista e os membros do projeto devem discutir cada um deles. Uma vantagem nítida dessa ferramenta é a simplicidade e agilidade em identificar alguns riscos. Por outro lado, como desvantagem pode-se citar a impossibilidade de criar um *check list* completo com todos os riscos potenciais, limitando o usuário da ferramenta a pensar apenas nos riscos listados.

Para a análise de riscos, o FMECA (Análise dos modos de falha, seus efeitos e a criticidade) é uma ferramenta muito utilizada, principalmente no contexto do projeto de novos produtos. Muito mais conhecida é a ferramenta FMEA, que se diferencia da FMECA pelo fato de não ser avaliada a criticidade dos eventos. Nessa ferramenta, cada possível modo de falha (perigo) é identificado e avaliado quanto a sua severidade, utilizando como ponto de partida a definição das funções do produto. Em seguida, é avaliada a capacidade de detecção dos modos de falha e a probabilidade de ocorrência do evento. O resultado é a identificação de uma lista de potenciais modos de falhas e um índice de risco associado a cada um deles.

A Análise Preliminar de Riscos (*Preliminar Hazard Analysis - PHA*) consiste no estudo durante a fase de concepção de um novo sistema, produto ou processo, com o objetivo de determinar os riscos que poderão estar presentes na sua fase operacional. Essa técnica é considerada uma análise qualitativa preliminar e é bastante indicada para a investigação de novos produtos, ou com um elevado conteúdo de inovação.

Outra técnica bastante conhecida para análise de riscos é a HAZOP (*Hazard and Operability Studies*). Esta técnica é utilizada para novos processos, o que está fora do escopo desta dissertação. Nela, as linhas do processo são examinadas de forma qualitativa, com o objetivo de identificar os perigos e prevenir problemas associados à operabilidade dos processos.

Já na fase de avaliação de riscos, várias técnicas foram identificadas na revisão bibliográfica. A técnica de Análise de Árvore de Eventos (*Event Tree Analysis - ETA*) busca, através de um encadeamento lógico, identificar as potenciais consequências de um determinado evento inicial, sendo que no contexto de análise de riscos de produto o evento inicial normalmente é a falha de um componente ou subsistema.

A ferramenta de Análise por Diagrama de Blocos (*Block Diagram Analysis - BDA*) se utiliza de um fluxograma em blocos do sistema, calculando as probabilidades de sucesso ou falha do mesmo, pela análise das probabilidades de sucesso ou falha de cada bloco. Essa técnica teve um grande avanço nos últimos anos, graças à intensificação do uso de ferramentas computacionais que viabilizaram a análise de sistemas complexos.

A Análise por Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis – FTA*) é bastante difundida para avaliação de falhas dos produtos. Ela é uma representação gráfica das principais falhas do produto, associando-as com as causas para as falhas. A ferramenta também ajuda a identificar áreas de maior risco no projeto do novo produto. Ela é usada normalmente após outras ferramentas qualitativas, como o FMEA, quando se precisa uma análise mais detalhada, pois a árvore de falhas permite obter dados qualitativos através da associação de probabilidades e frequências de ocorrência.

A ferramenta de Análise de Causas e Consequências (*Cause and Consequences Analysis – CCA*) é considerada uma combinação entre a FTA e a ETA. A partir do evento inicial, obtêm-se os desdobramentos através de perguntas do tipo: Em que condições o evento induz a outros eventos? Quais as alternativas ou condições que levam a diferentes eventos? Que outros componentes o evento afeta? Quais os outros eventos que este evento causa?

A última ferramenta clássica de avaliação de riscos que foi pesquisada é a MORT (*Management Oversight and Risk Tree*). Trata-se na verdade de um método que é utilizado principalmente para a investigação de acidentes. O seu interesse em relação ao objeto de estudo da presente pesquisa, é o fato de que o MORT é aplicado à estrutura organizacional da empresa, suportando a identificação de erros e ações inadequadas relacionados com a gestão. Da mesma forma como na FTA, é feita a construção de um diagrama de árvore, no qual cada evento é uma ação do gestor ou operador.

Conclui-se que apesar de as técnicas de análise de riscos apresentadas serem mais aprofundadas do que as de identificação de perigos, elas requerem um maior esforço da organização para implementá-las. Mesmo assim todas também são consideradas qualitativas, apesar de indicarem níveis de risco. Já as técnicas que foram apresentadas para avaliação de riscos são capazes de endereçar uma das deficiências das ferramentas anteriores ao relacionar de alguma forma as dependências entre os eventos, através de representações em árvores. Apesar de possuírem um grau mais elevado de sofisticação e profundidade, nenhuma delas permite uma avaliação mais sistêmica e dinâmica dos riscos. Além disso, apresentam algumas dificuldades em realimentar o conhecimento acumulado da organização. Certas ferramentas têm sido desenvolvidas para contribuir no fechamento de algumas lacunas citadas, como a modelagem por cadeias de Markov e o método de análise dinâmica de árvores de eventos. No item 2.4 será explorado a Abordagem Bayesiana, mais especificamente as Redes Bayesianas para a análise e avaliação de riscos.

2.1.5 Gestão de Riscos no Projeto de Novos Produtos

Considerando a Gestão de Riscos como um dos elementos da Gestão de Projetos, o *Project Management Institute* (PMI, 2004) recomenda como preparação à etapa de identificação de perigos a Estrutura Analítica de Riscos (EAR), conforme Figura 10. O objetivo é orientar a definição de categorias de riscos com que a equipe de planejamento do projeto irá trabalhar. Devem ser levados em consideração o contexto e o plano do projeto para identificar as categorias e subcategorias de riscos sob os quais o projeto está submetido, de maneira abrangente (PMI, 2004).

A Figura 10 remete à definição de escopo feita no Capítulo 1. Pode-se identificar na EAR, como parte do escopo definido, a categoria de risco técnico, vinculado ao desempenho e à confiabilidade, mas, além disso, nos riscos associados ao ambiente externo (fornecedores) e organizacional (recursos). Dessa forma a própria definição de escopo do método já endereçou a aplicação da EAR.



Figura 10- Estrutura Analítica de Riscos (EAR)
Fonte: PMI (2004).

De acordo com Wheelwright e Clark (1992), as empresas que possuem sucesso na competição dinâmica e global são aquelas que são capazes de lançar rapidamente novos produtos, fazendo com que os mesmos satisfaçam as expectativas dos clientes. Essa afirmação parece fazer ainda mais sentido para as manufaturas, indo ao encontro do que afirmam MUNDIN *et al.* (2002) apud BORNIA e LORANDI (2009) ao dizerem que a vantagem competitiva de uma empresa de manufatura, em uma economia globalizada, está diretamente relacionada com sua capacidade de lançar novos produtos no mercado, garantindo linhas de produto

atualizadas e com características de desempenho, custo e distribuição condizentes com o nível de exigência dos consumidores.

O sucesso no lançamento de novos produtos depende da capacidade da empresa em identificar e mensurar os riscos existentes, tomando as decisões mais adequadas quanto às possíveis opções de tratamento dos mesmos. Uma vez que eles estão intimamente ligados às incertezas existentes, pode ser útil entender de que forma tais incertezas durante o projeto podem impactar nos riscos. Nesse sentido, Wetzel, Taskinen e Cagan (2004) fazem um paralelo entre a Teoria do Caos e o projeto de novos produtos. Uma das constatações dos autores é que da mesma forma como a sensibilidade e dependência às condições iniciais do sistema é um conceito importante da Teoria do Caos, é fundamental para o projeto de produtos. Isso significa que as decisões feitas durante o projeto, não importa o quanto elas parecem insignificantes, podendo ter efeitos drásticos no produto desenvolvido, uma vez que cada decisão reflete em decisões posteriores. Os autores concluem que nesse “efeito cascata” do processo de decisões durante o projeto do produto, as decisões tomadas nas fases iniciais do projeto podem ter um grande efeito no resultado final do produto. Essa conclusão parece fazer bastante sentido e será utilizada para dar a relevância necessária às fases iniciais do projeto do produto.

A PDMA (*Product Management and Development Association*) define o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) como uma sequência disciplinada e definida de tarefas e etapas que descrevem os meios pelos quais uma companhia repetitivamente converte ideias embrionárias em produtos e serviços vendáveis (MURTHY; RAUSAND; ØSTERÅS, 2008). De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), o PDP é considerado um processo de negócio cada vez mais crítico para a competitividade das empresas, principalmente com a crescente internacionalização dos mercados, aumento da variedade e diversidade de produtos, assim como a redução do ciclo de vida dos mesmos.

Existe uma grande variedade de modelos de PDP. Conforme resumem Murthy, Rausand e Østerås (2008), em linhas gerais todos os modelos apresentam uma sequência de fases, iniciando com a ideia de construir um produto que vá ao encontro das expectativas dos clientes (ou criam novos requisitos para produtos radicalmente inovadores) e terminam com o lançamento do produto no mercado. Os mesmos autores citam 21 modelos diferentes, explicando que a diversidade de fases e a terminologia utilizada refletem as diferenças de contexto, tais como tipo de produto, nível de inovação e complexidade.

Echeveste (2003, p.208), concluindo sobre os principais achados de sua pesquisa, complementa:

Seguindo o estado da arte, um modelo referencial deve conter uma estrutura pré-determinada de etapas, a organização das atividades interdisciplinares, conforme prega o DP [Desenvolvimento de Produto] e com pontos de avaliação durante as fases, conforme a filosofia do processo de revisão de fases. Uma pressuposição para essa organização é a consideração das características e cultura da empresa.

Para a escolha de um método de projeto de produtos adequado aos objetivos da presente dissertação, foram utilizados os seguintes critérios: aplicável para o projeto de produtos eletrônicos; genérico o suficiente para diferentes níveis de inovação e complexidade do produto; contemplando o escopo de potenciais riscos que foi definido e possuir não mais do que cinco fases, por questões de simplicidade. O modelo de projeto de produto que foi escolhido por obedecer a esses critérios é o descrito por Cooper (1993), contendo as seguintes fases:

- a) Fase 1 (Investigação Preliminar): trata-se do desenvolvimento do conceito do projeto, contemplando uma breve investigação e determinação do seu escopo;
- b) Fase 2 (Investigação Detalhada): nessa fase são elaboradas as especificações iniciais do projeto, a justificativa e uma análise de viabilidade, além da elaboração de um plano de projeto;
- c) Fase 3 (Desenvolvimento): quando é realizado o processo de projeto do produto propriamente dito, abrangendo a definição das especificações do produto e processo, além de construção dos protótipos, assim como especificação dos meios de controle e a determinação dos custos com maior precisão;
- d) Fase 4 (Qualificação do Produto): são feitos testes do produto em laboratório, ou na aplicação final para verificar e validar o processo de projeto frente às especificações de desempenho, além de nessa fase serem feitas outras verificações necessárias antes de lançar o produto no mercado;
- e) Fase 5 (Lançamento do Produto): finalmente o produto é lançado no mercado e são iniciadas a sua produção e a sua comercialização, sendo que os produtos comercializados nos primeiros meses após o lançamento devem ser acompanhados de perto.

No contexto de gestão de projetos de novos produtos, as práticas difundidas para a gestão de riscos nas organizações possuem similaridade com o método apresentado por

Coppendale (1995) *apud* Ferreira e Ogliari (2005). Nesse método, a primeira fase consiste na realização de um *Brainstorming* com as áreas envolvidas no PDP. O resultado é uma lista de riscos potenciais organizados por categoria, como as indicadas na Figura 10, ou seja, é quando se faz a Identificação dos Perigos. Na segunda etapa do método, o autor propõe a utilização de uma matriz para classificação da frequência de ocorrência e consequência, na qual é feita a classificação de cada risco entre 0 e 10. Finalmente, conforme ilustrado na Figura 11, as ações para reduzir a probabilidade de ocorrência e/ou o impacto são definidas na terceira etapa.

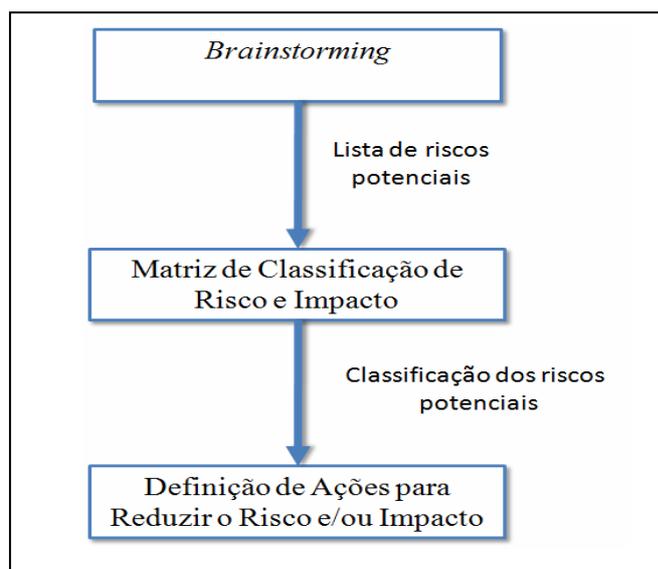


Figura 11 – Gestão de Riscos em Projetos

Fonte: Coppendale (1995) *apud* Ferreira e Ogliari (2005). Adaptada pelo autor.

Uma característica desse método é o fato de que sua aplicação é bastante simples e intuitiva, razão pela qual várias empresas o utilizam. A Figura 12 representa uma matriz típica para avaliação qualitativa do risco, na qual cada risco potencial é avaliado entre os níveis 1 e 5, a partir da avaliação dos níveis de severidade e frequência.

		Frequência				
		A	B	C	D	E
Severidade	IV	2	3	4	5	5
	III	1	2	3	4	5
	II	1	1	2	3	4
	I	1	1	1	2	3

Figura 12 – Matriz de Classificação de Risco

Fonte: Morgado e Souza (2000) *apud* Morano (2003). Adaptada pelo autor.

Por outro lado, o método possui uma série de deficiências, por exemplo:

- a) relações de causa e efeito não mapeadas: não são consideradas as relações de dependência entre diferentes eventos, o que prejudica a mensuração dos riscos e o entendimento das relações existentes;
- b) pouca integração entre ferramentas: mesmo sendo muitas vezes aplicado juntamente com outras ferramentas de análise de riscos numa mesma organização e num mesmo projeto, não prevê como integrar essas ferramentas no método;
- c) avaliação estática: o resultado dos projetos não necessariamente é utilizado para realimentar o processo de avaliação subjetiva dos especialistas;
- d) método de medição sujeito a muitos erros: a mensuração do índice de risco cabe exclusivamente à equipe de especialistas que participam da avaliação, não existindo nenhum tipo de análise de sensibilidade ou validação do sistema de medição.

Conclui-se que existe um grande potencial para o desenvolvimento e a aplicação de ferramentas mais avançadas para a avaliação de riscos no contexto do projeto de novos produtos. O desafio nesse sentido consiste em integrar as ferramentas com os métodos de projeto do produto e ao mesmo tempo manter um nível compatível de simplicidade aos usuários.

2.2 TEORIA DA CONFIABILIDADE

Tendo em vista que o objeto de estudo para a aplicação do método de avaliação de riscos na presente dissertação será o desempenho do produto na aplicação, torna-se necessário um entendimento de vários conceitos da chamada Teoria da Confiabilidade. Essa teoria reúne vários campos do conhecimento, conforme descreve Murthy, Rausand e Østerås (2008, p.55): “a Teoria da Confiabilidade lida com o uso interdisciplinar de probabilidade, estatística e modelagem estocástica, combinada com *insights* de engenharia na fase do processo de projeto e o entendimento científico dos mecanismos de falha, para estudar os vários aspectos da confiabilidade”.

Inicialmente serão apresentados alguns conceitos básicos relacionados à Confiabilidade, com o objetivo de além de introduzir o assunto, esclarecer a definição dos termos utilizados posteriormente.

2.2.1 Conceitos Básicos Relacionados à Confiabilidade

Elsayed (1996) apresenta uma definição para a confiabilidade bastante utilizada: é a probabilidade de que um produto ou serviço venha a funcionar de forma adequada por um período específico de tempo sem a ocorrência de falhas. A EOQC (Organização Européia para o Controle de Qualidade) define confiabilidade de uma maneira similar, dizendo que confiabilidade é a medida da habilidade de um produto operar com sucesso, quando solicitado, por um período de tempo pré-determinado, e sob condições de utilização e ambientais específicas (BREWER, 1972).

Hnatek (2003) simplifica a definição afirmando que confiabilidade é o desempenho em relação a requisitos por um período de tempo. O mesmo autor complementa o conceito mencionando o que define a norma IPC-SM-785: “confiabilidade é a habilidade de um produto de funcionar sob determinadas condições e por um determinado período de tempo sem exceder um determinado nível de falhas aceitável” (HNATEK, 2003, p.5).

Apesar de as definições identificadas na literatura apresentarem convergência, o termo confiabilidade é ambíguo e pouco entendido através do senso comum. O que se entende pela medida de confiabilidade de um produto vem associado aos seguintes elementos:

- a) o desempenho específico esperado, o que é fortemente relacionado com as expectativas do cliente e normalmente traduzidas nas especificações do produto;
- b) as condições de aplicação, que resumem as condições do ambiente e outras no qual o produto é utilizado;
- c) a variável tempo de utilização do produto, que em alguns casos pode ser traduzida por número de ciclos, por exemplo.

O entendimento dos princípios da confiabilidade parte de uma constatação bastante simples: com o passar do tempo todos os produtos se degradam. Conforme definem Murthy, Rausand e Østerås (2008), quando o desempenho do produto cai abaixo de um nível desejado, então se considera que o produto falhou. O nível desejado nada mais é do que as chamadas “funções pretendidas” mencionadas em várias definições sobre confiabilidade. Para melhor entender essa questão, precisamos então explorar inicialmente o entendimento das funções de

um produto. Rausand e Høyland (2004) propõem a seguinte classificação para as diferentes funções de um produto complexo:

- a) Funções essenciais: são as funções primárias e podem ser consideradas como a razão para o processo de projeto do produto. Por exemplo, num controle eletrônico de um equipamento, seria o acionamento do motor no momento desejado.
- b) Funções auxiliares: são funções necessárias para suportar as funções essenciais. Uma função auxiliar do controle eletrônico de um equipamento, por exemplo, seria a fonte de alimentação de corrente contínua utilizada para o microcontrolador.
- c) Funções protetivas: são funções planejadas para proteger as pessoas, os ativos e o ambiente de danos e efeitos negativos sobre a segurança. Por exemplo, a utilização de componentes eletrônicos produzidos com materiais auto-extinguíveis previne que eles propaguem o fogo no caso de alguma falha catastrófica.
- d) Funções informativas: essas funções são úteis para fornecer informações sobre os instrumentos monitorados, o acionamento de cargas, alarmes, etc.
- e) Funções de *interface*: são funções relacionadas à comunicação entre o produto considerado e outros produtos.
- f) Funções supérfluas: são funções que não são necessárias para o funcionamento do produto.

Lafraia (2001) define falha, simplesmente, como a perda de uma função. Já Nieuwhof (1984) *apud* Murthy, Rausand e Østerås (2008) define a falha de um equipamento se ele não mais executar suas funções pretendidas sob condições operacionais especificadas para as quais ele foi projetado. Conclui-se que muitas podem ser as funções pretendidas para um produto e, portanto, muitas as oportunidades de falha.

A definição de modo de falha é bastante usual para a comunicação sobre as falhas observadas, ou mesmo como critério inicial de sua classificação. Lafraia (2001) define modo de falha como um conjunto de efeitos pelos quais é observada. Já Murthy, Rausand e Østerås (2008) definem como uma descrição da falha, ou seja, como é possível observá-la. Por exemplo, o modo de falha em uma máquina de lavar pode ser o fato de ela não mudar de ciclo de lavagem, sendo que a causa do problema pode ser a degradação de um componente eletrônico do controle da máquina.

Outras definições importantes relacionadas à falha de produtos são: causa da falha e mecanismos da falha. A causa da falha é o que a gerou, ou conforme define Lafraia (2001) é a

circunstância que induz ou ativa um mecanismo de falha. A IEC 60050-191 (1990) adiciona que as circunstâncias podem ser durante o projeto, fabricação ou utilização do produto. Já a definição de mecanismos de falha está relacionada ao conceito de “física da falha”. A IEC 60050-191 (1990) define mecanismos de falha como os processos físicos, químicos ou outros que podem levar a uma falha. O entendimento dos mecanismos de falha muitas vezes é fundamental para identificação da causa-raiz, ou seja, o que a originou.

As falhas ocorrem em um momento incerto e são influenciadas por fatores¹¹ como o projeto, manufatura, instalação, operação e manutenção. Além disso, o fator humano também é importante (MURHTY; RAUSAND; ØSTERÅS, 2008).

2.2.2 Risco e Valor Associados à Confiabilidade do Produto

Para clientes, as consequências das falhas podem variar de questões de pouco valor (por exemplo, falha no aquecimento do assento do motorista de um carro), passando por perdas econômicas significativas (por exemplo, falha no motor do carro) indo até danos severos ao meio-ambiente e/ou à vida (por exemplo, falha crítica nos freios do carro). Todas essas consequências levam à insatisfação dos clientes com o produto. Quando o cliente é uma empresa, as falhas podem levar a perdas na produção de produtos ou serviços. Isso acaba impactando na “boa vontade” do cliente em relação ao fornecedor, assim como nos resultados financeiros (MURHTY; RAUSAND; ØSTERÅS, 2008).

Ireson, Coombs e Moss (1996) descrevem, ao relacionar a confiabilidade do produto com o seu valor, que a experiência demonstra o fato de que os clientes selecionam um produto específico em relação aos concorrentes não devido a um custo menor, mas devido a uma melhor relação percebida de qualidade e preço. Essa relação, segundo os autores, representa uma definição empírica simplificada do valor de um produto:

$$Valor = \frac{Qualidade\ percebida\ pelo\ cliente}{preço} \quad (7)$$

Ao tratar da questão da expectativa dos clientes em relação aos produtos, Elsayed (1996) relata que uma das características de qualidade que os clientes exigem dos fabricantes de produtos é a confiabilidade. Ireson, Coombs e Moss (1996) propõem que a forma mais

¹¹ Na seção 2.2.3 as fontes de confiabilidade do produto são delineadas.

direta de expressar e medir o valor da confiabilidade é através de definições sobre o quanto de confiabilidade os clientes podem obter por um determinado preço. Os autores descrevem alguns exemplos de como definir isso:

$$\text{Valor da confiabilidade} = \frac{\text{tempo médio entre falhas}}{\text{preço}} \quad (8)$$

$$\text{Valor da confiabilidade} = \frac{\text{taxa média de falhas no primeiro ano de uso}}{\text{preço}} \quad (9)$$

Essas definições, além de serem relativamente simples, indicam uma vasta gama de modelos que podem ser desenvolvidos para a otimização do valor percebido pelo cliente. Muitos dos modelos existentes na literatura, como o proposto por Kleyner e Sandborn (2008), quantificam o valor da confiabilidade sob a perspectiva do produtor, ou seja, a partir dos custos decorrentes das falhas, como os custos de garantia. Os últimos autores citados apresentam um modelo que utiliza a relação inversa entre o custo das atividades de validação do produto e o custo esperado de reparos e devoluções de garantia

Por outro lado, Rahman e Chattopadhyay (2004), além de focar a questão da garantia, discutem a relação entre confiabilidade e a percepção dos clientes. Segundo esses autores, um prazo de garantia elevado tem sido considerado no mercado como um sinal de confiabilidade. Nessa mesma linha de raciocínio, Pizzolato, Ten Caten e Fogliatto (2005) afirmam que a qualidade do produto, conforme percebida pelo consumidor, e seu prazo de garantia são fatores determinantes no momento da compra. O fato é que é possível constatar nos últimos anos um aumento cada vez maior nos prazos de garantia que são oferecidos nos mercados de uma forma geral.

Do ponto de vista da manufatura, a falta de confiabilidade afeta a empresa de várias maneiras. O primeiro efeito é em vendas, devido ao efeito “boca-a-boca” que resulta da insatisfação do cliente. Isso acaba afetando a participação no mercado e a reputação da empresa. Em segundo lugar, a falta de confiabilidade resulta em maiores custos de garantia, resultado de reclamações durante o período em que se pode trocar o produto ou solicitar o seu conserto. Algumas vezes, agências regulatórias podem exigir à manufatura executar um *recall* de um produto e substituir um componente que não foi devidamente projetado do ponto de

vista de confiabilidade. Em alguns casos, exige-se ao fabricante uma compensação sobre qualquer dano resultante das falhas no produto (MURHTY; RAUSAND; ØSTERÅS, 2008).

2.2.3 Fontes de Confiabilidade do Produto

Conforme Murthy, Rausand e Østerås (2008), a confiabilidade do produto é determinada através de decisões ocorridas antes de iniciar a produção e impacta os resultados após o início da fabricação. Barnard (2008) reforça esse ponto ao afirmar que a confiabilidade de um produto ou sistema é fortemente influenciada por decisões tomadas durante o projeto. O autor ainda ressalta que deficiências no projeto afetam todos os produtos manufaturados e são progressivamente mais caras para corrigir ao passar do tempo. Murthy, Rausand e Østerås (2008) concluem que o desafio do fabricante é tomar decisões que alcancem um adequado equilíbrio entre os custos de produzir um produto confiável e as consequências da falta de confiabilidade. A Figura 13 representa tais conceitos.

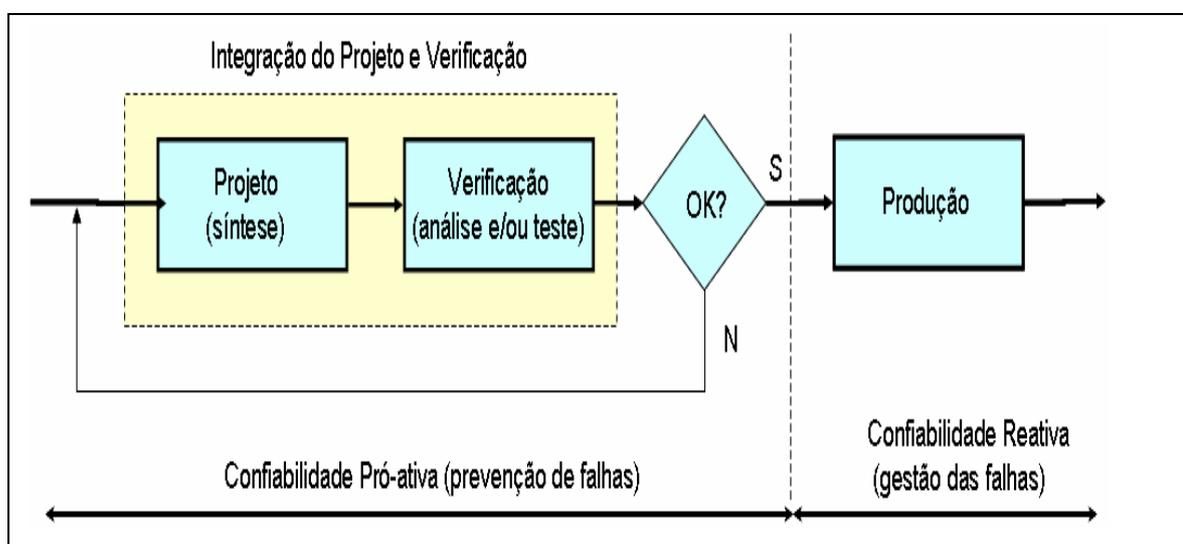


Figura 13 – Fontes de Confiabilidade do Produto
Fonte: Barnard (2008).

Murthy (2007) resume todas as possíveis fontes de confiabilidade de produto no que ele chama de diferentes conceitos ou noções de confiabilidade de produto¹², conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 14.

¹² No texto original o autor utiliza o termo *different notions of product reliability*.

- a) confiabilidade do processo de projeto: é o desempenho de confiabilidade prevista para o produto no final da fase de processo do projeto;
- b) confiabilidade inerente: é a confiabilidade obtida após a fabricação do produto, ou seja, definida pela confiabilidade do projeto e variações da qualidade da manufatura, através de erros de produção e/ou utilização de componentes não conformes;
- c) confiabilidade na venda: considera além da confiabilidade inerente os efeitos de transporte e armazenagem do produto;
- d) confiabilidade no campo: acrescido aos fatores mencionados anteriormente, essa fonte considera também os efeitos da aplicação do produto, como a intensidade do uso, a maneira de utilizá-lo e as condições ambientais.

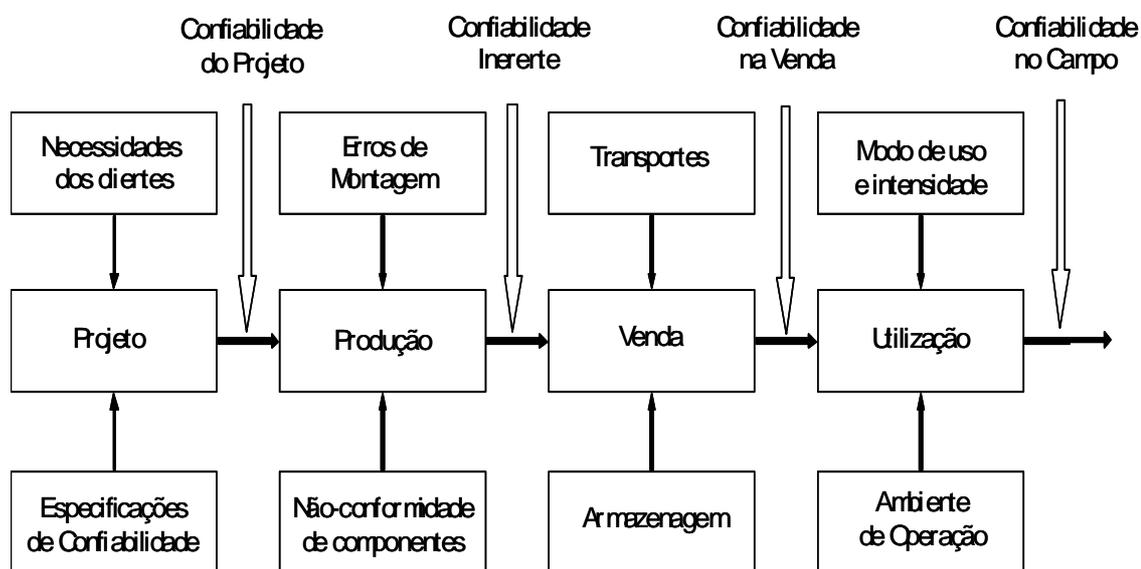


Figura 14 – Diferentes noções de confiabilidade do produto
Fonte: Murthy (2007).

De acordo com o que ressalta Barnard (2008), uma vez o produto já manufaturado, a confiabilidade não pode ser melhorada a níveis superiores ao da confiabilidade inerente. O autor ainda afirma que a confiabilidade pode apenas deteriorar a níveis inferiores devido a vários outros fatores.

Hnatek (2003), ao referir-se especificamente aos produtos eletrônicos, cita que existem várias disciplinas envolvidas além da engenharia de confiabilidade, incluindo a Engenharia de Componentes, a Engenharia Elétrica, a Engenharia Mecânica, a Ciência dos Materiais, a Engenharia de Processos, a Engenharia de Testes e a Análise de Falhas. Um estudo conduzido por Criscimagana (1997) *apud* Hnatek (2003) considerando 72 empresas do setor revelou que

elas consideram mais importante o uso das seguintes técnicas relacionadas à confiabilidade de produto, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Estudo feito em 72 empresas sobre atividades mais importantes

Controle de Fornecedores	76%
Controle de componentes	72%
Análise de Falhas e Ação Corretiva	65%
Testes de produto com aplicação de temperatura elevada (ESS)	55%
Teste, análise e retrabalho	50%
Teste de homologação de confiabilidade	32%
Revisões de processo de projeto	24%
Análise de Modos de Falhas, seus Efeitos e Criticidade (FMECA)	20%

Fonte: Hnatek (2003). Adaptada pelo autor.

Pode-se concluir que mesmo sendo significativamente determinada na etapa de projeto de produto, a confiabilidade final do produto dependerá de muitos fatores, o que enfatiza ainda mais a necessidade de um método para avaliar todos os riscos potenciais.

2.2.4 A Natureza e o Comportamento das Falhas

Vários autores, como Magniez (2007), Lafraia (2001), Barnard (2008) e De Luca (2004) defendem a importância do estudo da natureza das falhas. Neste sentido, Lafraia (2001) define dois tipos de falhas:

- a) falhas por envelhecimento: mesmo que de maneira diferente para componentes idênticos, com o passar do tempo a tendência é diminuir a resistência dos componentes às cargas;
- b) falhas aleatórias: quando não é possível prever quando as falhas irão ocorrer.

A chamada Curva da Banheira, embora questionada quanto à sua aplicabilidade e exatidão (HNATEK, 2003), é uma forma bastante didática de explicar os diferentes comportamentos da taxa de falhas. Vários autores, como Halpern (1978) *apud* Vaccaro (1997), Freitas e Colosimo (1997) e Hnatek (2003), citam que um produto ou equipamento pode seguir três comportamentos distintos durante períodos de sua vida útil:

- a) período de mortalidade infantil ou de falhas prematuras;
- b) período de vida útil ou de falhas aleatórias;
- c) período de envelhecimento ou de fadiga.

Hnatek (2003) ao explicar a Curva da Banheira, resalta que ela é a resultante de todas as falhas ocorridas durante os três períodos, onde é representada a taxa de falhas (λ) em função do tempo.

Na região de mortalidade infantil, tem-se um taxa de falha decrescente. Esse tipo de comportamento se deve normalmente às primeiras falhas pós-produção. Geralmente esse comportamento ocorre devido às imperfeições do processo de projeto, defeitos de manufatura do produto e de componentes, assim como a erros de montagem que não foram identificados pelo controle de qualidade. Muitas vezes existe a prática de deixar os produtos operando em modo acelerado por um certo tempo, permitindo que as falhas precoces ocorram antes de o produto chegar ao consumidor. Essa prática é englobada pelas chamadas técnicas de *Stress Screening*, sendo que uma das mais comumente utilizadas é o *Burn-in* (LAFRAIA, 2001).

A segunda região se refere às falhas aleatórias, ou seja, na qual a chance de um item vir a falhar não é determinado pelo tempo de uso. Nessa região, determina-se que a taxa de falha seja constante e, em geral, essa é a região de operação do produto. Considera-se que durante esse período as falhas são devidas a causas desconhecidas ou a alguma alteração brusca nas condições de tensão a que os componentes foram submetidos.

Os componentes que sobreviveram nos períodos de mortalidade infantil e de falhas aleatórias, acabam degradando-se, período em que a taxa de falha é crescente, ou seja, a chance de um item vir a falhar aumenta com tempo de uso. Geralmente essa região representa a fase final da vida dos produtos. Nesse momento, os problemas ocorridos são causados por efeitos cumulativos, como corrosão, degradação, trincas de fadiga, desgaste, etc. A Figura 15 ilustra a Curva da Banheira, conforme explicado anteriormente.

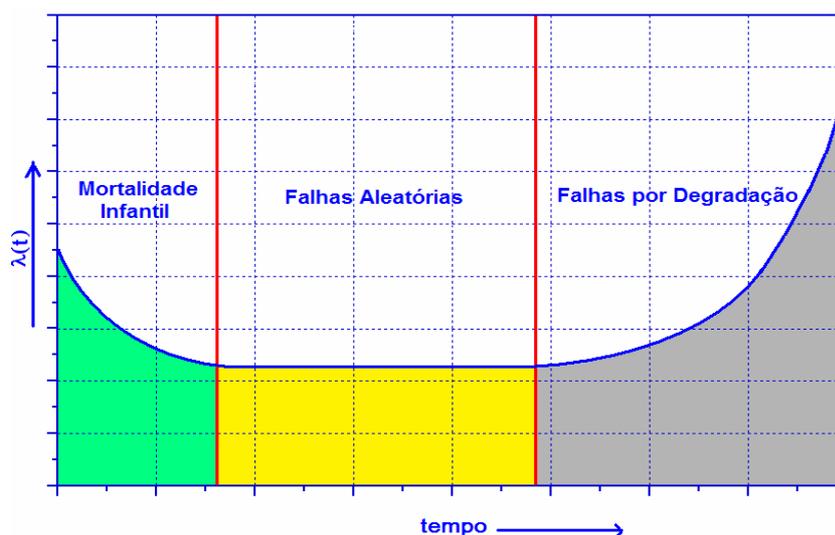


Figura 15 – A Curva da Banheira
Fonte: Hnatek (2003). Adaptada pelo autor.

Tendo em vista que o objeto de estudo desta pesquisa é a confiabilidade de produtos eletrônicos, cabe analisar qual o comportamento típico de produtos eletrônicos em relação às falhas. A curva da taxa de falha para esses produtos tende a possuir um pequeno trecho de mortalidade infantil, o qual representa as falhas ocorridas na manufatura, associadas a um controle de qualidade ineficiente. Em seguida, após o trecho de mortalidade infantil, os produtos eletrônicos tendem a possuir um longo trecho de falhas aleatórias, as quais não são causadas por um mecanismo de degradação. É durante o trecho de falhas aleatórias que os produtos eletrônicos operam por mais tempo e em geral esse trecho representa as menores taxas de falha.

Após operar por um longo período no trecho das falhas aleatórias, os produtos eletrônicos entram no último trecho: o de falhas por degradação. Os mecanismos de degradação estão normalmente associados ao envelhecimento dos componentes eletrônicos, ou a algum fator de estresse. Uma ressalva feita por Ribeiro (1995) *apud* Vaccaro (1997) é que em componentes eletrônicos não há uma fase de degradação bem definida, uma vez que a taxa de falhas tende a aumentar de forma lenta e linear. Vaccaro (1997) esclarece que para os componentes eletrônicos, caso eles estejam livres de problemas de fabricação, não existe uma ação notável de fadiga sobre eles.

Em alguns casos específicos, observa-se produtos eletrônicos com a região de falhas aleatórias muito pequena, ao contrário do que se espera normalmente. A causa para isso está normalmente associada a algum fator de estresse. Esse é o caso típico de produtos que operam corretamente a baixas temperaturas e deixam de operar quando a temperatura se eleva. O mais esperado é que isso ocorra em equipamentos eletrônicos de potência e/ou em produtos que operam num ambiente submetido a grandes variações de temperatura.

A partir do comportamento da taxa de falhas de um determinado sistema, podem-se associar distribuições de probabilidades para seu tempo de sobrevivência (VACCARO, 1997). No Apêndice B são apresentados alguns conceitos adicionais relacionados à Confiabilidade do Produto.

2.3 ABORDAGEM BAYESIANA

A Estatística Bayesiana constitui-se em um dos principais alicerces teóricos das Redes Bayesianas. A sua abordagem difere da estatística clássica de várias maneiras. Segundo Hamada *et al.* (2008), uma grande diferença filosófica está na noção de probabilidade. Os mesmos autores ressaltam que enquanto os métodos clássicos estão enraizados na noção de probabilidade como a frequência relativa limitante de um evento numa série repetida de tentativas idênticas (chamados de métodos frequentistas), nos métodos bayesianos é utilizada a noção de probabilidade subjetiva. Isso significa que os métodos bayesianos consideram uma avaliação subjetiva do estado de conhecimento sobre os parâmetros dos modelos de interesse, dadas todas as evidências disponíveis.

Em outras palavras, na abordagem clássica, os parâmetros são aleatórios, a probabilidade é uma “propriedade física”, também conhecida como uma frequência relativa, e as técnicas para cálculo de intervalo de confiança são utilizadas para inferir sobre frequências relativas. Por outro lado, na abordagem bayesiana, as variáveis são incertas, a probabilidade é uma propriedade do especialista que a define, ou seja, uma probabilidade subjetiva, e o teorema de Bayes é utilizado para inferir sobre a chance de ocorrência de eventos a partir da probabilidade conhecida de outros eventos. As principais diferenças entre a abordagem bayesiana e a clássica são resumidas no Quadro 4.

	Clássica	Bayesiana
Variável	Aleatória	Incerta
Probabilidade	Propriedade física (objetiva)	Grau de crença (subjetiva)
Inferência	Intervalo de confiança	Teorema de Bayes

Quadro 4 – Diferenças entre as abordagens clássica e bayesiana
Fonte: Khodakarami (2009).

Os trabalhos de autores como Hamada *et al.* (2008) e Doro, Donatelli e Schneider (2009) indicam que à medida em que o tamanho das amostras aumenta, as diferenças de resultados entre os métodos clássicos e o método Bayesiano tornam-se insignificantes. Por outro lado, essa constatação sugere que a utilização do método bayesiano é muito útil principalmente nos casos em que existem poucos dados experimentais disponíveis, uma vez que outras fontes de informação podem ser incorporadas.

Hamada *et al.* (2008) apresentam uma importante consequência da probabilidade subjetiva utilizada pela inferência bayesiana: é que ela permite incorporar o uso da informação além do que classicamente se obtém dos dados experimentais. Os autores ainda enfatizam que o uso de informações relevantes constitui-se num componente bastante útil e poderoso da abordagem bayesiana. É possível citar várias fontes de informação ou conhecimento que podem ser incorporadas, como análises computacionais, dados gerais da indústria, resultados de testes anteriores do produto, dados de produtos similares e a opinião de especialistas.

2.3.1 Redes Bayesianas

Uma Rede Bayesiana, segundo define Jensen (1996) *apud* Khodakarami (2009), consiste em um grafo acíclico direcionado, composto por um conjunto de nós, representando variáveis, e um conjunto de arcos, representando a influência causal entre as variáveis. A variável que dá origem a um arco é chamada de pai e a variável cujo arco aponta é chamada de filha (L'ASTORINA, 2009). As variáveis são relacionadas quantitativamente através de tabelas de probabilidades condicionais. Jensen (2001) *apud* Kjaerulff e Madsen (2010) apresenta uma definição mais formal e completa, conforme a seguir:

Uma Rede Bayesiana $\mathcal{N}=(\mathcal{X}, \mathcal{G}, \mathcal{P})$ consiste de:

- a) um grafo acíclico $\mathcal{G}=(V,E)$ com nós $V=\{v_1, \dots, v_n\}$ e ligações direcionadas E;
- b) um conjunto de variáveis aleatórias discretas, \mathcal{X} , representado pelos nós de \mathcal{G} ;
- c) um conjunto de distribuições probabilísticas condicionais, \mathcal{P} , contendo uma distribuição $\mathcal{P}(X_v | X_{pa(v)})$, para cada variável aleatória X_v e \mathcal{X} .

Segundo *apud* Kjaerulff e Madsen (2010), uma RB constitui uma distribuição de probabilidades sobre um conjunto de variáveis aleatórias, \mathcal{X} do domínio do problema. O conjunto de distribuições probabilísticas, \mathcal{P} , especifica uma multiplicação de fatores da distribuição probabilística sobre \mathcal{X} , conforme pode ser visto na equação (10).

$$P(\mathcal{X}) = \prod_{v \in V} P(X_v | X_{pa(v)}) \quad (10)$$

2.3.2 Construção de Redes Bayesianas

De acordo com Kjaerulff e Madsen (2010), uma RB pode ser construída tanto manualmente, como automaticamente através de dados, ou ainda pela combinação do processo manual e do automático, na qual o conhecimento parcial sobre a estrutura (grafo) e os parâmetros (tabela de probabilidade dos nós ou funções) é associado a informações estatísticas extraídas de um banco de dados de casos. Os mesmos autores ressaltam que a construção manual de uma RB pode ser uma tarefa árdua, necessitando de muitas habilidades, criatividade e uma comunicação próxima com os especialistas.

Khodakarami (2009) descreve que a construção de uma RB ocorre através de três fases, descritas a seguir:

A primeira fase é a identificação das variáveis importantes e de seus possíveis estados. A identificação das variáveis de um problema não é sempre uma tarefa fácil, além de necessitar de alguma prática (KJAERULFF E MADSEN (2010). Heckerman (1996) *apud* Khodakarami (2009) fornece algumas dicas de como definir as variáveis:

- a) identificar corretamente as metas da modelagem (por exemplo, previsão, explanação ou exploração);
- b) identificar as observações que podem ser relevantes para o problema;
- c) determinar qual subconjunto de observações vale a pena modelar, considerando a complexidade da rede;
- d) organizar as observações em variáveis (construtos), contendo estados mutuamente exclusivos.

Para identificar as variáveis do problema também pode ser útil a distinção entre os tipos de variáveis, conforme descrito por Kjaerulff e Madsen (2010) e Jensen (2001):

- a) variáveis do problema: são as variáveis de interesse, também chamadas de variáveis de hipótese, que são aquelas que queremos saber seus valores dadas as observações e, geralmente, não é possível observar diretamente as variáveis do problema;
- b) variáveis de informação: são variáveis cujas informações podem estar disponíveis. Kjaerulff e Madsen (2010) classificam essas variáveis em dois tipos:
 - informações de *background*: são informações disponíveis antes da ocorrência do problema e possuem uma influência causal nas variáveis do problema e nas variáveis de sintoma;

- informações sobre sintomas: são variáveis causadas pelas variáveis do problema, ou seja, são observações de consequências da presença do problema;
- c) variáveis de mediação: são variáveis não observadas nas quais as probabilidades posteriores não são de interesse imediato, mas possuem um papel importante de relações causais com os sintomas do problema. Khodakarami (2009) explica que essas variáveis são introduzidas algumas vezes para simplificar as TPNs.

A segunda fase é a chamada Elicitação¹³ da estrutura do modelo. Trata-se da identificação das relações existentes entre as variáveis e representação dessas relações através de um grafo. A maneira mais comum de elicitar a estrutura do modelo é através das relações causais que existem entre as variáveis identificadas na etapa anterior. Kjaerulff e Madsen (2010) apresentam a estrutura causal típica de uma rede probabilística, a partir da definição dos tipos de variáveis, conforme Figura 16.

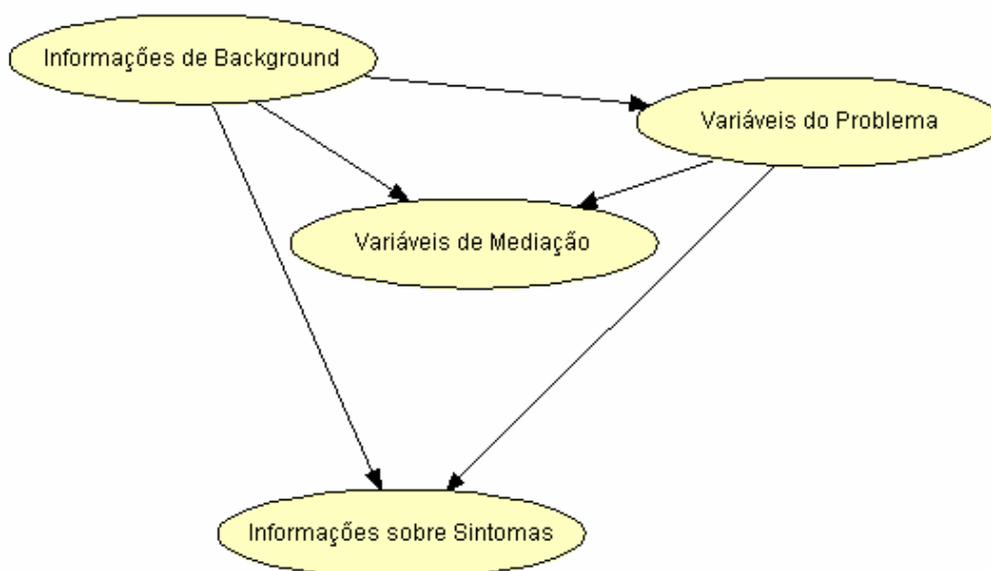


Figura 16 – Estrutura causal típica de uma rede probabilística
Fonte: Kjaerulff e Madsen (2010).

Neil, Fenton e Nielsen (2000) desenvolveram um método de elicitar a estrutura do modelo, através do qual seus fragmentos do modelo são classificados pelo o que os autores chamam de idiomas. Os idiomas são relações arquetípicas, representadas através de cinco subestruturas que ocorrem com maior frequência, classificadas de acordo com a sintaxe e a

¹³ Elicitação é um anglicismo derivado da palavra *elicitation*, que significa obter informações ou reações. Embora ainda não oficializado na língua portuguesa, é usado com frequência para descrever a atividade de obtenção de requisitos (GALETTI E SPINOLA, 2005, APUD LAHOZ, 2009).

semântica. Os cinco idiomas descritos por Neil, Fenton e Nielsen (2000) são os seguintes: síntese, “causa-consequência”, medição, indução e reconciliação. Mais detalhes sobre a elicitação do modelo através de idiomas podem ser vistos nos trabalhos de Neil, Fenton e Nielsen (2000), Khodakarami (2009) e Kjaerulff e Madsen (2010).

Quanto à definição dos possíveis estados das variáveis, Fenton, Neil e Caballero (2006) indicam que é bastante comum utilizar em aplicações reais as escalas subjetivas do tipo [muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto], ao mesmo tempo em que geralmente existem poucos dados estatísticos que permitem fazer uma relação probabilística entre os nós pais e o nó filho. Os mesmos autores relatam que em muitos estudos comerciais em que eles estiveram envolvidos, os especialistas, muitas vezes, não se satisfizeram com escalas de três níveis, do tipo [baixo, médio, alto]. Kjaerulff e Madsen (2010) ressaltam que o uso de níveis como esses podem facilitar a avaliação das probabilidades pelos especialistas. Os autores apresentam como exemplo uma escala contendo nove níveis, entre 0 (impossível) e 1 (certeza).

A terceira fase para a construção da RB é denominada elicitação dos parâmetros numéricos do modelo. Nela é feita a construção das Tabelas de Probabilidade dos Nós (TPNs), ou seja, é a parte qualitativa do modelo. Kjaerulff e Madsen (2010) alertam que essa fase tende a ser a mais difícil. Khodakarami (2009), por outro lado, esclarece que as TPNs representam a força da dependência causal entre os nós conectados do modelo. O mesmo autor complementa que as TPNs podem ser construídas através de uma tabela contendo probabilidades discretas ou uma distribuição contínua de probabilidades.

Segundo Kjaerulff e Madsen (2010), as TPNs representam distribuições de probabilidade com domínios variando no intervalo $[0;1]$. Os mesmos autores definem que caso a rede probabilística também contenha funções de utilidade, ela passa a ser chamada de diagrama de influência. As Funções de Utilidade (FUs) representam funções com domínios variando no intervalo $[-\infty;\infty]$. Elas são utilizadas para auxiliar os tomadores de decisão a identificar dentro das possíveis alternativas qual a que apresenta um maior valor (utilidade).

De acordo com Khodakarami (2009), em muitas aplicações, inclusive nas de gestão de riscos, existem pouco ou nenhum dado confiável disponível para a construção de TPNs, sendo o conhecimento de especialistas a principal fonte de informação probabilística. Para dar cabo a essa necessidade de utilizar o conhecimento de especialistas, muitas técnicas vêm sendo desenvolvidas para elicitar as probabilidades (RENOOIJ, 2000; MEYER; BOOKER, 1991; VAN DER GAAG, 1999, *apud* KHODAKARAMI, 2009). Durante o desenvolvimento do modelo proposto nesta dissertação, foi utilizada uma dessas técnicas, descrita no Capítulo 4.

2.3.3 Aplicação e Análise de Redes Bayesianas

Uma vez construída a RB, através da identificação das variáveis, das relações causais entre elas e da quantificação probabilística, a RB está praticamente pronta para ser utilizada de acordo com o objetivo a que ela se propõe. Conforme já citado, tendo em vista a dificuldade prática de efetuar uma grande quantidade de cálculos e utilizar algoritmos manualmente, na prática a RB ainda precisa ser modelada através de algum software. No item 2.4.3.4 serão citados alguns software e algoritmos mais utilizados.

2.3.3.1 Aprendizado em Redes Bayesianas

De acordo com o que descrevem Pourret, Naim e Marcot (2008) o processo de aprendizado em RBs pode ser dividido em três partes conforme representado na Figura 17 e descrito a seguir:

- Entradas: trata-se da elicitación da estrutura e/ou dos parâmetros numéricos do modelo, através da opinião de especialistas, ou seja, a RB inicial, e dados;
- Saída: é a RB após atualizações da distribuição de probabilidades e/ou das relações causais entre as variáveis a partir de dados obtidos (RB');
- Algoritmo de aprendizado: responsável pela atualização da RB, ele pode ter duas funções; a de determinar quais as relações causais devem ser mantidas ou criadas na estrutura da RB e a de atualização dos parâmetros.

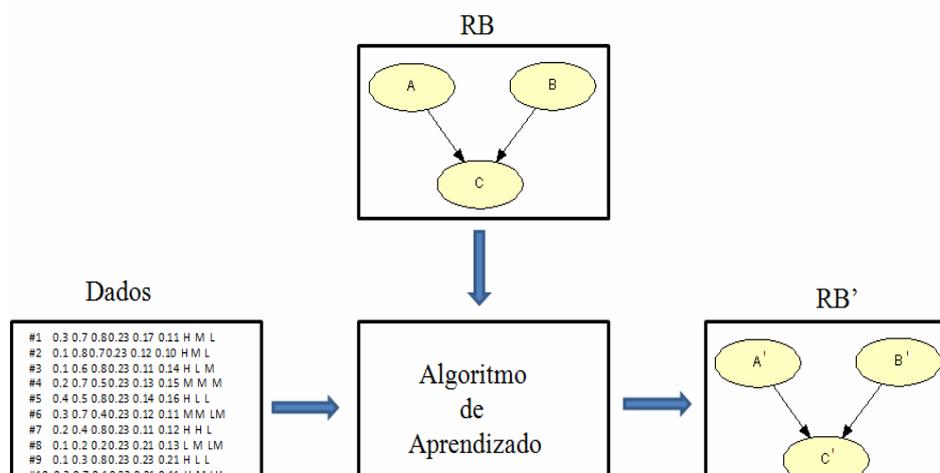


Figura 17 – Processo de Aprendizado em Redes Bayesianas
Fonte: Pourret, Naim e Marcot (2008). Adaptada pelo autor.

Kjaerulff e Madsen (2010) apresentam detalhes dos dois casos particulares de aprendizado em RB. O primeiro caso é o chamado aprendizado da estrutura; a estrutura como um todo é construída a partir dos dados de entrada, ou seja, não existe uma RB inicial. Existem classes diferentes de algoritmos para fazer isso, como os de *Search-and-score* e os *Constraint-based*, assim como uma combinação dessas duas classes. Naturalmente, para que seja possível o aprendizado da estrutura é necessária uma quantidade significativa de dados.

O segundo caso é chamado de aprendizado de parâmetros, que é mais simples, pois a estrutura da RB já é conhecida, já que existe uma RB inicial. Nesse caso, portanto, o algoritmo precisa aprender somente as distribuições de probabilidade (TPNs). Existem algoritmos para o aprendizado em lotes, ou seja, a partir de um conjunto de dados, como o algoritmo EM (Estimativa-Maximização) e algoritmos para o aprendizado sequencial, também chamado de algoritmos de adaptação, nos quais as evidências são utilizadas uma a uma para atualizar a TPN. Pode-se dizer que no aprendizado sequencial a experiência é estendida no sentido de incluir tanto o conhecimento dos especialistas quanto os dados de casos anteriores. Os mesmos autores explicam que os algoritmos de aprendizado sequencial possibilitam reduzir a influência de casos do passado, dando maior relevância aos casos mais recentes, sendo que esse processo é denominado *fading*.

2.3.3.2 Inferência em Redes Bayesianas

De acordo com Karcher (2009), a inferência em RB é o processo de atualização das probabilidades de variáveis *a posteriori*, dada uma evidência fornecida. Para exemplificar o processo de inferência em RB, será utilizado novamente o exemplo anterior: supondo agora que a empresa tenha a evidência de que a equipe é inexperiente, deseja-se saber qual a probabilidade de que o projeto venha a apresentar falha. A capacidade do modelo de prever permite-nos fazer tal inferência através da informação obtida, por meio do cálculo da distribuição posterior da variável FP (Falha em Projeto).

Segundo Kohdakarami (2009), vários métodos têm sido desenvolvidos há mais de vinte anos para melhorar a eficiência da inferência probabilística em RBs. Karcher (2009) menciona existir dois tipos de inferência em RB: os exatos e os aproximados. O algoritmo exato que mais se destaca e vem sendo adotado é o *Junction Tree*, proposto por Jensen em 1991 (KHODAKARAMI, 2009). Também chamado de *Join Tree* e *Markov Tree*, esse algoritmo é baseado na Teoria dos Grafos. Mais detalhes sobre o algoritmo *Junction Tree* são fornecidos por Kjaerulff e Madsen (2010).

Karcher (2009) explica que os algoritmos exatos são ineficientes em redes com uma grande quantidade de nós e arcos. Nesses casos, Neapolitan (2004) *apud* Karcher (2009) sugere a utilização de algoritmos aproximados, baseados em simulação estocástica, tais como: *Forward Sampling*, *Likelihood Weighting*, *Gibbs Sampling* e *Metropolis-Hasting*.

2.3.3.3 Técnicas de Análise utilizando Redes Bayesianas

Conforme visto anteriormente no referencial teórico sobre gestão de riscos, uma vez identificados e quantificados os riscos, deve ser avaliada a necessidade de definir ações para reduzir a probabilidade de ocorrência e/ou o impacto dos riscos a níveis aceitáveis, durante a etapa de avaliação dos mesmos. Segundo Aven (2004), o propósito da análise de riscos é dar suporte à tomada de decisões, através da análise, descrição e comunicação dos riscos. Uma das conclusões importantes ao estudar a inferência em Redes Bayesianas, é que ela se mostra como uma ferramenta promissora de apoio à tomada de decisão na etapa de avaliação de riscos, pois o impacto das decisões pode ser avaliado ao traduzi-los adequadamente nos níveis inferidos nas variáveis do modelo construído.

A seguir serão descritas duas técnicas de análise de redes bayesianas: a Análise de Sensibilidade e a Análise do Valor da Informação; ambas úteis para análise da RB construída com o objetivo de suportar a tomada de decisões num ambiente de incertezas. Conforme descrevem Kjaerulff e Madsen (2010), há duas ferramentas principais de Análise de Sensibilidade em Redes Bayesianas: Análise de Sensibilidade das Evidências e Análise de Sensibilidade de Parâmetros. Na primeira é verificado o quanto os resultados da propagação de evidências são sensíveis frente às variações no conjunto de evidências. Já na segunda, por sua vez, é verificado o quanto os resultados da propagação de evidências são sensíveis frente a variações nos valores de um parâmetro (valor da TPN) do modelo.

A ferramenta de Análise do Valor da Informação (AVI) pode ser útil em situações em que haja um custo para obtenção de informações adicionais, mas que pode existir um valor

em utilizar essa informação para a tomada de decisão (o valor da redução da incerteza). Hugin Expert (2010) a define como um elemento central da análise de decisão em Redes Bayesianas. Kjaerulff e Madsen (2010) a definem como uma ferramenta para análise de o quanto é útil obter uma informação adicional antes que ela seja consultada. A ferramenta deve ser utilizada em uma Rede Bayesiana sempre considerando uma variável em que se deseja fazer uma hipótese. A partir dessa variável utilizada para referência, a ferramenta permite classificar todas as demais variáveis quanto ao valor da informação.

Detalhes adicionais sobre a Análise de Sensibilidade e Análise do Valor da Informação podem ser vistos em Kjaerulff e Madsen (2010), Hugin Expert (2010) e Druzdzel e Van der Gaag (1995).

2.3.3.4 Softwares para Redes Bayesianas

É necessário um forte apoio computacional para que seja viável a aplicação das Redes Bayesianas em modelos com uma quantidade razoável de nós e arcos. Tendo em vista essa necessidade, nos últimos anos foram desenvolvidos vários softwares para a construção e análise de Redes Bayesianas. Muitos deles são gratuitos e permitem livre acesso aos códigos, como os citados por Fenton e Neil (2007): *Genie&Smile Microsoft MSBNx*, *OpenBayes*, *RISO*, *SamLam e Powersoft*. Outros softwares comerciais também são citados por Fenton e Neil (2007), como o *AgenaRisk*, *BayesLab*, *Bayesware Discoverer*, *BNet*, *Hugin*, *Netica e Siam & Causeway*.

Muitos dos softwares comerciais mencionados, apesar de apresentarem custo para sua aquisição, oferecem versões de demonstração (limitadas por tempo de uso ou recursos disponíveis), além de opções de menor custo para pesquisadores. Alguns deles têm sido considerados tecnologias no estado da arte em Redes Bayesianas, como os softwares *Hugin* e *AgenaRisk*, ambos referenciados dessa forma por Kohdakarami (2009). No Capítulo 4 será justificada a escolha de um dos softwares para a construção do modelo proposto nesta dissertação.

Conclui-se que a utilização de Redes Bayesianas para análise de riscos tem o potencial de apresentar vários aspectos positivos, tais como a representação de conhecimento subjetivo, a atualização dinâmica do modelo e a representação causal entre as variáveis. Porém, ao mesmo tempo, existem alguns desafios na construção e na análise dos modelos, os quais têm sido, pelo menos em parte, resolvidos por vários pesquisadores e empresas de software, principalmente na última década. Certos estudos, mais recentes, de casos em aplicações

comerciais das Redes Bayesianas, como os citados por Fenton e Neil (2007) e Pourret, Naim e Marcot (2008), têm explicitado evidências de grande retorno sobre o investimento.

2.4 MODELOS REFERENCIAIS

Conforme pode ser visto na pesquisa do referencial teórico apresentada até aqui, vários estudos já foram feitos em temas de alguma forma relacionados com a presente dissertação. Vários trabalhos foram desenvolvidos na área da engenharia de confiabilidade, inúmeras pesquisas foram feitas sobre métodos e técnicas para avaliação e gestão de riscos, etc. Porém, no referencial teórico estudado, verificou-se que apenas na última década iniciaram-se pesquisas com certo grau de similaridade com o objetivo desta dissertação.

Neste item do capítulo serão apresentados modelos do chamado estado da arte na linha de pesquisa desta dissertação. Foram identificados cinco modelos mais relevantes, publicados entre 2001 e 2010 e desenvolvidos por pesquisadores da Grã-Bretanha, Luxemburgo, China, Índia e Estados Unidos. Ao final do capítulo, esses modelos serão relacionados entre si, comparando-se os fatores e dimensões de riscos.

2.4.1 Modelo para Avaliação dos Riscos do Projeto

O modelo proposto por Chin *et al.* (2009) visa à avaliação dos riscos existentes durante o projeto de um novo produto (RPRO) e é representado através da Figura 18.

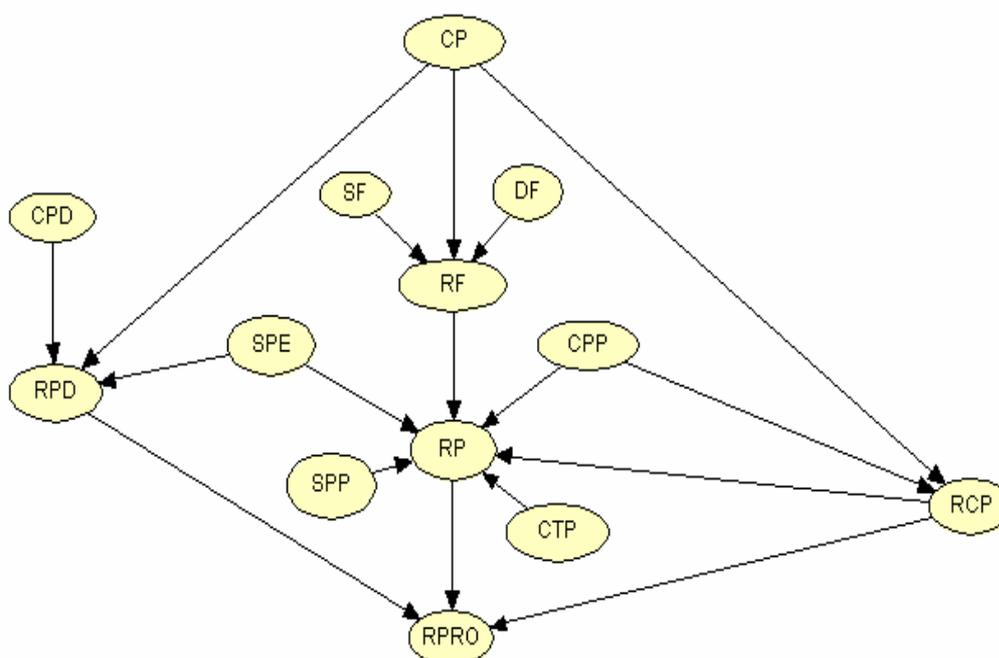


Figura 18 – Modelo de avaliação de riscos no projeto
Fonte: Chin *et al.* (2009). Adaptada pelo autor.

Os seguintes fatores de risco são identificados no modelo:

- a) Risco de Pesquisa e Desenvolvimento (RPD): representa a probabilidade de que as especificações do novo produto não sejam cumpridas dentro do cronograma esperado. Esse risco é impactado no modelo pelos seguintes fatores:
- Capacidade da área de P&D (CPD): mede o potencial da empresa em articular com sucesso as atividades de processo de projeto. Pode ser determinada pelo nível de experiência, conhecimento e competência dos engenheiros de processo de projeto da empresa e o histórico deles em resolver problemas relacionados ao processo de projeto dos produtos;
 - Similaridade com outros produtos existentes (SPE): avalia o nível de similaridade entre o novo produto e outros existentes quanto à estrutura, mecanismos funcionais, métodos de montagem e componentes utilizados;
 - Complexidade do Produto (CP): avalia o nível de complexidade do processo de projeto do produto do ponto de vista técnico, considerando a natureza e maturidade das tecnologias utilizadas nos mecanismos funcionais e funções do produto. Uma maior complexidade ocorre geralmente quando o produto possui maior quantidade de componentes e menores dimensões;
- b) Risco de Fornecimento (RF): é a probabilidade de que o fornecedor não esteja apto a entregar materiais com qualidade e no prazo esperado. Esse risco, além de ser impactado pela Complexidade do Produto (CP) também é impactado por:
- Similaridade do Fornecimento (SF): é a avaliação do nível de similaridade entre os componentes atuais e os utilizados no novo produto. Parte da premissa que componentes com alto nível de similaridade apresentam menores riscos tanto quanto à qualidade quanto à entrega;
 - Desempenho dos Fornecedores (DF): mede a qualidade e confiabilidade dos fornecedores previstos para o novo produto;
- c) Risco de Confiabilidade do Produto (RCP): é definida como a probabilidade de que o processo produtivo e o desempenho esperado durante o tempo de vida previsto na aplicação não seja atingido de acordo com os objetivos definidos. Conforme identificado no modelo, esse risco é impactado pela Complexidade do Produto (CP), já definida anteriormente, e também pelo seguinte fator:

- Complexidade do Processo Produtivo (CPP): avalia o nível de complexidade do processo produtivo do ponto de vista técnico e quanto à natureza e maturidade do uso de tecnologias previstas para serem utilizadas no produto. Essa variável é geralmente impactada pela precisão nos requisitos, facilidade de montagem, requisitos especiais de ferramentas e equipamentos, nível de automação, etc.
- d) Risco de Produção (RP): é a probabilidade de que os riscos de produção não possam ser cumpridos no prazo de entrega previsto. É impactado pelos seguintes fatores já descritos: Similaridade com outros produtos existentes (SPE), Complexidade do processo produtivo (CPP), Risco de Fornecimento (RF) e Risco de Confiabilidade do Produto (RCP). Além desses fatores, o RP também é impactado, de acordo com o modelo, pelo seguinte:
- Similaridade do Processo Produtivo (SPP): é a medição do nível de similaridade do processo produtivo, equipamentos e ferramentas, procedimentos, etc, do novo produto em relação aos existentes;
 - Capacidade Técnica de Produção (CTP): avalia o potencial da empresa em executar com sucesso as atividades de produção. Pode ser determinada pela precisão dos equipamentos, pela capacidade dos processos, pelo nível de competência dos operadores e técnicos de produção, eficácia do sistema de qualidade assegurada, etc.

2.4.2 Modelo TRACS

Outro modelo para análise de riscos do produto utilizando Redes Bayesianas é o do TRACS (*Transport Reliability, Assessment and Calculation System*). Esse sistema foi desenvolvido para o Ministério da Defesa da Grã-Bretanha com o objetivo de prever a confiabilidade de veículos militares durante a fase de projeto. Esse modelo será descrito a seguir utilizando como base o trabalho de Neil *et al.* (2001).

Os fatores da rede bayesiana considerados nesse modelo foram os seguintes:

- a) Reputação (com que qualidade a organização fez um bom trabalho no passado), definida por:
 - Registros Históricos de Projetos: qualidade dos resultados da organização em termos de qualidade de seus funcionários e qualidade dos procedimentos;

- Relevância dos Registros Históricos de Projetos: uma vez que organizações mudam, é necessário avaliar o quão relevante são os registros históricos em termos de o que se pode dizer com eles sobre a organização;
- b) Capacidade (o que a equipe atual é capaz de realizar). definida pelo seguinte:
 - Qualidade dos Procedimentos de Qualidade: essa é uma medição da qualidade dos procedimentos escritos, recomendações de processo de projeto, normas e documentação utilizados no projeto do produto;
 - Complexidade dos Requisitos do Projeto: representa a complexidade dos requisitos do cliente em relação ao produto. Requisitos mais complexos são mais difíceis de satisfazer;
 - Compressão do Cronograma: os cronogramas de projeto que são muito apertados podem ter um efeito devastador na confiabilidade do produto projetado;
- c) Processo de Projeto Atual (qual a qualidade do processo de projeto a ser aplicado):
 - Qualidade de Documentos de Inspeção: mede-se o quanto um plano de confiabilidade foi aplicado;
 - Qualidade da Análise de Riscos do Processo de Projeto: mede-se o quanto os riscos do produto foram devidamente avaliados através de ferramentas como FMECA, FTA, durante a execução do projeto.
- d) Confiabilidade do Produto (desempenho do produto final):
 - Confiabilidade Diferencial: mede a diferença esperada da taxas de falha entre o produto inicial e final, sendo influenciada pela avaliação da qualidade do processo de projeto.
 - Escopo da Mudança: essa variável identifica o quanto a melhoria de confiabilidade de um produto será influenciada pelo processo de projeto. Parte do princípio que produtos com alta confiabilidade terão o seu nível de confiabilidade pouco impactado por melhorias no processo de projeto.

O modelo TRACS para a etapa de projeto pode ser resumido da seguinte forma: a partir de um nível de confiabilidade prévio (λ_{pre}), utilizado a partir de produtos similares anteriormente desenvolvidos, para obter a confiabilidade esperada (λ_{post}) é aplicado um fator (confiabilidade diferencial), o qual é impactado pelo fator qualidade do processo de projeto e pelo o quanto se estima que a qualidade do processo de projeto tem relevância (escopo da

mudança). Já a qualidade do processo de projeto depende da qualidade do pessoal, da qualidade dos procedimentos e das dificuldades do projeto (complexidade e prazo).

A Figura 19 representa as variáveis do modelo TRACS e a relação entre elas.

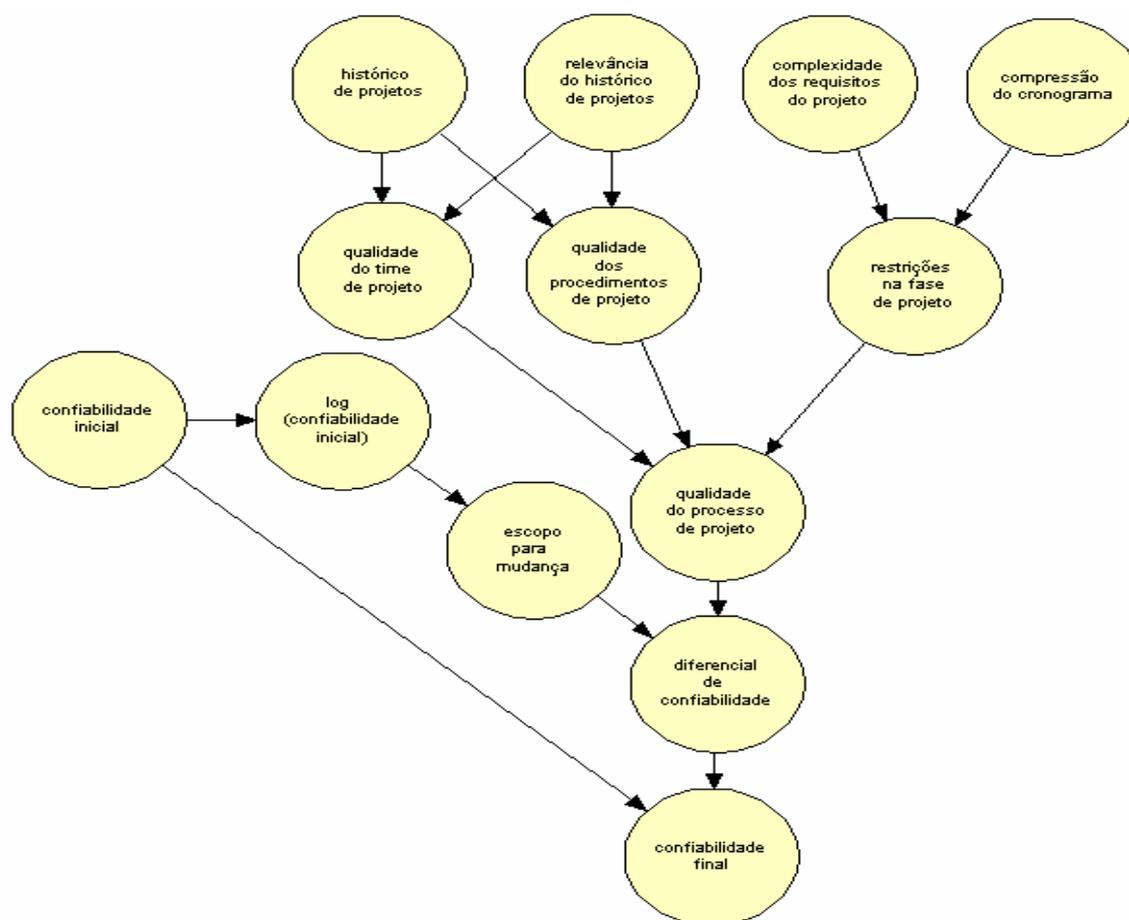


Figura 19 – Modelo TRACS
Fonte: Neil *et al.* (2001). Adaptada pelo autor.

Neil *et al.* (2001) justificam em seu artigo a importância em considerar as variáveis utilizadas no modelo, porém não indicam nem de que maneira foram identificadas, nem como foi mapeada a relação entre elas. De qualquer jeito, o modelo apresentado possui variáveis, que conforme descrevem os autores, são relevantes na fase de projeto do produto.

2.4.3 Modelo de Confiabilidade

Esse modelo é apresentado por Blessing e Chakrabarti (2009). Apesar de deixarem claro que o modelo apresentado tem apenas o objetivo de exemplificar a utilização da metodologia de *Design Research*¹⁴, ele possui elementos bem fundamentados, os quais são fruto da grande experiência dos autores no tema e pesquisas realizadas. Além disso, mesmo os autores não utilizando a abordagem de Redes Bayesianas, ao contrário dos modelos apresentados anteriormente, verifica-se que a forma como são apresentadas as relações entre variáveis é muito similar à estrutura de grafos de uma Rede Bayesiana, o que torna o modelo uma referência apropriada.

O modelo de Blessing e Chakrabarti (2009) é composto de duas partes: o que os autores chamam de parte superior e de parte inferior. A parte superior relaciona o impacto da confiabilidade do produto com outras variáveis do negócio, tais como custos de garantia, preço do produto, participação no mercado e lucro. Já a parte inferior representa as variáveis que impactam na confiabilidade do produto, ou seja, de forma análoga os mesmos objetivos da presente dissertação. Por esse motivo serão descritas as variáveis da parte inferior, conforme a seguir:

- a) Confiabilidade de Cada Detalhe Projetado: impactada pela utilização de métodos de *Design for Reliability* (DFR), pelo percentual do cronograma do projeto remanescente para fazer melhorias e pela confiabilidade do “*embodiment*”. Esse último construto representa o quanto o processo de projeto feito originalmente pelo projetista possui características que façam o produto ter a confiabilidade esperada, sendo impactado pelas chamadas três propriedades dos sistemas técnicos, conforme proposto originalmente por Pahl e Beitz (1996): níveis de clareza, simplicidade e unidade do produto projetado, os quais são descritos a seguir.
 - Simplicidade: depende da quantidade de componentes e interfaces do produto, é o oposto da complexidade do produto. Conforme acrescentam Smets, Van Houtum e Langerak (2010), embora a simplicidade de um produto seja reduzida automaticamente se aumentarmos os requisitos de desempenho, um produto com um processo de projeto mais simples sempre deveria ser buscado;

¹⁴ *Design Research*: metodologia de pesquisa; será explicado no Capítulo 3.

- Clareza: representa a não ambiguidade de um produto, ou seja, o quanto ficam evidentes as suas funções, facilitando a previsão de sua confiabilidade (SMETS; VAN HOUTUM; LANGERAK, 2010);
 - Unidade – é a contribuição relativa de cada elemento do sistema técnico, que deve ser de igual importância para o bom funcionamento do mesmo (AGUIRRE-ESPONDA, 1992);
- b) Qualidade do Uso do Produto: basicamente representa sua aplicação e é impactada pela clareza das instruções de uso e pela motivação de uso;
 - c) Qualidade da Produção: representa o impacto da manufatura na confiabilidade do produto;
 - d) Qualidade dos Componentes Comprados: representa o impacto de eventuais desvios na qualidade dos componentes fornecidos (suprimentos).

O modelo sugerido por Blessing e Chakrabarti, 2009 é representado na Figura 20.

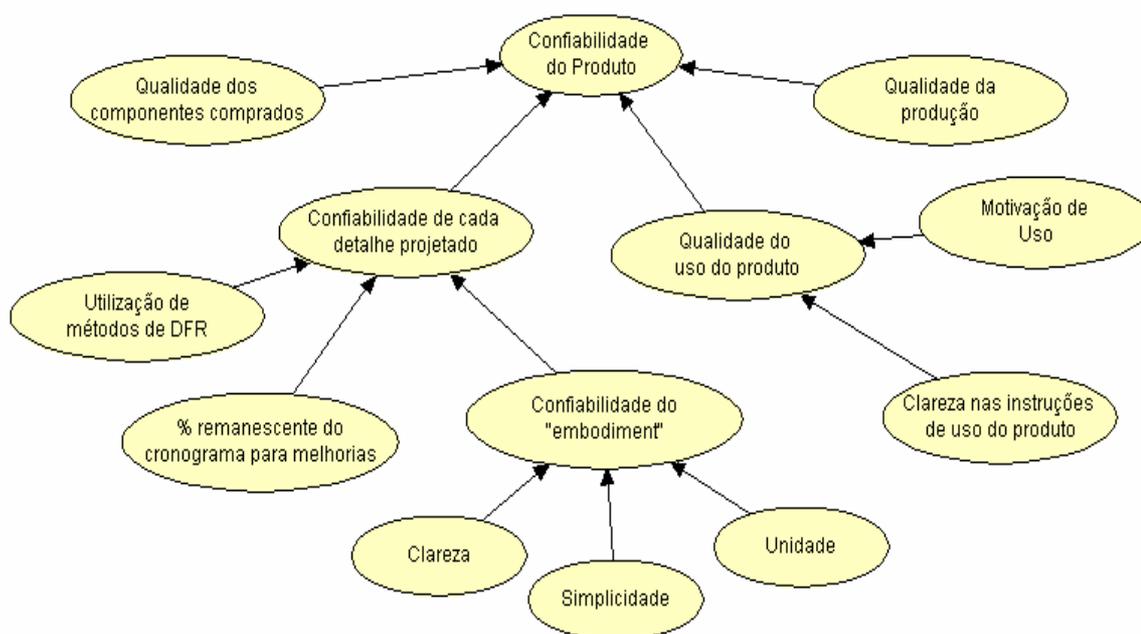


Figura 20 – Modelo de Confiabilidade (parte inferior)
 Fonte: Blessing e Chakrabarti (2009). Adaptada pelo autor.

2.4.4 Modelo de Previsão de Defeitos de Software

No contexto do projeto de novos produtos, conforme ressaltam Murthy, Rausand e Østerås (2008), os ensaios (testes) são necessários para garantir que o processo de projeto vai ao encontro dos requisitos de desempenho, segurança, durabilidade, confiabilidade, etc. Porém, nos modelos relatados anteriormente não são apresentados construtos relacionados

diretamente aos ensaios de verificação e validação do produto durante a fase de projeto. Por esse motivo, foram buscados outros modelos que representassem tais construtos de uma forma coerente. Nesse sentido, as pesquisas na área de qualidade assegurada de software têm sido promissoras. Um exemplo é o modelo de previsão de defeitos em software de Fenton, Neil e Marquez (2008), no qual os construtos são relacionados através de uma rede bayesiana.

De forma similar como o modelo TRACS descrito anteriormente, um dos fatores que é apresentado como possuidor de impacto no nível de falhas é a “Qualidade do Processo de Projeto”, conforme Figura 21. Faz bastante sentido que tal construto apareça nesse modelo, ainda mais considerando o fato de que o desenvolvimento de ambos os modelos possuem em seu time alguns dos mesmos pesquisadores. Isso não significa que esse construto não seja significativo, mas assim como os demais, precisa ser posteriormente avaliado e confrontado.

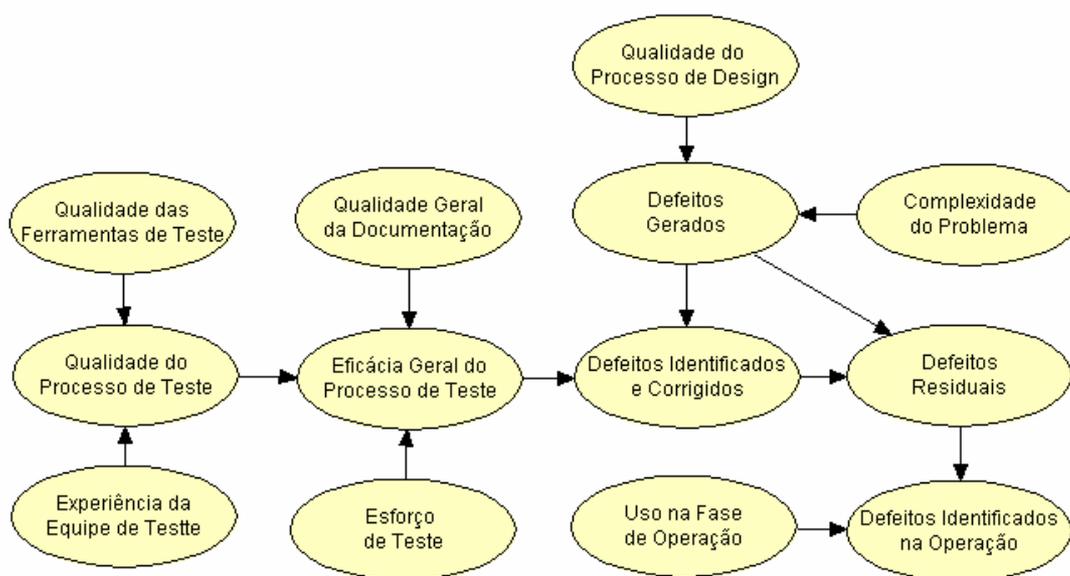


Figura 21 – Modelo de Previsão de Defeitos em Software
Fonte: Fenton, Neil e Marquez (2008). Adaptada pelo autor.

Outro construto que aparece no modelo como causa direta da “Quantidade de Defeitos Gerados”, é a chamada “Complexidade do Problema”. Um ponto interessante desse modelo é a forma como é obtida a quantidade de defeitos residuais de um projeto: é a partir da “Quantidade de Defeitos Gerados” e também dos defeitos que foi possível identificar e corrigir (“Defeitos Gerados e Corrigidos”).

No modelo de Fenton, Neil e Marquez (2008), o que determina a probabilidade de identificar os defeitos de software é o que se chama de “Eficácia Geral do Processo de Teste”, que é determinado pelas seguintes variáveis:

- a) Qualidade do Processo de Teste: resultantes das variáveis Experiência do Time de Processo de Projeto e Qualidade das Ferramentas de Teste;
- b) Qualidade Geral da Documentação de Teste;
- c) Esforço de Teste.

No modelo apresentado, não foi identificado um construto para representar a capacidade da organização em corrigir os defeitos constatados, embora os autores demonstrem estar cientes da relevância desse fator.

2.4.5 Scorecard para Avaliação de Programas de Confiabilidade da AMSAA

Embora sejam construídos numa estrutura diferente em relação às redes bayesianas, os *scorecards* podem trazer *insights* adicionais na discriminação dos construtos mais relevantes para o modelo. Na presente pesquisa, o estudo de um *Scorecard* relacionado ao tema, teve como principal objetivo servir como uma espécie de *checklist*, a partir do qual foram verificadas quais variáveis do modelo ainda não haviam sido identificadas em modelos previamente pesquisados. Além disso, o *Scorecard* pode vir a ser útil para a elaboração dos construtos em si (artefato adicional), a partir de determinação de níveis de pontuação.

Sheppler e Welliver (2010) apresentaram um *Scorecard* desenvolvido pela AMSAA (*United States Army Materiel Systems Analysis Activity*) para a avaliação de fornecedores do exército americano. Esse *Scorecard* possui como principal referência a pesquisa de Sanjay Tiku denominada “Avaliação da Capacidade de Confiabilidade para Manufaturas de Eletrônica” (TIKU, 2005), na qual se apresentou um modelo para avaliação da capacidade das organizações em desenvolverem produtos eletrônicos com confiabilidade. O autor em sua pesquisa quantitativa, realizou uma extensa pesquisa com várias indústrias eletrônicas. Esse trabalho também foi uma referência importante para a elaboração da norma IEEE P6124. Já o trabalho de Sheppler e Welliver (2010) basicamente teve seu mérito a partir do modelo de Tiku (2005), ao definir alguns critérios para o estabelecimento das pontuações para cada item do modelo para formar o *Scorecard*. Como o artigo de Sheppler e Welliver (2010) não revela um nível de detalhes muito grande do modelo, também será utilizada a referência de Tiku (2005) para descrever os construtos.

O *Scorecard* descreve oito áreas gerais para avaliação da confiabilidade de um programa, resumidas no Quadro 5. Em cada uma dessas áreas são apresentados alguns subitens, os quais são avaliados entre os níveis “Baixo”, “Médio” e “Alto”, para a composição de um índice geral de risco do programa de confiabilidade do produto. Para cada área é

atribuído um peso, que conforme descrevem os autores, é atualizado de acordo com a experiência da empresa quanto à relevância dos itens. Esse *Scorecard* possui certo nível de similaridade quanto aos objetivos da presente pesquisa, pois também é um método para avaliação de riscos em projetos.

Área	Propósitos
1. Requisitos de Confiabilidade e Planejamento	<ul style="list-style-type: none"> - Entender os requisitos de confiabilidade do cliente - Desenvolver requisitos de confiabilidade para o produto - Planejar atividades de confiabilidade para atender os requisitos
2. Treinamento e Desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> - Melhorar as habilidades técnicas e especializadas do pessoal - Garantir que os funcionários compreendam os planos e metas de confiabilidade - Para acompanhar ou desenvolver técnicas ou métodos que impactam na confiabilidade Planejar atividades de confiabilidade para atender os requisitos
3. Análises de Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Conduzir revisões do processo de projeto para identificar modos de falha potenciais e mecanismos - Determinação de níveis de criticidade de componentes e subcomponentes
4. Ensaios de Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Explorar limites do processo de projeto dos produtos e identificar deficiências do projeto - Demonstrar a confiabilidade dos produtos através de ensaios
5. Gestão da Cadeia de Suprimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar fontes de suprimento que satisfaçam os requisitos de confiabilidade - Gestão sobre os fornecedores e subfornecedores - Acompanhar as notificações de mudança de componentes
6. Acompanhamento e Análise de Falhas	<ul style="list-style-type: none"> - Acompanhar as falhas identificadas na manufatura, nos ensaios e em campo - Realizar a análise das falhas e identificar as causas-raiz - Registrar as ações corretivas para remover as causas das falhas
7. Verificação e Validação	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar a implementação do plano de confiabilidade do produto - Conduzir auditorias internas e externas sobre as atividades de confiabilidade - Validar as previsões de confiabilidade a partir do desempenho em campo

8. Melhorias de Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Registrar mudanças nos requisitos de confiabilidade dos produtos - Melhorar a confiabilidade dos produtos através da implementação das ações corretivas
--------------------------------	--

Quadro 5 – Áreas do *Scorecard* de Confiabilidade
 Fonte: Tiku (2005). Adaptado pelo autor.

As oito áreas do *Scorecard*, assim como os subitens de cada área são descritos a seguir:

- a) Requisitos de Confiabilidade e Planejamento: esse construto representa o entendimento dos requisitos de confiabilidade dos clientes, a geração de requisitos de confiabilidade e as atividades de planejamento que são necessárias para garantir que requisitos apropriados de confiabilidade sejam alcançados. Os autores mencionam que dez itens são considerados na definição desse construto, mas não chegam a mencionar todos eles. O trabalho de Tiku (2005), por outro lado, detalha cada subitem do seu modelo, além do peso de cada um a partir de sua pesquisa qualitativa com as indústrias do setor eletrônico.
- b) Treinamento e Desenvolvimento (T&D): indica o grau de implementação de atividades de treinamento e desenvolvimento dos funcionários em relação a conceitos e ferramentas de confiabilidade. Não está vinculado apenas ao pessoal técnico que está mais diretamente relacionado ao projeto, mas a todos os funcionários, principalmente os gestores. Também avalia o quanto a organização está atualizada nos conhecimentos de técnicas e métodos que impactam na confiabilidade do produto.
- c) Análises de Confiabilidade: nesse conjunto de itens, é feita a avaliação de o quanto a organização faz revisões do processo de projeto com o objetivo de identificar modos de falha potenciais, níveis de criticidade e também o quanto a organização utiliza ferramentas de engenharia da confiabilidade para fazer previsões em relação ao desempenho dos produtos.
- d) Ensaios de Confiabilidade: avalia a capacidade da organização em realizar ensaios de verificação e validação dos produtos, explorando os limites tecnológicos para identificar deficiências, mostrar os níveis de confiabilidade necessários durante o projeto e realimentar as previsões de confiabilidade a partir dos resultados dos ensaios.

- e) **Gestão da Cadeia de Suprimentos:** avalia a capacidade em obter componentes que satisfaçam as metas de confiabilidade, como a organização gerencia os seus fornecedores e subfornecedores e também o acompanhamento de notificações de alterações de componentes.
- f) **Acompanhamento e Análise de Falhas:** avalia o quanto as falhas nos produtos são devidamente registradas e acompanhadas, seja durante o projeto ou mesmo durante a aplicação final. Avalia, também, a capacidade da organização na análise da causa-raiz e o registro das ações corretivas.
- g) **Verificação e Validação:** esse construto está relacionado à efetiva verificação da implementação do plano de confiabilidade dos produtos, assim como à execução de atividades de auditoria em relação a atividades que afetam a confiabilidade do produto.
- h) **Melhorias de Confiabilidade:** nesse construto é avaliada a capacidade da organização em registrar as mudanças de requisitos de confiabilidade dos produtos, além da capacidade em melhorar sua confiabilidade dos produtos a partir de ações tomadas e também pelo uso de novas ferramentas e métodos.

2.4.6 Comparativo entre os Modelos Referenciais

No Quadro 6 pode ser vista uma síntese dos modelos pesquisados quanto às dimensões e fontes de risco relacionadas com o projeto e manufatura do produto.

Modelo -----		Riscos em Projetos	TRACS	Confiabilidade	Defeitos em Software	Scorecard
Autores do modelo -----		Chin <i>et al.</i> (2009)	Neil <i>et al.</i> (2001)	Blessing e Chakrabarti (2009)	Fenton, Neil e Marquez (2008)	Sheppler e Welliver (2001); Tiku (2005)
Dimensões de Risco -----		Confiabilidade, Qualidade, Prazo de entrega	Confiabilidade Diferencial	Confiabilidade	Qualidade do software	Confiabilidade
Fontes de	Processo de Projeto					
	Suprimento					
	Produção					
	Restrições do Projeto					
	Aplicação					

Risco	Ensaio					
	Ações Corretivas					
	Gestão					

Quadro 6 – Dimensões e Fontes dos Riscos de Modelos Pesquisados
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o único que contempla todas as fontes pesquisadas de risco é o *Scorecard*, no entanto esse modelo não possui uma relação causal entre as variáveis, ao contrário dos demais. Por esse motivo, o modelo proposto foi desenvolvido utilizando todas essas referências, conforme será descrito no Capítulo 4.

Concluindo a edificação do arcabouço teórico da presente dissertação, as principais sustentações foram relacionadas de uma forma lógica, conforme ilustrado na Figura 22, a partir da definição das etapas do método de avaliação de riscos. De uma forma simplificada, numa etapa inicial do método os perigos de origem técnica e gerencial devem ser identificados. Os referenciais teóricos que suportam a identificação dos perigos de origem técnica são a Teoria da Confiabilidade e as técnicas de análise de riscos. Ao mesmo tempo, a identificação dos perigos de origem gerencial deve ser sustentada por meio do entendimento do contexto do projeto no novo produto, o que é permitido principalmente através do contexto da indústria eletrônica, do processo de PDP e da gestão de riscos operacionais.

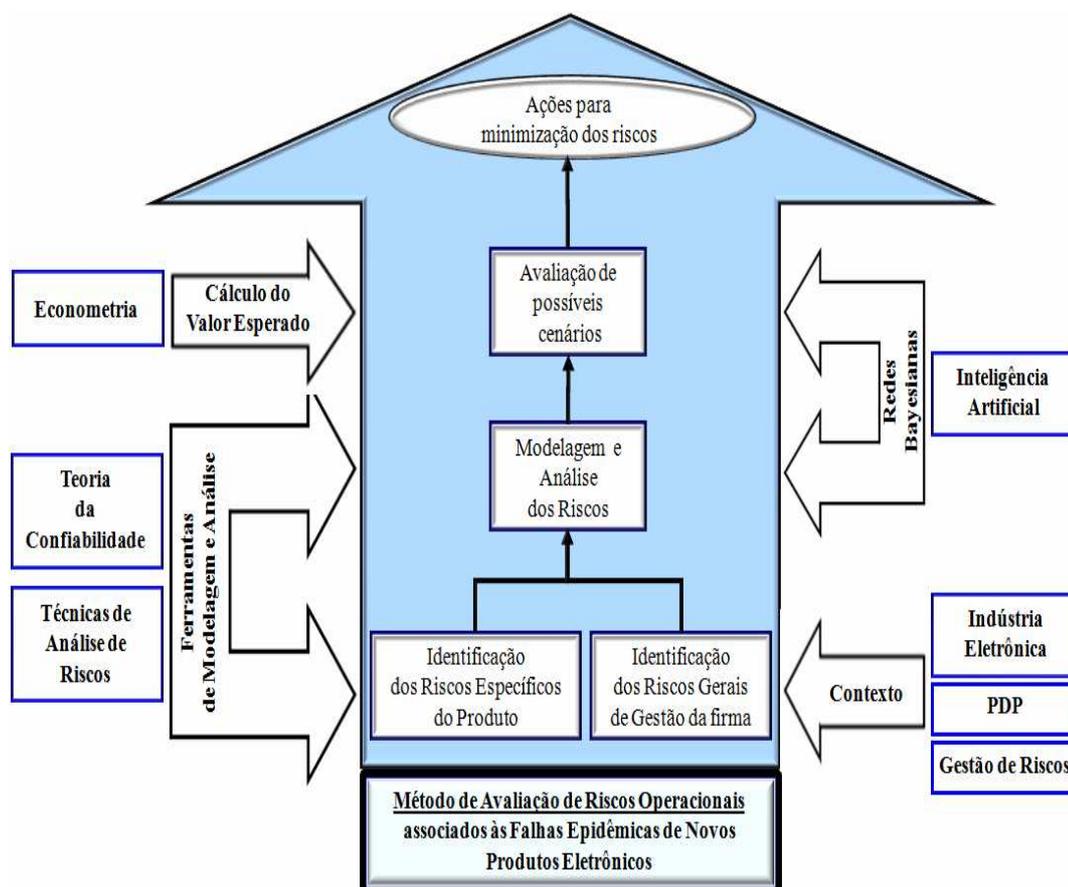


Figura 22 – Principais Sustentações Teóricas desta Dissertação
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na etapa seguinte, após serem identificados os riscos técnicos e gerenciais, devem ser feitas a modelagem e a análise dos riscos, o que também é suportado através das ferramentas de modelagem e análise clássicas, além das Redes Bayesianas. Finalmente, utilizando a modelagem por Redes Bayesianas e a Econometria, a avaliação de diferentes cenários suportará a definição de ações potenciais para minimizar o risco de falhas epidêmicas em campo.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa pode ser definido como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que orientam a geração de conhecimentos válidos, indicando um caminho a ser seguido (LAKATOS e MARCONI, 1990). Uma vez decidido sobre a questão de pesquisa, conforme apresentado no item 1.3 desta dissertação, a decisão sobre qual método utilizar foi, estimulada pela classificação da pesquisa, conforme a seguir:

- a) natureza da pesquisa: aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos (SILVA e MENEZES, 2001);
- b) forma de abordagem do problema: quantitativa, pois mesmo buscando discutir questões estratégicas a partir de avaliações qualitativas, visa desenvolver um modelo que traduza dados qualitativos em parâmetros quantitativos;
- c) classificação dos objetivos: a pesquisa é de natureza exploratória, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito.

Ao buscar-se o desenvolvimento de um método a ser utilizado por profissionais da indústria, o paradigma *Design Research (DR)*, também conhecido como *Design Science*, foi considerado adequado à questão de pesquisa formulada, ao objetivo geral e à natureza dessa dissertação. A seguir será descrito o *Design Research*, seus princípios e suas etapas. Ainda, será justificado mais detalhadamente o motivo pelo qual o pesquisador escolheu tal metodologia.

3.1 METODOLOGIA *DESIGN RESEARCH*

Segundo Blessing e Chakrabarti (2009), existem poucas publicações sobre a metodologia de *Design Research*, mesmo que a necessidade de resolver problemas metodológicos venha sendo discutida há um bom tempo. Manson (2006) define *Design Research* como um processo de utilização do conhecimento para projetar artefatos úteis e, então, utilizar vários métodos rigorosos para analisar se determinado artefato é ou não eficaz. Já Van Aken (2004) enfatiza que no *Design Research* a orientação é para a geração de conhecimento para projetar soluções, existindo uma preocupação objetiva com as ações necessárias para a operacionalização das proposições elaboradas.

O *Design Research*, conforme citado por Guimarães (2009), tem suas origens na Tecnologia da Informação (TI). A ideia perseguida era trabalhar em pesquisas relacionadas com a construção de artefatos nessa área. O autor cita que outras ciências de natureza aplicada, como a engenharia e a arquitetura, começaram a usar essa metodologia em suas pesquisas. Da mesma forma isso é descrito por Blessing e Chakrabarti (2009), ao mencionarem que algumas propostas de metodologia de *Design Research* foram feitas na área de processo de projeto de produto e também em áreas mais artísticas do processo de projeto, como a de *Design*¹⁵ industrial. Porém, nessas últimas áreas citadas, os autores afirmam existir pesquisadores que debatem o *Design*¹⁶ como pesquisa, mas não chegaram a propor uma metodologia específica.

3.1.1 Justificativa para Utilização do Método

A justificativa para a utilização do *Design Research* está ligada intimamente ao resultado almejado da pesquisa, qual seja: a criação de um artefato para potencial uso prático por outros pesquisadores e pelas empresas. Porém, apenas ao refletir sobre essa questão, surge um questionamento: o método pesquisa-ação não serviria para esse fim? Tal dúvida quanto às diferenças entre os métodos tem sido estudada por alguns pesquisadores, como Järvinen (2007) e Iivari e Venable (2009). A conclusão de Järvinen (2007) em seu trabalho é que existem aspectos coincidentes entre pesquisa-ação e a *Design Research*, a ponto de considerá-las abordagens similares de pesquisa. Já Iivari e Venable (2009) concluem no seu estudo que apesar da compatibilidade entre os dois métodos de pesquisa, suas premissas, interesses de

¹⁵ Nesse caso, o termo *Design* refere-se ao processo de projeto aplicado ao *layout* de produtos.

¹⁶ O termo *Design*, quando utilizado na presente dissertação sem outro termo associado a ele, significa o processo de projeto de uma maneira geral, não restrito apenas ao processo de projeto de produto.

pesquisa e atividades podem ser muito diferentes, dependendo do propósito da pesquisa. Cabe ressaltar que os pontos que foram decisivos para a escolha do método de pesquisa, dentre pesquisa-ação e *Design Research* foram os seguintes:

- a) *Design Research* pode criar artefatos inovadores, enquanto a pesquisa-ação explica a realidade ou tenta dar sentido a ela (IIVARI; VENABLE, 2009);
- b) A pesquisa-ação está direcionada a uma empresa específica, enquanto os artefatos gerados pelo *Design Research* buscam direcionar uma classe de problemas mais amplos (IIVARI; VENABLE, 2009);
- c) *Design Research* resolve problemas construtivos (produzindo novas inovações) e problemas de melhoria (melhorando o desempenho das entidades existentes), enquanto a pesquisa-ação modifica uma dada realidade ou desenvolve um novo sistema (JÄRVINEN, 2005).

3.1.2 Modelos de *Design Research*

Foram identificadas na literatura duas vertentes de modelos para o *Design Research*:

- a) modelo I: o que utiliza como ponto de partida o modelo proposto por Takeda *et al.* (1990), estudado por Vaishnavi e Kuechler (2004), Järvinen (2007) e Manson (2006);
- b) modelo II: o que utiliza elementos do modelo proposto por Duffy e Andreasen (1995), desenvolvido por Blessing e Chakrabarti (2009).

O modelo de proposto por Takeda *et al.* (1990) foi criado a partir da busca de representação do conhecimento para a execução de projeto assistido por computador (*CAD – Computer Aided Design*). Ao buscarem soluções para a problemática da representação do conhecimento, elaboraram um modelo básico de *Design Research* que vem sendo adaptado por alguns pesquisadores, como Vaishnavi e Kuechler (2004) e utilizado por outros, como Manson (2006), Gruginskie (2008) e Guimarães (2009).

O ponto de partida de Takeda *et al.* (1990) foi a utilização de um método experimental chamado de *Design Experiment*. Os autores explicam que esse método é um tipo de experimento psicológico no qual os projetistas são solicitados para implementar um artefato a partir de algumas especificações. Seguindo os experimentos é elaborado um modelo cognitivo

dos processos de projeto, o qual é construído tendo como base os ciclos de *Design*, conforme Figura 23. Os ciclos de *Design* consistem nos seguintes subprocessos (TAKEDA *et al.*, 1990):

- Conscientização do problema: identificar um problema pela comparação do objeto sob análise com as especificações;
- Sugestão: sugerir conceitos-chave necessários para resolver o problema;
- Desenvolvimento: construir soluções-candidatas a partir dos conceitos-chave utilizando vários tipos de conhecimento de *Design*;
- Avaliação: avaliar soluções-candidatas de várias maneiras, como a computação estruturada, a simulação ou a avaliação de custos;
- Conclusão: decidir qual solução adotar, modificando as descrições do objeto.

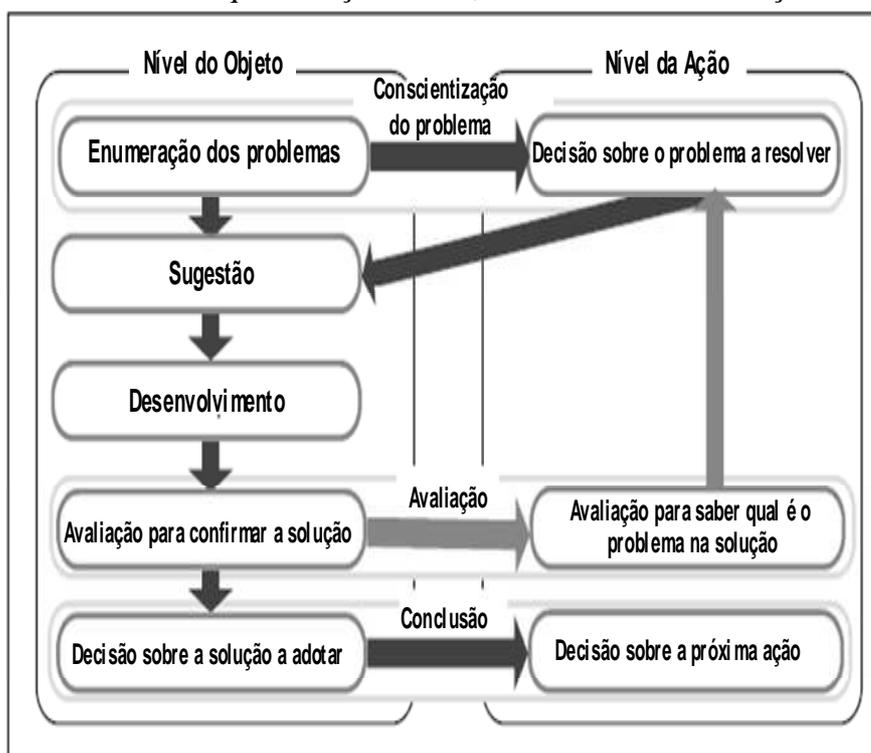


Figura 23– Modelo Cognitivo dos Processos de *Design*
Fonte: Takeda *et al.* (1990).

Adicionalmente ao estudar o ciclo do *Design*, Takeda *et al.* (1990), propuseram um modelo para representar o raciocínio que ocorre durante este ciclo. A contribuição de Vaishnavi e Kuechler (2004) ao modelo basicamente foi a de propor algumas alterações na representação das saídas, o que pode ser visto na Figura 24.

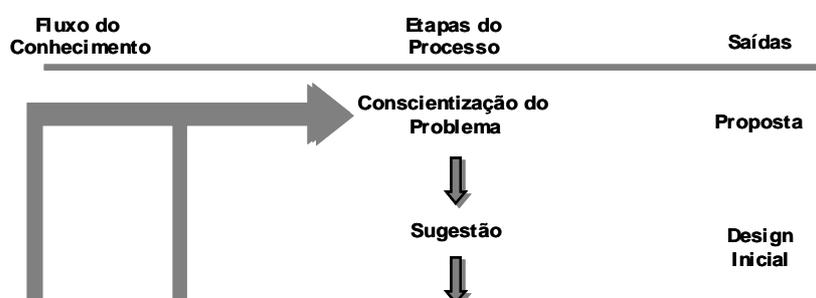


Figura 24 – Modelo I de *Design Research*

Fonte: Vaishnavi e Kuechler (2004).

De acordo com Manson (2006), as potenciais entregas de um *Design Research* são as seguintes:

- a) construtos: permitem descrever conceitos de forma precisa em seu campo de atuação, podendo ser formais ou relativamente informais, surgindo durante a concepção do problema e são refinados durante o ciclo do projeto;
- b) modelo: conjunto de declarações que expressam relações entre construtos;
- c) método: conjunto de passos, algoritmo ou guia para desempenhar uma tarefa específica. Tais passos são baseados em um conjunto de constructos e em um modelo do espaço de soluções;
- d) instanciação: é a realização dos artefatos em seu ambiente, em outras palavras, é a aplicação prática dos artefatos.

Em contraste aos modelos de *Design Research* apresentados anteriormente, Blessing e Chakrabarti (2009) desenvolveram uma metodologia utilizando como principal referência o trabalho de Duffy e Andreasen (1995). Nesse trabalho, os autores reforçam a necessidade de facilitar a pesquisa e o desenvolvimento de meios apropriados para dar suporte ao *Design*. Duffy e Andreasen (1995) desenvolveram um modelo para a condução de *Design Research* de acordo com a Figura 25. Nele, criam uma distinção entre modelos descritivos e prescritivos, sendo que os descritivos são baseados na realidade, e os prescritivos baseados na realidade modelada (ou vislumbrada) que seria considerada como uma melhoria na prática de *Design*. Em contraste com as demais metodologias apresentadas, ela é caracterizada pela existência de três modelos: o modelo do fenômeno, o modelo da informação e um modelo computacional.

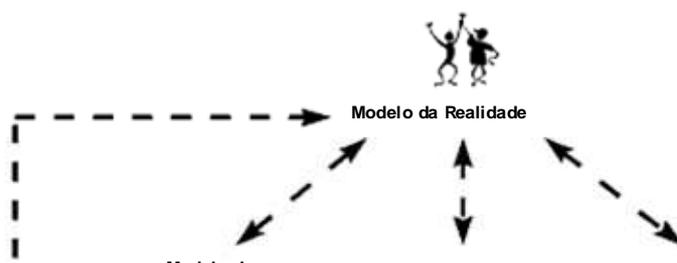


Figura 25 – Modelo Referencial de *Design Research*

Fonte: Duffy e Andreasen (1995).

As seguintes etapas constituem a metodologia proposta por Blessing e Chakrabarti (2009), de acordo com Figura 26:

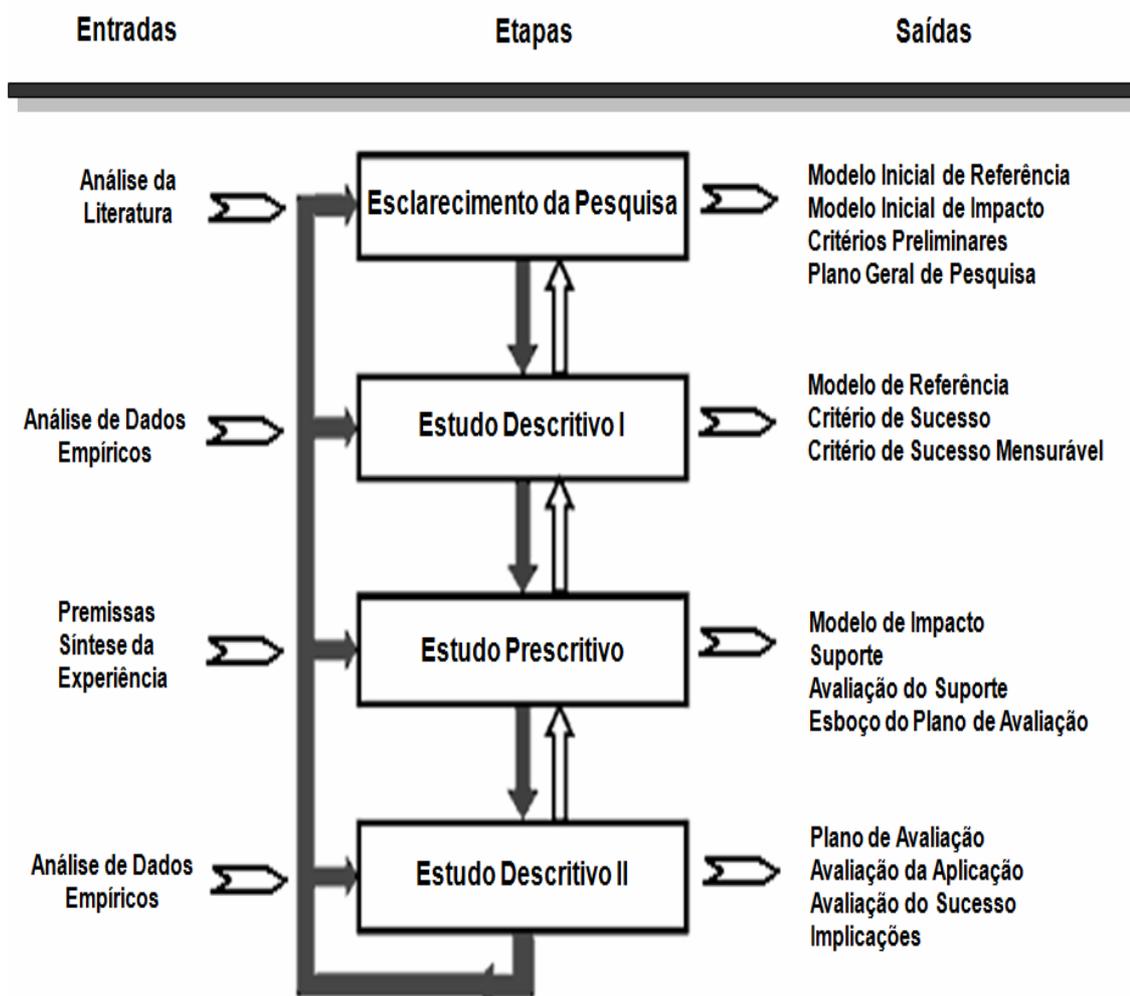


Figura 26 – Modelo II de *Design Research*

Fonte: Blessing e Chakrabarti (2009).

- a) Esclarecimento da Pesquisa: busca o claro entendimento do objetivo geral da pesquisa, o desenvolvimento de um plano e define o foco para as fases seguintes. As principais entregas desta fase são: um modelo inicial de referência, um conjunto preliminar de critérios e um plano geral de pesquisa.
- b) Estudo Descritivo I: busca aumentar o entendimento do *Design* e os fatores que influenciam o seu sucesso através da investigação do fenômeno do *Design*. As principais entregas desta fase são: um modelo de referência atualizado, critérios de sucesso mensuráveis, assim como implicações das descobertas para o desenvolvimento de suporte. O suporte pode ocorrer de diversas formas, como métodos, equações, propostas de reorganização, etc.
- c) Estudo Prescritivo: busca desenvolver o suporte de forma sistemática, levando em conta os resultados do Estudo Descritivo I, desenvolvendo um modelo de impacto (modelo para resolução do problema) e desenvolvendo o suporte ao *Design*. As entregas desta fase são: um modelo de impacto, descrições do suporte pretendido e real, resultados da avaliação do suporte e um plano geral de avaliação.
- d) Estudo Descritivo II: foca na avaliação da usabilidade e aplicabilidade do suporte atual (avaliação da aplicação) e sua utilidade (avaliação de sucesso). As entregas são: resultados da avaliação de sucesso e aplicação, assim como sugestões para melhorias dos suportes atuais e pretendidos.

3.1.3 Escolha e Desenvolvimento do Modelo de *Design Research*

Uma vez constatadas as duas linhas diferentes de modelos de *Design Research*, coube compará-las e identificar qual seria o modelo mais adequado para a presente pesquisa. No que veio a ser chamado de Modelo I na presente dissertação, a primeira etapa é a conscientização do problema. Busca-se entender qual o problema a partir de algumas expectativas e apresentar uma proposta inicial de definição sobre o ponto que deve ser resolvido. Já no que passou a ser chamado de Modelo II, a primeira etapa (Esclarecimento da Pesquisa) também compreende a conscientização do problema, dentre o que é esperado dessa fase. O detalhamento da Etapa de Esclarecimento da Pesquisa, feito por Blessing e Chakrabarti (2009), permite entender isso com maior clareza:

- a) identificação dos tópicos gerais de interesse: identifica os principais objetivos da pesquisa e os problemas a partir de um entendimento inicial e de expectativas representadas na primeira versão dos chamados Modelo de Referência Inicial e Modelo de Impacto, que representam o problema a ser resolvido;
- b) esclarecer o entendimento atual e as expectativas: desenvolve em mais detalhes o Modelo de Referência Inicial e o Modelo de Impacto, utilizando literatura relevante de referência para identificar o “estado da arte” em relação a problemas já resolvidos e ao que ainda precisa ser resolvido;
- c) esclarecer critérios, questões principais e hipóteses: identifica critérios potenciais para serem utilizados para julgar os resultados da pesquisa e formular questões de pesquisa apropriadas e hipóteses, baseando-se no Modelo de Referência Inicial e no Modelo de Impacto;
- d) selecionar o tipo de pesquisa: isso significa escolher qual o tipo de *Design Research* a ser utilizado para resolver o problema¹⁷;
- e) determinar áreas de relevância e contribuição: isso envolve a identificação de áreas relevantes de conhecimento e disciplinas que podem ser consultadas para resolver o problema de pesquisa e também as áreas e disciplinas para as quais a pesquisa pode vir a contribuir;
- f) formular o Plano Geral da Pesquisa.

O que o Modelo I prescreve para a segunda etapa, - Sugestão - é muito semelhante a alguns elementos da primeira etapa do Modelo II, por trabalhar com conceitos-chave necessários para resolver o problema, que é o que o Modelo II chama de Modelo de Referência Inicial e Modelo de Impacto. Porém, no Modelo I, percebe-se um potencial para avaliação um pouco tardia dos conceitos-chave, e indiretamente através dos artefatos previstos na solução. Conclui-se que no Modelo II a etapa inicial da metodologia de *Design Research* é mais robusta, por agregar elementos de investigação em relação ao objeto da pesquisa e de sua relevância ainda em etapas iniciais da pesquisa.

As demais fases do Modelo I e do Modelo II diferenciam-se basicamente pela existência de uma fase descritiva isolada da prescritiva, que é o caso do Modelo II, enquanto que no Modelo I a fase de Desenvolvimento compreende tudo o que é necessário para entregar os artefatos. Percebem-se, ainda, as diferenças em relação aos resultados esperados

¹⁷ Blessing e Chakrabarti (2009) sugerem a classificação da pesquisa entre sete tipos. Segundo os autores essa definição deve ser feita a partir da necessidade de utilização de cada etapa da metodologia proposta.

em cada fase, pois enquanto no Modelo I obtêm-se em linhas gerais os artefatos e os resultados da pesquisa, no Modelo II existem saídas adicionais para apoio ao *Design*.

Concluindo, o método de *Design Research* que será utilizado é basicamente o proposto por Vaishnavi e Kuechler (2004), porém com uma pequena adaptação, que é a inclusão da primeira etapa do método proposto por Blessing e Chakrabarti (2009), ou seja, o Esclarecimento da Pesquisa, após a etapa de Conscientização do Problema. A justificativa para tal modificação do Modelo I é a necessidade identificada de refinar a definição do problema da presente pesquisa. Isso permitiu, por exemplo, definir de forma mais rigorosa quais os tópicos de referencial teórico que possuem maior relevância de serem estudados para o objeto de pesquisa. O pesquisador conclui que ao incluir tal etapa, a validade do método utilizado não é afetada negativamente, pelo contrário, tende a ganhar ainda mais consistência.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A seguir será descrita de que forma a pesquisa foi conduzida a partir do método que utilizado, conforme Figura 27. O método basicamente consiste em seguir os passos já descritos anteriormente: Conscientização do Problema, Esclarecimento da Pesquisa, Sugestão, Desenvolvimento, Avaliação e Conclusão. Os artefatos propostos na dissertação fizeram parte da sugestão de método para a análise de riscos associados à confiabilidade de novos produtos eletrônicos, os quais foram construídos a partir do método delineado no item a seguir.

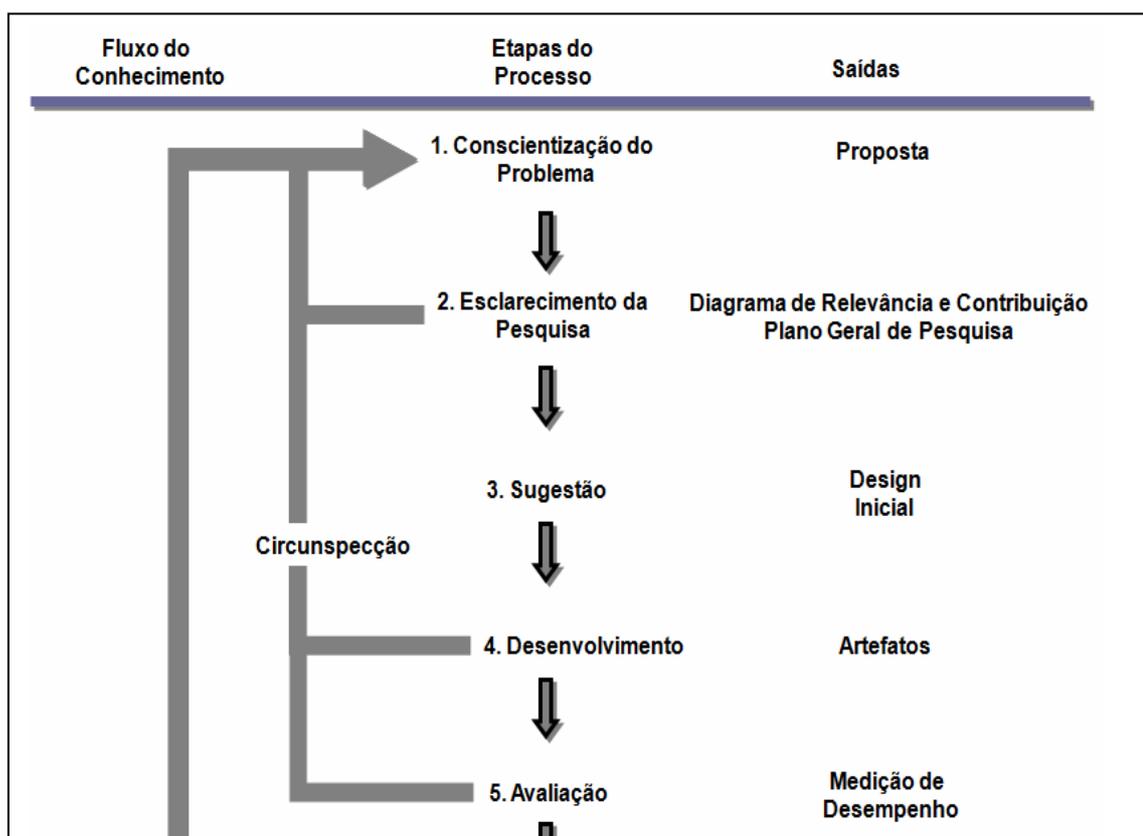


Figura 27 – Modelo de *Design Research* utilizado na presente pesquisa
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.1 Conscientização do problema

Uma parte significativa da etapa de Conscientização do Problema já foi descrita na Introdução desta pesquisa (Capítulo 1) e está intimamente ligada ao que foi chamado de inquietação intelectual do pesquisador, ou seja, aquilo que provocou o interesse pelo entendimento do contexto e pela busca pela contribuição com soluções. Cabe acrescentar, também, as experiências profissionais do pesquisador em relação ao objeto de pesquisa, que contribuíram objetivamente para a conscientização em relação à existência do problema real nas indústrias em geral, e nas empresas que compõe a indústria eletrônica de forma particular.

Na fase inicial da elaboração da presente dissertação, eclodiu o que já se tornou o maior *recall* da história da Toyota e o sexto maior de veículos na história dos Estados Unidos (MULLER, 2010). Embora a causa da falha de desempenho, que coloca em risco a vida dos usuários, não esteja a princípio relacionada com os sistemas eletrônicos do veículo (FEDERAL, 2011), a natureza do problema parece ser muito similar, ou seja, o aumento da complexidade das operações e dos produtos, aumentando os riscos associados. Mais recentemente, em julho de 2010, foi anunciado no Brasil o primeiro *recall* de televisores. A coreana LG, após várias reclamações de consumidores insatisfeitos com falhas de alguns modelos de televisores LCD, foi acionada pelo Ministério Público e acabou assinando um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) para a execução do *recall*. No caso da LG, a falha estaria associada a defeitos em capacitores eletrolíticos da fonte (LG, 2010).

Diante de um panorama de incertezas e a partir da percepção do pesquisador de que as empresas carecem de um método adequado para gerenciar os riscos associados à confiabilidade dos produtos, tornou-se fundamental analisar as referências teóricas sobre a Teoria de Confiabilidade, enfocando em modelos utilizados para a avaliação de riscos. Para uma definição mais detalhada de quais referências bibliográficas são relevantes para o

desenvolvimento da dissertação, foi utilizada uma ferramenta proposta pela etapa de Esclarecimento da Pesquisa.

3.2.2 Esclarecimento da Pesquisa

De acordo com Blessing e Chakrabarti (2009), a inovação em pesquisas muitas vezes surge da interseção de áreas do conhecimento. Nesse sentido, para o devido encaminhamento da construção do Referencial Teórico, foi utilizado o Diagrama de Relevância e Contribuição, conforme sugerido pelos autores. Já o Modelo Inicial foi construído utilizando como ponto de partida as constatações descritas na Introdução da presente dissertação, complementando com o referencial teórico.

Algumas questões mereceram um questionamento mais aprofundado durante a fase de Esclarecimento da Pesquisa. No entendimento do pesquisador foram os seguintes pontos:

- a) De acordo com a pesquisa realizada, quais os riscos gerais aplicáveis de uma forma geral a todas as indústrias do segmento em estudo?
- b) Para quais riscos gerais as pesquisas existentes apresentam convergência, e, portanto, indicam a necessidade de serem contemplados?
- c) Dentre os riscos gerais identificados, quais as relações de causa e efeito?

3.2.3 Sugestão

Nessa etapa foram propostos os conceitos-chave para a solução do problema da pesquisa. Foi feita a sugestão inicial de *Design* do método, a qual foi constituída de um modelo para avaliação dos riscos operacionais associados à confiabilidade do produto, composto pelos seguintes elementos:

- a) construtos: representados através de nós em um grafo, englobaram os conceitos gerais relacionados às principais variáveis do negócio que afetam os riscos de falhas epidêmicas;
- b) relações entre os construtos: representados através de arcos em um grafo, identificaram as relações de causa e efeito;
- c) sequência geral de passos para utilização do modelo.

A construção do Modelo Sugerido para o método foi realizada a partir de duas matérias-primas da pesquisa: o Modelo Inicial, desenvolvido na etapa de Esclarecimento da Pesquisa, e de um estudo exploratório com gestores e especialistas da indústria eletrônica.

O estudo exploratório buscou averiguar quais os perigos, que no entendimento dos especialistas, mais contribuem para o risco de falhas epidêmicas. Além disso, consolidar o a opinião dos especialistas sobre as variáveis do Modelo Inicial e a relação entre elas. O estudo tratou-se de uma entrevista semi-estruturada para análise de conteúdo (BARDIN, 1997). Foram feitas seis entrevistas e a definição dos entrevistados deu-se de acordo com os seguintes critérios:

- a) ter pelo menos dez anos de experiência na indústria eletrônica;
- b) ter tido alguma experiência com falhas epidêmicas de algum produto, seja como fornecedor ou cliente;
- c) possuir experiência em áreas técnicas relacionadas ao objeto de estudo e em funções de coordenação de projetos;
- d) o conjunto dos profissionais selecionados para as entrevistas pertencer a diferentes segmentos da indústria eletrônica, com o objetivo de obter opiniões que representem segmentos variados;
- e) o conjunto de entrevistados abranger regiões diferentes, com o objetivo de obter opiniões que reflitam realidades potencialmente diferentes;
- f) acesso do pesquisador aos entrevistados.

Para facilitar o acesso do pesquisador aos entrevistados, foi definido que seria mantido o anonimato de todos, incluindo as empresas nas quais eles já atuaram.

A etapa seguinte da fase de planejamento das entrevistas consistiu na definição do método de realização das mesmas, assim como a elaboração das perguntas. A primeira definição tomada foi que as entrevistas seriam, dentro do possível, presenciais, porém, quando não fosse dessa forma, seriam por telefone. As entrevistas em português não foram gravadas, já as em inglês foram gravadas para garantir a compreensão de todo conteúdo. O tempo agendado para as entrevistas dependeu do conteúdo das perguntas, não ultrapassando 1 hora.

Decidiu-se que as entrevistas seriam executadas em duas etapas durante o tempo agendado. Numa primeira etapa, foi feita uma pergunta aberta para os entrevistados responderem sobre o tema, que foi a seguinte: “Do seu ponto de vista, quais os fatores que durante a fase de projeto de um novo produto mais impactam o desempenho na aplicação?”.

Na segunda etapa, os entrevistados foram questionados sobre cada uma das variáveis (construtos) identificadas no Modelo Inicial. As perguntas apresentavam o seguinte formato: “Você considera que o(a) _____ possui um impacto relevante nos riscos associados ao desempenho do produto? Por favor, comente o que julgar necessário sobre esse fator.”

Uma vez transcritas as entrevistas, o conteúdo das mesmas foi analisado e classificado em algumas categorias. A elaboração de um Mapa Conceitual contribuiu para relacionar os conceitos expressos pelo conjunto de entrevistados.

3.2.4 Desenvolvimento

A partir dos conceitos-chave que foram desenvolvidos na fase de Sugestão, nesta etapa foram desenvolvidos os artefatos, constituindo em uma solução candidata para o método de análise de riscos. A solução foi constituída dos seguintes artefatos:

- a) Método: sequência estruturada de fases para a aplicação em uma indústria eletrônica qualquer, com o objetivo de avaliar o risco do novo produto em desenvolvimento quanto à ocorrência de epidemias em campo. O método foi inserido nas fases de projeto de um produto.
- b) Modelo: foi feito um maior detalhamento dos construtos de forma que eles pudessem ser instanciados na prática. Também foram definidos os diferentes níveis de cada construto e cada um deles foi delineado.
- c) Implementação do modelo em um software de RB: para que fosse possível utilizar os algoritmos de RB, o modelo foi implementado em um software adequado.
- d) Outros artefatos de acordo com as necessidades que foram identificadas.

3.2.5 Avaliação

Uma vez desenvolvida, nesta etapa uma solução candidata foi avaliada a partir da instanciação do artefato em uma empresa e em um projeto de produto. Conclusões a partir da avaliação inicial do modelo proposto foram obtidas por meio de critérios de desempenho que avaliados pelo pesquisador e por especialistas da empresa onde o método foi instanciado.

O método foi avaliado frente aos critérios de desempenho, na perspectiva de seis especialistas da empresa, onde foi realizada a instanciação de teste, os quais estavam envolvidos no projeto de produtos. Esses critérios, assim como questões associadas a eles, foram adaptados a partir do trabalho de Grubisic (2009).

Os critérios foram avaliados segundo os níveis de atendimento, conforme proposto por Grubisic (2009), entre as seguintes opções: atende totalmente (nível 4); atende quase que totalmente (nível 3); atende parcialmente (nível 2); atende poucos aspectos (1); e não atende (nível 0).

O Quadro 7 apresenta os critérios de desempenho que foram utilizados para a avaliação dos especialistas.

Critério	Questão
Clareza e objetividade	Q1 – A estrutura de representação do método proposta e o protótipo computacional apresentam de forma clara e objetiva as fases e atividades?
Completeza	Q2 – O método proposto contém toda a informação necessária para identificar e analisar os riscos técnicos e gerenciais de forma integrada?
Consistência	Q3 – O método proposto apresenta lógica e consistência no fluxo de informações?
Transformação	Q4 – O método pode ser adaptado para a avaliação de riscos de outros tipos de produto?
Extensibilidade	Q5 – O método proposto permite a sua expansão, ou seja, a identificação, análise e tratamento de novas categorias de risco durante o projeto de produtos?
Documentação das	Q6 – O método considera formas de registrar as experiências e resultados obtidos nas atividades de identificação e análise dos riscos
Identificação de riscos	Q7 – O método permite à equipe de trabalho identificar riscos que possam surgir no projeto de produtos?
Análise de riscos	Q8 – O método possibilita analisar de forma conjunta os riscos técnicos e gerenciais?
Tratamento de riscos	Q9 – O método proposto apresenta meios que auxiliam o gerente de projetos e a sua equipe na definição/avaliação de potenciais ações para o tratamento dos riscos?
Melhoria	Q10 – O método proposto apresenta vantagens em relação a outros métodos de avaliação de riscos existentes na empresa?
Protótipo Computacional	Q11 – O protótipo computacional facilita e simplifica a execução do método?

Quadro 7 – Questionário para avaliação do método através dos especialistas
Fonte: Grubisic (2009). Adaptado pelo autor.

A avaliação do método pelo pesquisador foi feita a partir da mesma definição de níveis de atendimento, porém com os seguintes critérios de desempenho:

- a) estabelecimento de formas de abordar o tema nas empresas, incluindo o planejamento do uso do método;
- b) utilização de ferramentais computacionais para instanciar o modelo desenvolvido;
- c) adequado nível de simplicidade, principalmente para os usuários finais do método;
- d) possibilidade de realimentar o modelo a partir da experiência obtida nos projetos;
- e) presença das entradas e saídas do método, identificadas como necessárias no referencial teórico;
- f) integração com outras ferramentas de análise de riscos e quantificações de risco;
- g) presença de laços de realimentação entre os passos do método;
- h) encadeamento dos passos do método numa sequência lógica, aplicável e a qualquer organização de projeto de produtos eletrônicos.

3.2.6 Conclusão

Finalmente, após a aplicação do artefato e avaliação do método frente aos critérios de desempenho estabelecidos, os resultados foram consolidados e resumidos. Nesta etapa foram discutidos os resultados, satisfatórios ou não, além de terem sido feitas propostas de futuras melhorias ao método. Além disso, o trabalho como um todo foi concluído, avaliando a contribuição da pesquisa e o grau de atendimento do objetivo geral e dos objetivos específicos. Finalmente, foram apresentadas algumas propostas para pesquisas futuras nesta área.

Para facilitar o entendimento do desenvolvimento do método de análise de riscos a partir do Método de Pesquisa, o Quadro 8 relaciona as seções da dissertação com todas as etapas da pesquisa descritas anteriormente.

Etapa da Pesquisa	Entregas	Seção da Dissertação
1. Conscientização do Problema	Proposta	Cap. 1
2. Esclarecimento da Pesquisa	Diagrama de Relevância e Contribuição	Cap. 2
	Plano Geral de Pesquisa	Cap. 3
3. Sugestão	<i>Design</i> Inicial do Método	Seção 4.1
	Modelo Inicial	Seção 4.2.1
	Modelo Sugerido	Seção 4.2.2
4. Desenvolvimento	Desenvolvimento dos Artefatos	Seção 4.3
5. Avaliação	Medição do Desempenho	Cap. 6
6. Conclusão	Resultados	Cap. 7

Quadro 8 – Desenvolvimento do Método correlacionando as Etapas da Pesquisa
Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS

Neste capítulo apresenta-se o desenvolvimento da proposta de método de avaliação dos riscos a ser aplicado durante o projeto de novos produtos eletrônicos. Como passo inicial do *Design* do método, elaborou-se uma lista de requisitos gerais, conforme Quadro 9. Sua fundamentação deu-se a partir dos objetivos da presente pesquisa, da revisão do referencial teórico apresentada no Capítulo 2, dos requisitos citados na definição da Metodologia de Pesquisa e de uma adaptação da lista de requisitos gerais desenvolvida por Grubisic (2009) para uma metodologia de gestão de riscos em novos produtos.

Requisito	Fonte
1. Adequado nível de simplicidade, principalmente para os usuários finais do método	Autor
2. Possibilidade de realimentar o modelo a partir da experiência obtida nos projetos	Autor
3. Integração com outras ferramentas de análise de riscos e quantificações de risco	Autor
4. Encadeamento dos passos do método numa sequência lógica, aplicável a qualquer organização de projeto de produtos eletrônicos	Autor
5. Representar as principais variáveis técnicas do produto e gerenciais do negócio, que represente a relação entre elas e que consolide de uma forma que seja possível mensurar o impacto final dos riscos na empresa.	Autor

6. Viabilizar a identificação de quais os fatores que possuem maior probabilidade de impactar significativamente os custos associados ao seu desempenho do produto e qual o potencial impacto no risco global, associado à redução de riscos associados aos fatores mapeados.	Autor
7. Possibilitar a identificação de qual o risco associado a perigos específicos.	FAA (2000)
8. Contemplar uma lista abrangente de fontes de risco ou eventos que podem ter um impacto na execução de cada um dos objetivos identificados nos contextos.	AS/NZS 4360:2004
9. Possibilitar a análise dos riscos associados à operação sob as perspectivas qualitativas e quantitativas.	COSO (2004)
10. Fornecer subsídios para avaliação das opções de resposta a risco.	COSO (2004)
11. Apresentar ferramentas de fácil implementação computacional.	Grubisic (2009)
12. Oferecer uma forma sistemática de transmissão de conhecimento, facilitando o processo de aprendizagem dos usuários do método.	Grubisic (2009)

Quadro 9 – Requisitos gerais para o método de avaliação de riscos
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da lista de requisitos, do referencial teórico e da Metodologia de Pesquisa, o método foi desenvolvido, tendo como principal artefato o modelo em Redes Bayesianas, após ter sido construído e implementado em um software de RB, além de elicitado através dos especialistas da empresa. Ainda, foi desenvolvida uma sequência de fases e de outros artefatos necessários para instanciação do modelo e utilização dos resultados no contexto de gestão de riscos.

Este capítulo está organizado da seguinte maneira: as atividades que foram desenvolvidas para o *design* do método serão descritas até a seção 4.2 e o método proposto é descrito na seção 4.3.

4.1 DESIGN INICIAL DO MÉTODO

A seguir será descrito o *Design* Inicial do método, como parte da etapa de Sugestão do método de pesquisa. Será apresentada uma sequência de passos para avaliar os riscos do projeto, dentro do escopo definido. Esses passos irão demonstrar como utilizar o Modelo Sugerido, o qual foi construído na estrutura de Redes Bayesianas. Por tratar-se da etapa de Sugestão, o método apresentado nesta seção irá conter apenas os conceitos-chave. A formatação completa será pontuada na seção 4.3, juntamente com o desenvolvimento dos artefatos.

Conforme referencial teórico do Capítulo 2, a construção de um modelo em Redes Bayesianas é usualmente feita através das seguintes fases: identificação das variáveis incluindo seus níveis, elicitación da estrutura do modelo e elicitación dos parâmetros numéricos. Tendo em vista que o método tem o propósito de ser utilizado em qualquer empresa que projeta produtos eletrônicos, foi necessário o desenvolvimento de um modelo que fosse genérico para tais empresas.

Por outro lado, o nível de generalização deverá ser tal que não prejudique a consistência dos resultados obtidos na aplicação do modelo. Nesse sentido, foram utilizadas apenas as duas primeiras etapas de construção de Redes Bayesianas para uso de maneira genérica a qualquer empresa. Já as especificidades de cada empresa serão refletidas na terceira fase de construção da RB, ou seja, a partir da elicitación dos parâmetros numéricos do modelo. Cabe esclarecer que os chamados “Modelo Inicial” e “Modelo Sugerido”, mencionados no Método de Pesquisa e neste capítulo, referem-se à aplicação da primeira e segunda fase indicadas na Figura 28, ou seja, não consideram a elicitación dos parâmetros numéricos, que será abordada na construção dos demais artefatos.

Na Figura 28 são representadas as fases propostas nesta dissertação para a construção e uso do modelo em RB. O método em si encadeou algumas atividades relacionadas com a terceira e quarta fases indicadas. Anteriormente ao passo de elicitación dos parâmetros numéricos, deverá ser feito um planejamento para utilização do modelo na empresa, o qual deverá incluir um alinhamento com a alta direção da empresa, entre outros detalhes.

Após elicitados os parâmetros numéricos, os projetos devem ser priorizados, ocasião a partir da qual será feita a avaliação de riscos através do método. Cada projeto específico da organização terá uma avaliação dos riscos feita através do artefato constituído pela RB implementada no software. Porém, um passo que precisa ser feito antes da avaliação de riscos é a coleta de evidências do projeto.

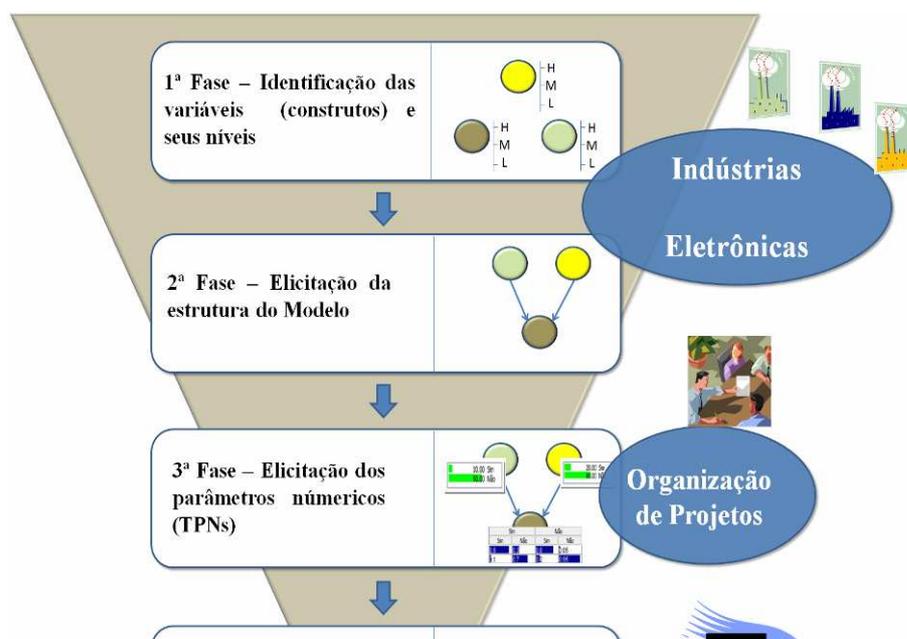


Figura 28 – Fases propostas para utilização do modelo em Redes Bayesianas

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com o que foi descrito, o *Design* inicial do modelo contemplou os passos apresentados na Figura 29.

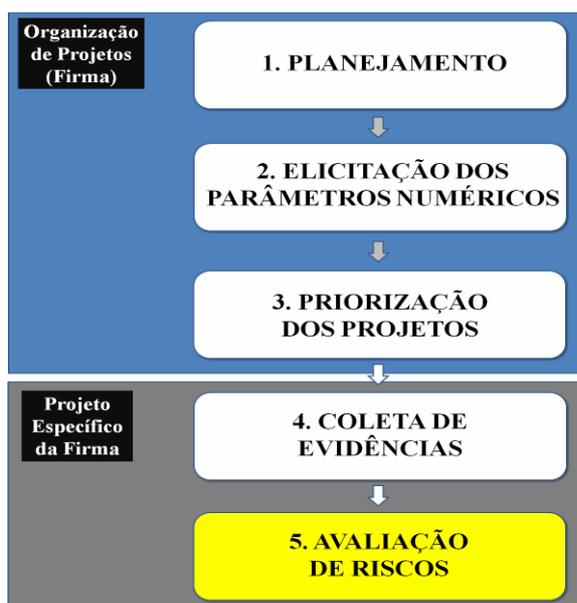


Figura 29 - *Design* Inicial do Modelo

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na seção 4.2, será discorrido sobre o desenvolvimento do artefato mais importante do método, que se trata do modelo em RB. Na seção seguinte, a 4.3, será feito um detalhamento dos passos do método, propondo como utilizar o modelo construído em RB, além dos demais artefatos do modelo.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO EM REDES BAYESIANAS

A seguir, na seção 4.2.1, será apresentado o desenvolvimento do Modelo Inicial, a partir dos modelos que constituíram o referencial teórico. Em seguida, a seção 4.2.2, irá descrever o desenvolvimento do Modelo Sugerido utilizando como ponto de partida o Modelo Inicial, bem como entrevistas com especialistas da indústria eletrônica.

4.2.1 Desenvolvimento do Modelo Inicial

Na pesquisa do referencial teórico, o modelo que foi identificado com maior similaridade e abrangência com os objetivos da presente dissertação foi o de Chin *et al.* (2009). A diferença fundamental desse modelo em relação ao que está sendo proposto nesta pesquisa é o fato de que o de Chin *et al.* (2009) consideram vários riscos durante a fase de projeto de produto, sendo que o risco associado ao desempenho dos produtos é um deles. Em razão de o modelo possuir um embasamento teórico consistente em relação aos construtos propostos e por apresentar grandes similaridades em relação ao objetivo desta pesquisa, ele foi utilizado como uma referência básica inicial para a construção do modelo, particularizando os fatores relacionados ao risco associados ao desempenho do produto.

Inicialmente foi verificado em Chin *et al.* (2009) quais os construtos que poderiam ser eliminados, considerando o escopo definido para o modelo e a não relevância para os objetivos do que foi proposto. Tendo em vista que, conforme definição prévia, esta dissertação não considera o impacto do processo produtivo nos riscos, os seguintes construtos foram eliminados do modelo: Complexidade do Processo Produtivo (CPP), Risco de Produção (RP), Similaridade do Processo Produtivo (SPP) e Capacidade Técnica de Produção (CTP). Todos os demais construtos foram mantidos no modelo, tendo em vista que o pesquisador considerou não existir evidências, pelo menos nessa fase da pesquisa, de que elas não teriam impacto relevante no desempenho de produtos eletrônicos.

Uma vez eliminados os construtos, representados no grafo através dos nós, o próximo passo foi eliminar todas as relações de causa e efeito dessas variáveis, excluindo os arcos correspondentes no modelo. A Figura 30 representa o modelo de Chin *et al.* (2009) após a eliminação das variáveis do processo produtivo.

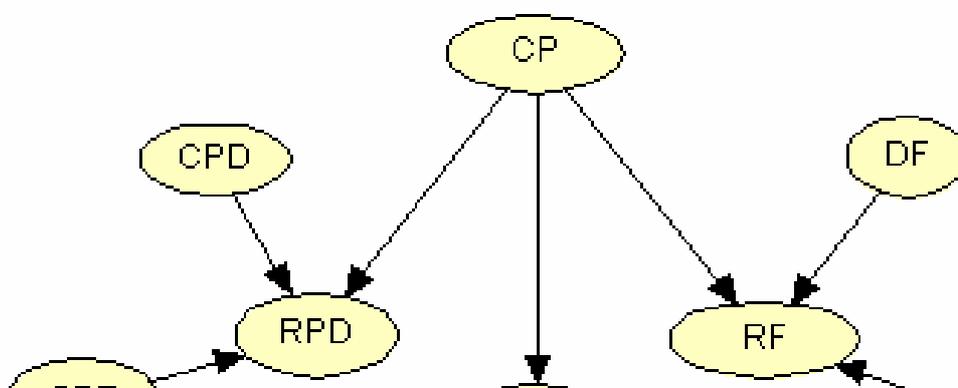


Figura 30 – Modelo Inicial, revisão 1
 Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesse modelo remanescente, o Risco de Confiabilidade de Produto (RCP) é identificado como sendo impactado apenas pela complexidade do produto. Isso à primeira vista parece não fazer sentido, mas deve-se lembrar da importância do entendimento de como o construto foi definido. Na definição de Chin *et al* (2009, p. 9882) o Risco de Pesquisa e Desenvolvimento (RPD) é definido como “a probabilidade de que as especificações do novo produto não sejam cumpridas dentro do cronograma esperado”. Ou seja, os autores focam o RPD no cumprimento do cronograma, tratando os riscos associados à confiabilidade (RCP), assim como os riscos associados a suprimentos (RF), como riscos isolados.

Conforme alguns autores ressaltam, como Murthy, Rausand e Østerås (2008), a confiabilidade do produto é, em grande parte, definida pelo processo de projeto. Assim sendo, é coerente que no modelo de avaliação de riscos o RPD seja ligado ao RCP. Além disso, de forma análoga, o RF pode ser ligado ao RCP. O construto RCP com essa revisão do modelo continua sendo impactado pela complexidade do produto (CP), só que não diretamente, como no original. O modelo após essas revisões fica de acordo com a Figura 31.

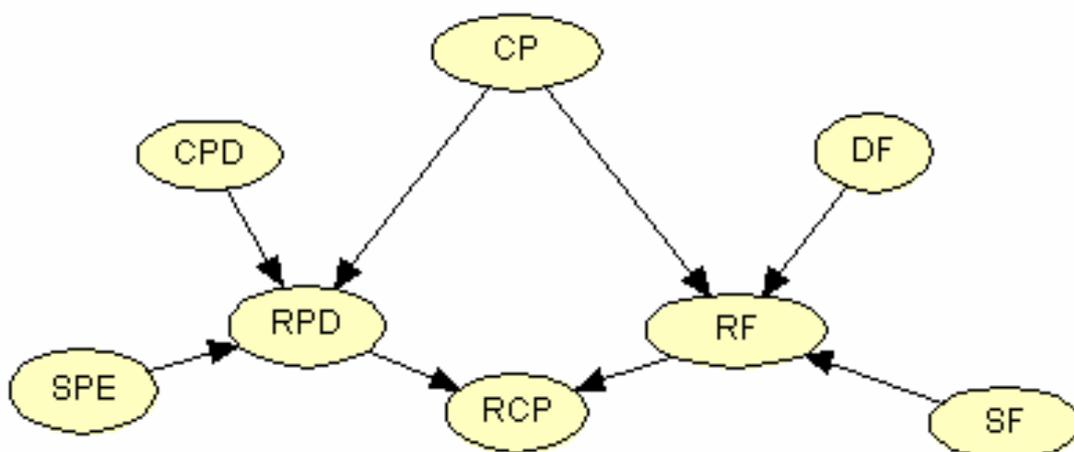


Figura 31 – Modelo Inicial, revisão 2
 Fonte: Elaborada pelo autor.

Por outro lado, o modelo de TRACS propõe a utilização do construto CP (Complexidade do Produto), porém como uma das entradas para o construto RFP (Restrições na fase de projeto). Outra entrada para RFP que o modelo propõe é o construto CC (Compressão do cronograma). Ele representa o quanto o andamento do projeto coloca em risco a execução de atividades que possuem impacto na confiabilidade, como testes de validação, por exemplo.

Para um maior nível de detalhamento do construto CPD (Capacidade da equipe de P&D), o modelo TRACS contém dois fatores: QPDFR (qualidade dos processos de DFR) e QTPD (Qualidade do time de P&D). O modelo foi atualizado utilizando esses construtos, conforme Figura 32.

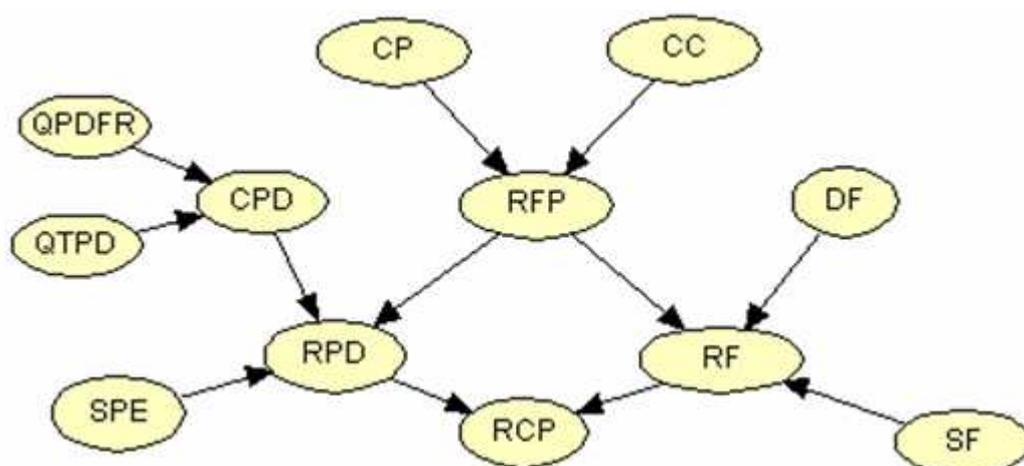


Figura 32 – Modelo Inicial, revisão 3
Fonte: Elaborada pelo autor.

No modelo de Blessing e Chakrabarti (2009) é representado o construto “Confiabilidade do *Embodiment*”, que no modelo desenvolvido até então se pode dizer que está representado pelo construto QTPD (Qualidade do Time de P&D). O entendimento é que o QTPD seria a principal causa fundamental para a “Confiabilidade do *Embodiment*”. Dessa forma, o QTPD já estaria representando o construto proposto por Blessing e Chakrabarti (2009). Os construtos Clareza, Simplicidade e Unidade, sugeridos por Blessing e Chakrabarti (2009), foram aproveitados posteriormente na construção dos demais artefatos do modelo. Os outros construtos assemelham-se bastante com o modelo desenvolvido até então, conforme a seguir:

- a) Utilização de métodos de DFR: no modelo atual, o construto QPDFR (Qualidade dos processos de DFR) representaria a qualidade dos processos e não o quanto de fato os métodos de DFR são aplicados no processo de projeto. Isso indica a necessidade de considerar esse conceito na definição dos construtos, mais especificamente no construto RFP e QTPD. Porém, ainda não será feito no Modelo Inicial, tendo em vista uma necessidade de maior entendimento desses construtos.
- b) % remanescente do cronograma para melhorias: no modelo atual esse construto é representado pelo CC (Compressão do Cronograma), sendo uma das entradas do RFP (Restrições na Fase de Projeto). Assim, em relação a esse construto, será mantido o modelo como foi desenvolvido até então.
- c) Qualidade dos componentes comprados: representado no modelo atual através do construto RF (Risco de Fornecimento).
- d) Os demais construtos não serão analisados, pois não fazem parte do escopo do modelo proposto (Qualidade da Produção e Qualidade do Uso do Produto).

Já o modelo para previsão de defeitos em software (FENTON; NEIL; MARQUEZ, 2008) é uma referência apropriada para o acréscimo de vários construtos relacionados com o teste do produto (*hardware* e *software*), importantes nas etapas de verificação e validação de um produto antes de lançá-lo no mercado. A maioria dos construtos foi considerada relevante e, portanto, esses foram adaptados ao modelo, conforme descrito a seguir:

- a) Qualidade dos Processos de Ensaio (QPE): chamado de Qualidade dos Processos de Teste no modelo original representa o quanto os processos de ensaio de verificação e validação do produto são capazes de detectar defeitos, desde que não impactados por restrições. Esse construto é resultado de dois outros construtos: Qualidade de Ferramentas de Ensaio (QFE), que significa o quanto a organização possui disponível interna ou externamente equipamentos e métodos de ensaio com eficácia para detecção de falhas, e também pela Experiência da Equipe de Ensaio (EEE), que representa a capacidade da equipe de ensaios em planejar e executar adequadamente os ensaios.
- b) Eficácia dos Ensaio de Verificação e Validação (EEVV): chamado, no modelo original, de “Eficácia Geral do Processo de Teste”, esse construto representa o quanto os ensaios do produto e a maneira como está prevista a execução são

capazes de detectar falhas. A EEVV é impactada pelo QPE e também por Restrições na Fase do Projeto (RFP). O construto RFP foi adaptado para ser aproveitado no modelo, representando um conceito muito similar ao modelo de Fenton, Neil e Marquez (2008) que era a variável “Esforço de Teste”. Cabe a observação de que não foi utilizado o construto “Qualidade Geral da Documentação”, pois se acredita ter uma menor relevância em relação à aplicação do modelo original (teste de software).

- c) Riscos Remanescentes após Validação do Produto (RRAV): esse construto foi adaptado da variável do modelo de referência que era chamada de “Defeitos Residuais”, representando o nível de risco existente após a execução dos ensaios de verificação e validação do produto.

O modelo de Sheppler e Welliver (2010), baseado fundamentalmente no trabalho de Tiku (2005), por representar uma compilação de boas práticas da indústria eletrônica através de um *Scorecard*, é uma referência que o pesquisador julga importante de ser utilizada na presente dissertação. Apesar de não relacionar os construtos entre si através de relações de causas e efeitos, ao contrário dos modelos anteriores, ele pode indicar a necessidade da inclusão de algum construto no modelo desenvolvido até então, ou mesmo a modificação da relação entre eles.

Para analisar cada um dos subitens do *Scorecard*, foi montada uma tabela que objetiva verificar se existe alguma relação com cada um dos construtos do modelo. Inicialmente foram filtrados todos os subitens que não estão relacionados com a etapa de projeto do produto e estão fora do escopo do modelo. Após verificar cada um dos oito itens remanescentes do *Scorecard*, foi verificado se o conceito do item de alguma forma já se encontrava contido no modelo. Essa tabela pode ser vista no Apêndice C.

O primeiro item do *Scorecard*, “Requisitos e Planejamento da Confiabilidade”, indica uma série de atividades do plano de confiabilidade do produto que ajudariam no resultado positivo de alguns construtos. Por exemplo, ao considerar adequadamente as condições de aplicação do produto na elaboração do plano de confiabilidade, o risco do processo de projeto ser feito de forma equivocada diminui (risco de P&D). No modelo desenvolvido até então, o construto que melhor representa a utilização das condições de aplicação é o QPDFR (Qualidade dos Processos de DFR), podendo ser relacionado com alguns dos tópicos *do Scorecard*. Os demais subitens foram identificados como possíveis fatores contidos nos construtos já inclusos no modelo, o que tornou desnecessária a sua modificação.

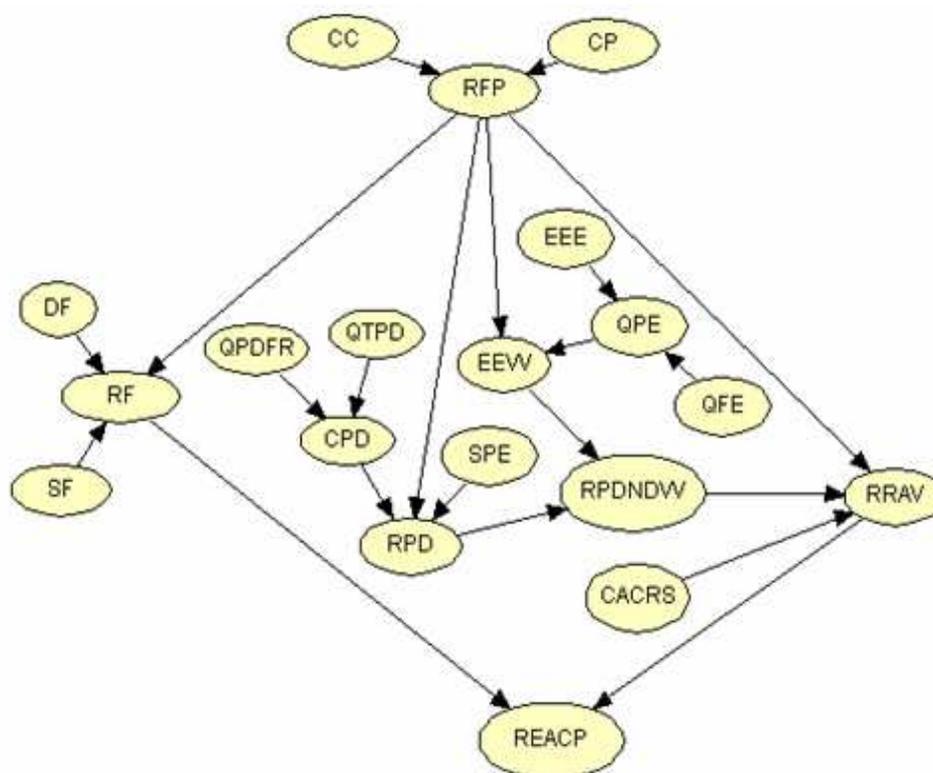
No segundo item do *Scorecard*, que trata sobre o “Treinamento e Desenvolvimento” (T&D), foram identificadas as relações mais significativas tendo como suporte os conceitos de QTPD, no caso do subitem “plano ou programa de treinamento em confiabilidade”, e com o construto QPDR, no caso do subitem “engenheiros de confiabilidade são treinados em métodos estatísticos para previsão de confiabilidade de análise de dados”. Nas demais divisões, a conclusão é de que possuem algum impacto nos construtos já identificados, não sendo necessária a criação de nenhum novo.

O terceiro item, denominado “Análises de Confiabilidade”, encontra-se bem representado no construto QPDFR, não sendo necessário acrescentar nenhum adicional. No quarto item, “Ensaio de Confiabilidade”, os construtos EEE e QFE capturam bem os conceitos do *Scorecard*.

Ao analisar o quinto item, “Gestão da Cadeia de Suprimentos”, concluiu-se que o construto DF (Desempenho do Fornecedor) não parece ser suficiente para representar todos os conceitos englobados nos subitens. Em resumo, o construto DF não considera todas as atividades que a organização pode fazer de forma pró-ativa durante o projeto do produto. Por exemplo, subitens como “auditoria em fornecedores”, “levar em consideração o estágio de maturidade dos componentes durante o processo de seleção” e “existência de mais que uma fonte de fornecimento”, parecem relacionar bem algumas necessidades da indústria eletrônica para evitar problemas durante o fornecimento. Esses conceitos serão melhor explorados na continuidade da construção do modelo.

Por sua vez, no item “Análise e Acompanhamento dos Dados de Falhas”, verifica-se a ausência de algum construto no modelo que indique a capacidade da organização de analisar a causa-raiz e tomar ações corretivas. Considerando o escopo definido para a análise de riscos, esse conceito pode ser considerado em relação a falhas identificadas em ensaios de verificação e validação. Será então adicionado o construto CACRS (Capacidade de Análise de Causa Raiz e Solução dos Problemas). A relação entre esse construto e os demais foi estabelecida da seguinte maneira: foi criado um construto adicional chamado de RPDNDVV (Riscos de Pesquisa e Desenvolvimento não Detectados após os Ensaio de Verificação e Validação, o qual, juntamente com o CACRS, foi definido como entradas para o construto RRAV. Assim, os riscos remanescentes passam a depender não apenas da detecção das falhas pelos ensaios, mas também se a organização foi capaz de detectar a causa-raiz das falhas e tomar as ações necessárias. Uma vez que a tomada de ação depende de restrições no projeto, incluiu-se o RFP como uma das entradas do construto RRAV.

Os demais itens (“Verificação e Validação” e “Melhorias de Confiabilidade”) já foram contemplados nos construtos do modelo, levando em conta o escopo definido. Portanto, não será necessário o acréscimo de construtos no modelo. A avaliação do *Scorecard* demonstrou-se ser muito útil para uma verificação de abrangência do modelo e, além disso, possibilitou obter referências mais detalhadas do conteúdo de cada construto, os quais posteriormente serão descritos de maneira mais completa. O Modelo Inicial atualizado pode ser visto na Figura 33, na qual o risco integrado final passou a ser chamado de REACP (Risco de Epidemia Associado à Confiabilidade do Produto).



CC: Compressão do Cronograma
 CP: Complexidade do Produto
 RFP: Restrições nas Fases do Projeto
 DF: Desempenho dos Fornecedores
 SF: Similaridade de Fornecimento
 RF: Risco de Fornecimento
 QPDR: Qualidade dos Processos de DFR
 QTPD: Qualidade do Time de P&D
 CPD: Capacidade de P&D
 RPD: Riscos de P&D

SPE: Similaridade com Produtos Existentes
 EEE: Experiência da Equipe de Ensaio
 QFE: Qualidade das Ferramentas de Ensaio
 QPE: Qualidade dos Processos de Ensaio
 EEW: Eficácia dos Ensaios de Verificação e Validação (V&V)
 RPDNDV: Riscos de P&D Remanescentes V&V
 CACRS: Capacidade de Análise da Causa-raiz e Solução
 RRAV: Riscos Remanescentes Após Validação do Produto
 REACP: Risco de Epidemia Associada à Confiabilidade do Produto

Figura 33 – Modelo Inicial, última versão
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.2 Desenvolvimento do Modelo Sugerido

A partir do Modelo Inicial, o Modelo Sugerido foi desenvolvido utilizando-se a opinião de seis especialistas. A seleção baseou-se na experiência dos mesmos na indústria eletrônica, além da experiência do pesquisador no tema. Foram utilizados os critérios de definição dos entrevistados de acordo com a descrição do Método de Pesquisa. Inicialmente foi criada uma lista de quinze profissionais que atenderiam aos cinco primeiros critérios, dos quais foi possível ter acesso a dez deles (sexto critério). Desses dez profissionais, foram escolhidos seis para a realização das entrevistas. O perfil dos seis entrevistados foi resumido no Quadro 10.

Entrevistado	País de atuação	Segmentos de atuação na indústria eletrônica	Tempo de atuação profissional	Áreas de Experiência	Principal área de Experiência
“A”	Brasil	Consumo, Informática, Automação Industrial	20 anos	Eng. Produto, Qualidade, Produção	Gestão Industrial
“B”	Brasil	Consumo, Informática, Telecomunicação	40 anos	Compras, Vendas, Logística	Gestão da Cadeia de Suprimentos
“C”	EUA	Automotivo, Consumo	26 anos	Eng. Processo, Qualidade	Gestão da Qualidade
“D”	EUA	Automotivo, Consumo	20 anos	Qualidade, Confiabilidade	Engenharia de Confiabilidade
“E”	Itália	Consumo	14 anos	Eng. Produto, Eng. Testes	Gestão da Engenharia de Testes
“F”	Brasil	Automação Industrial	20 anos	Eng. Testes, Confiabilidade	Engenharia de Confiabilidade

Quadro 10 – Perfil dos entrevistados
Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi possível fazer as entrevistas presencialmente em 50% dos casos (entrevistados “A”, “B” e “C”). Nos demais, as entrevistas foram feitas por telefone. O idioma das entrevistas foi o português em metade dos participantes (entrevistas “A”, “B” e “F”), e nos demais, foi o inglês, ocasiões em que a entrevista foi gravada. Os questionamentos foram concluídos em apenas um evento, e todos tiveram a duração entre 40 minutos e 1 hora. Naturalmente, ao desenrolar as entrevistas, algumas perguntas adicionais foram feitas com o objetivo de esclarecer as perguntas originais, ou até mesmo estimular o entrevistado a pensar quais fatores que impactam na ocorrência de falhas em campo do produto, tomando o cuidado para não induzir nenhuma linha de pensamento.

Após a transcrição das entrevistas, o conteúdo foi classificado de acordo com os tipos de risco e construtos já mapeados no Modelo Inicial (“classe” de construto). Foi identificado um total de 77 conceitos ou ideias diferentes, as quais foram classificadas conforme Quadro 11.

Classif. Classe	Confirma	Define	Confirma e Define	<u>Novo</u> <u>Construto</u>	Relação Causal	Outro	Total
Fornecimento	10	-	4	9	-	3	26 (33,7%)
Ensaios	4	10	2	-	-	-	16 (20,8%)
Produção	-	-	-	-	-	13	13 (16,9%)
Processo de	2	2	4	-	2	1	11 (14,3%)
Restrições	3	3	1	2	-	2	11 (14,3%)
Total	19	15	11	11	2	19	77

Quadro 11 – Distribuição das idéias coletadas nas entrevistas
Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação foi realizada de acordo com o posicionamento do entrevistado em relação ao tema. A expressão “confirma” significa que o entrevistado fez um comentário reforçando a importância de um construto do Modelo Inicial. Por outro lado, “confirma e define” significa que além de o entrevistado reforçar o construto, ele acrescentou conceitos que foram úteis para uma definição mais detalhada do construto. Já a classificação “novo construto” refere-se a comentários que sugerem a introdução de um novo construto, tendo em vista não existir um que conste no Modelo Inicial. “Relação Causal” refere-se a um comentário que sugere a revisão da relação causal entre os construtos e, finalmente, a

expressão “outro” trata-se de comentários adicionais; comentários fora do escopo do modelo, no caso dos relacionados à Produção e a *insights* sobre o tema.

O primeiro item de classificação que obteve maior ocorrência em relação ao posicionamento foi “Confirma”. Essa classificação refere-se a conceitos que reforçaram as ideias elicitadas previamente nos construtos do Modelo Inicial. De todos os comentários feitos, mais da metade (52%) estiveram relacionados à classe do construto “Fornecimento”, ou seja, aos riscos de fornecimento. Além disso, esse item foi o mais presente no discurso das entrevistas, correspondendo a um total de 33,7% dos comentários. Esses dados refletem a preocupação dos entrevistados com os riscos de fornecimento, e corroboram o estudo de Criscimagana (1997) *apud* Hnatek (2003), apresentado anteriormente na Tabela 2, no qual as duas primeiras preocupações na pesquisa feita com 72 empresas do setor eletrônico estão relacionadas com o controle de fornecedores (76%) e controle de componentes (72%).

A segunda classe de comentários com maior ocorrência no discurso dos entrevistados foi relacionado à execução de ensaios. Esse dado precisa ser analisado com cautela adicional, tendo em vista que dos 16 comentários, 15 deles foram feitos pelos dois entrevistados que atuam profissionalmente em áreas mais correlatas à execução de ensaios dentre os seis entrevistados (entrevistados “E” e “F”).

Para facilitar o entendimento das relações entre os conceitos explicitados pelos especialistas durante as entrevistas, foi elaborado um Mapa Conceitual, conforme Figuras 34 e 35, sendo que a Figura 34 apresenta a maior parte dos conceitos verbalizados. A partir de então, cada conceito foi explorado à luz do Modelo Inicial. Começando pela discussão dos riscos relacionados ao construto RPD (Riscos de Pesquisa e Desenvolvimento), os entrevistados manifestaram um claro entendimento de que esse é um dos riscos com maior impacto na possibilidade de o produto apresentar uma epidemia em campo. De forma geral, existiu uma concordância em relação aos construtos relacionados ao RPD. Por outro lado, alguns comentários indicaram a necessidade de fazer algumas modificações nessa parte do Modelo Inicial.

Ao avaliar o construto QTPD, todos os comentários reforçaram a importância da capacitação da equipe. O entrevistado “A” complementou dizendo:

Cada engenheiro de produto participante do projeto necessita ter um *core competence* de desenvolvimento. Por exemplo, um engenheiro deve ser bom como integrador, outro deve ser um bom layoutista, outro ser bom no projeto de fontes, etc. Como exemplo de uma boa metodologia de trabalho é o que faz a Toyota, que possui uma biblioteca de partes validadas, conjugando com técnicas de DFR. Outro ponto importante é conhecer os limites de cada aplicação.

O entrevistado “B” ressaltou a questão da experiência e também quais as tecnologias disponíveis em cada região, ao mencionar o seguinte: “[...] a capacidade do time de desenvolvimento depende da experiência de cada um da equipe, das tecnologias disponíveis na região, nos desafios que cada um já passou. Às vezes existe uma conjunção de fatores favoráveis [...]”. Outro comentário do entrevistado “B” estimulou a revisão da relação entre o construto CPD (Capacidade de P&D) e suas entradas. Ele disse que:

Embora ajude ter procedimentos adequados, acredito que o resultado em termos de confiabilidade está muito mais relacionado a quem executa os procedimentos. Em um estudo sobre comunicação em projetos, é indicado que no Brasil existe uma pobre disciplina em seguir os procedimentos estabelecidos.

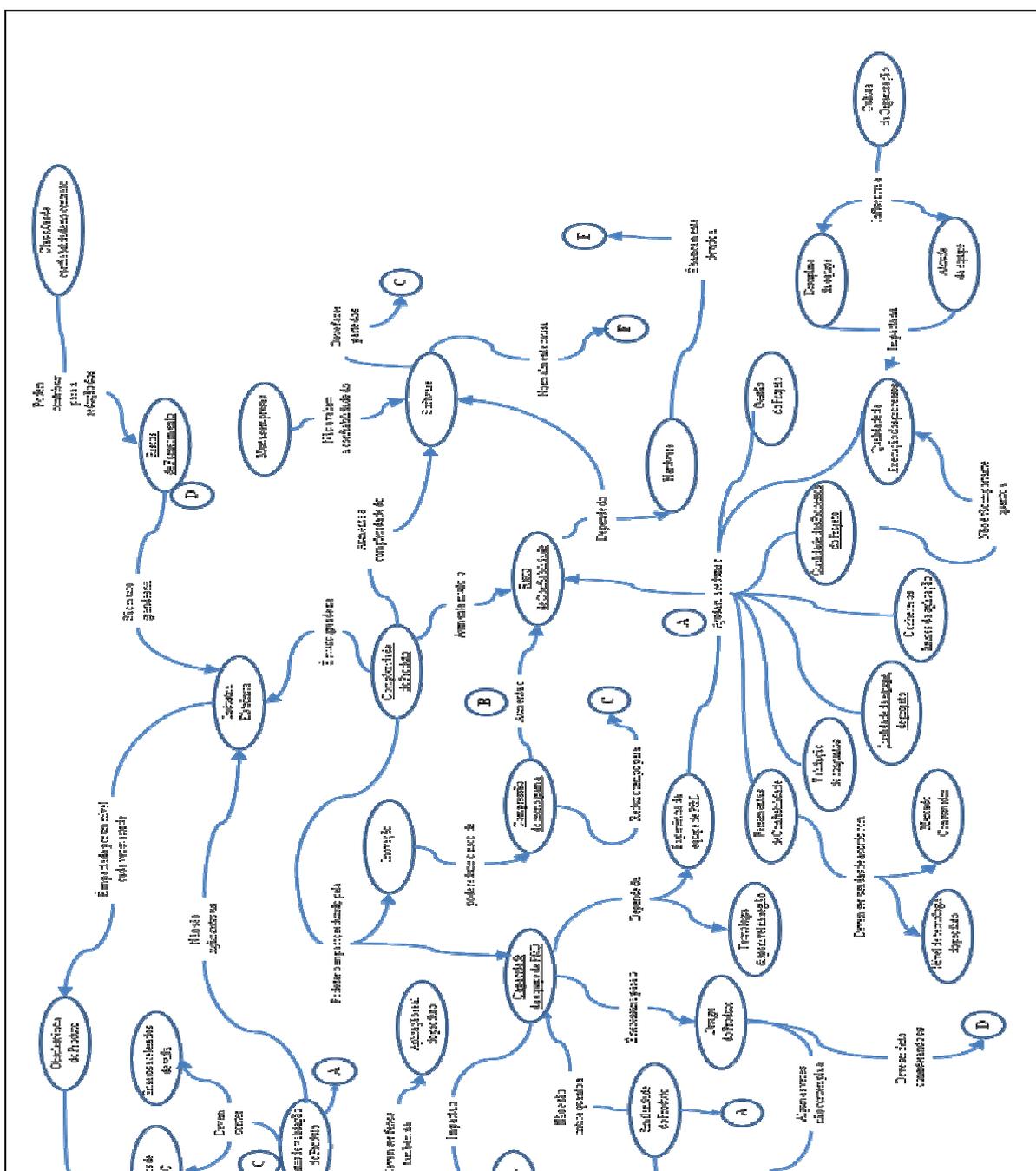


Figura 34 – Mapa Conceitual das Entrevistas, Primeira Parte
Fonte: Elaborada pelo autor.

O construto CPD no Modelo Inicial possui como entradas os construtos QPDFR (Qualidade dos Processos de DFR) e QTPD (Qualidade do time de P&D). Se um dos fatores importantes nos riscos do processo de projeto é de fato a execução de técnicas de DFR, o construto QPDFR será modificado para o UMDFR (Utilização de Métodos de DFR). Esse novo construto terá como entradas a qualidade do time de P&D (QTPD), ou seja, a existência de processos de DFR na organização deverá ser refletida no último construto. Além disso, o UMDFR será impactado pelo RFP (Restrições na Fase de Projeto), o qual não será mais uma das entradas do RPD. O QTPD continuará sendo uma das entradas do RPD, pois o impacto da qualidade da equipe não ocorre apenas através da utilização de métodos de DFR, mas também pela qualidade do processo de projeto em si.

Em relação às variáveis do modelo que consideram as restrições no projeto, englobadas no construto RFP, a grande maioria dos entrevistados concordou que a complexidade do produto (CP) é um fator importante. O entrevistado “B”, por exemplo, comentou: “[...] para a eletrônica a complexidade é muito grande e existe mais um elemento a considerar, quando falamos em DPM (Defeitos por Milhão), existem muito mais oportunidades, devido à grande quantidade de componentes.”

O entrevistado “F” complementou:

Quanto mais complexo o produto, menor confiabilidade ele tem. Cada vez mais os produtos estão assimilando mais funções, isso para a confiabilidade é terrível, hoje a maioria dos produtos tem um software também. O software normalmente causa falhas prematuras, e depois que o software está estabilizado, ele também entra numa curva de taxa de falhas constante, mas no início do projeto o software também está sendo depurado.

Já o entrevistado “A” fez um comentário interessante, relacionado à capacidade da equipe de P&D com a complexidade do produto:

A complexidade do produto é uma barreira que se vence com a competência de desenvolvimento e a inovação. Por exemplo, no ciclo de miniaturização de computadores portáteis, são continuamente desenvolvidos novos processos, novos materiais, fornecedores, etc. Ocorrendo este ciclo algumas vezes, a empresa aprende a fazer isso e o produto deixa de ser complexo.

Esse comentário indicaria a possibilidade de que o construto QTPD fosse uma das entradas do construto CP no modelo. Porém, decidiu-se alternativamente não modificar essa parte do modelo, mas considerar a necessidade de que o construto CP agregasse algum dinamismo durante a avaliação dos especialistas. Em outras palavras, o que a organização considera como um produto altamente complexo poderá mudar ao longo do tempo.

Todos entrevistados também concordaram sobre o impacto da Compressão do Cronograma (CC) nas restrições do projeto. O entrevistado “F” por exemplo, comentou em relação a essa variável:

No Brasil os cronogramas normalmente são atropelados, te sobra um tempo muito curto para fase de protótipo, você não consegue testar direito e isso acaba indo para campo. Para você corrigir um problema depois que ele já foi pro campo, esse custo é no mínimo dez vezes maior, muito mais do que dez vezes, do que você corrigir isso na fase de protótipo.

No mesmo sentido, o entrevistado “C”, que trabalha em outra região comentou: “Algumas vezes é tomada a decisão durante o projeto de não testar determinadas partes do produto, porque tomam muito tempo”.

Alguns entrevistados indicaram a necessidade de acrescentar mais um construto como entrada ao RFP: as restrições ao orçamento do projeto. Esse novo construto foi chamado de ROP (Restrições de Orçamento do Projeto) e passou a ser mais uma das entradas do RFP (Restrições na Fase do Projeto). O entrevistado “B”, por exemplo, comentou: “[...] quanto a restrições na fase de projeto, que podem resultar em riscos para a confiabilidade do produto, observa-se que em muitas situações não existem recursos suficientes para resolver problemas, para realizar testes mais completos no produto, etc.”

Como visto no Quadro 11 e mencionado anteriormente, a classe de construto com maior ocorrência nos comentários dos entrevistados foi a que trata de riscos de fornecimento. A conclusão é de que os construtos existentes no Modelo Inicial não contemplam adequadamente todos os riscos desse tipo. O entrevistado “A” comentou o seguinte:

Deve ser considerada a aplicação de DFS, não apenas DFR. DFS é *Design for Sourcing*. Ou seja, o projeto deve passar por um especialista que conhece a dificuldade de entrega do componente. Esse cara deve entender qual é a estratégia de *Sourcing* da empresa. A dificuldade de entrega muitas vezes demanda a utilização de componentes alternativos, que eventualmente não passaram por todos os testes de homologação previstos. Dessa forma, acaba sendo um risco para a confiabilidade do produto. Uma boa prática é que na fase de desenvolvimento de subconjuntos, devem ser aprovadas pelo menos 3 opções de fornecimento para os itens mais críticos. Isso deve ser feito principalmente para semicondutores, devido às dificuldades de fornecimento

O entrevistado “A” acrescentou: “Um dos fatores importantes que impactam nas dificuldades de fornecimento é o conhecimento da cadeia de fornecimentos pela empresa, tanto em relação à entrega, quanto ao histórico de qualidade de fornecimento”.

Já o entrevistado “B” utilizou um exemplo para ressaltar a importância de que a empresa faça um bom trabalho na definição e controle dos componentes:

Como exemplo de falha identificada em campo, houve um componente que vinha a falhar entre 1 ano e 1 ano e meio. No final foi identificado que ocorreu uma mudança de material no fornecedor. Hoje talvez exista uma pressão ou irresponsabilidade do fornecedor para que ocorram mudanças sem os testes adequados. No caso mencionado, havia um componente higroscópico na matéria-prima e tratava-se de um fornecedor chinês. Como lição aprendida, foi criada uma “lista negra” e definido um melhor controle de processo para mudanças de fornecedores e variações no produto.

A Figura 35 apresenta a segunda parte do Mapa Conceitual, realizada a partir dos comentários relacionados com a cadeia de suprimentos.

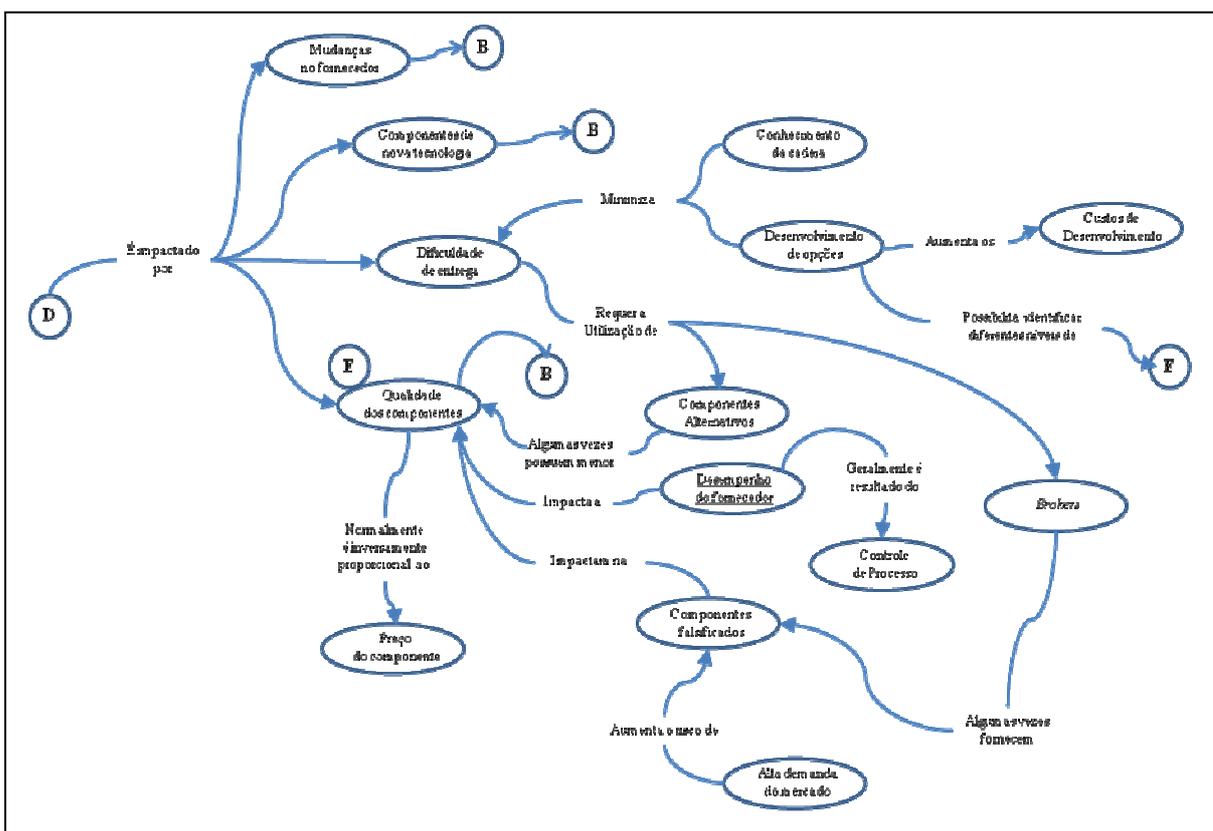


Figura 35 – Mapa Conceitual das Entrevistas, Segunda Parte
 Fonte: Elaborada pelo autor.

O entrevistado “F” também mencionou um exemplo, contextualizando bem algumas dificuldades enfrentadas na indústria eletrônica:

O que está acontecendo com componente chinês atualmente: eles mandam componentes, e vários no meio da fita eles estão colocando componentes não tão bons. No início dos rolos eles colocam apenas componentes bons, do meio para frente eles começam a colocar componentes que eu nem sei se são originais. Eles devem pegar de outros, inclusive componentes com defeito. Isso está acontecendo devido à grande demanda, isso está causando problemas sérios. Quando você faz a amostragem, chega um rolo de SMD da China, o cara vai colocar na montagem, quem vai fazer a amostragem faz no início do rolo, você não vai desenrolar toda uma bobina para no final do carretel você fazer a amostragem. Aí o que acontece: você aprova o rolo e coloca na produção. Aí lá no final começa a ter um monte de componentes com problema. O pior é que eles nem colocam o componente com defeito, eles colocam componentes, vamos dizer, um Bin 2, um componente em outra faixa de qualidade. Tivemos o caso recente de um componente em que tivemos que fazer o teste do componente com carga para pegar o problema. Esse “efeito China” é realmente devastador.

O entrevistado “C” foi bastante sucinto quanto a esse tipo de risco, mas ao mesmo tempo bastante enfático: “[...] sem dúvida nenhuma, a preocupação número um dever ser com as mudanças feitas pelos fornecedores [...]”. Assim como os demais entrevistados, ele confirmou que a Similaridade de Fornecimento (SF) é muito importante, ao comentar que “[...] para componentes novos, experimentais, o risco sobe significativamente [...]”.

O pesquisador decidiu, utilizando o referencial teórico e as entrevistas, acrescentar dois construtos no modelo: o construto UMDFS (Utilização de Métodos de *Design for Supply*) e o construto QTEC (Qualidade técnica na definição dos componentes e fornecedores). O UMDFS tem como entradas o construto QTEC e também o RFP (Restrições na Fase do Projeto), tendo em vista que as restrições acabam impactando na extensão de uso das técnicas de DFS. O construto QTEC será descrito na seção 4.3, ocasião em que todos os construtos do Modelo Sugerido serão detalhados, como parte do desenvolvimento dos artefatos.

Quanto à parte do modelo que descreve os riscos relacionados aos ensaios de verificação e validação, as entrevistas confirmaram o que foi estabelecido no modelo e adicionaram alguns detalhes que serão úteis na especificação dos construtos. O entrevistado “F”, por exemplo, ao comentar sobre a relevância da capacidade e experiência da equipe, diz

acreditar que os testes de validação do produto de maneira geral podem evitar o lançamento de produtos que tenham sido mal projetados, ao esboçar o seguinte:

Se você tiver engenheiros mais experientes, o cara nem vai ter que pesquisar, por exemplo, se o projeto tem capacitores eletrolíticos e se vai funcionar no Nordeste. O engenheiro experiente já sabe isso tudo. Já o engenheiro que está começando, ele não sabe disso, ele vai pagar esse preço, mas você no teste de confiabilidade vai pegar o problema, então em projetos a experiência é tudo. É um item extremamente importante, mas como você acaba pegando no teste de validação, acaba no geral não tendo um impacto tão grande.

O entrevistado “A”, quanto aos ensaios, comentou sobre a importância de avaliar adequadamente as características mais significativas, além de validar o produto na aplicação real:

Depois de feito o protótipo, os engenheiros de *hardware*, de software, de processo e de teste devem trabalhar juntos para que todas as características importantes sejam testadas na manufatura. Para cada estágio de vida útil pode ter um tipo de teste, até o lote piloto. Exemplo: instalar na casa de alguns funcionários o produto, para ver como ele está desempenhando as características. Deve ser feito um refinamento do produto para um melhor desempenho no processo de manufatura e teste. Aí o produto poderá estar pronto para o primeiro lote, com um nível de segurança adequado. Além de verificar os pontos críticos e fazer testes em laboratório, é importante mesmo assim validar o produto na aplicação real. Após a avaliação do produto na aplicação real deve ser feito um estudo minucioso, para ver o que degradou e etc.

A partir das modificações propostas, concluiu-se a definição do Modelo Sugerido, conforme Figura 36. Como previsto no método de pesquisa, após a atualização do modelo foi feita uma circunspeção, que envolveu inclusive a revisão do Modelo Sugerido por todos os entrevistados. Enviou-se um documento, contendo o Grafo do modelo e uma breve definição de cada construto, conforme Apêndice D. Foi obtido o retorno de quatro dos seis entrevistados. Todos eles consideraram o modelo adequado, não sugerindo nenhuma modificação.

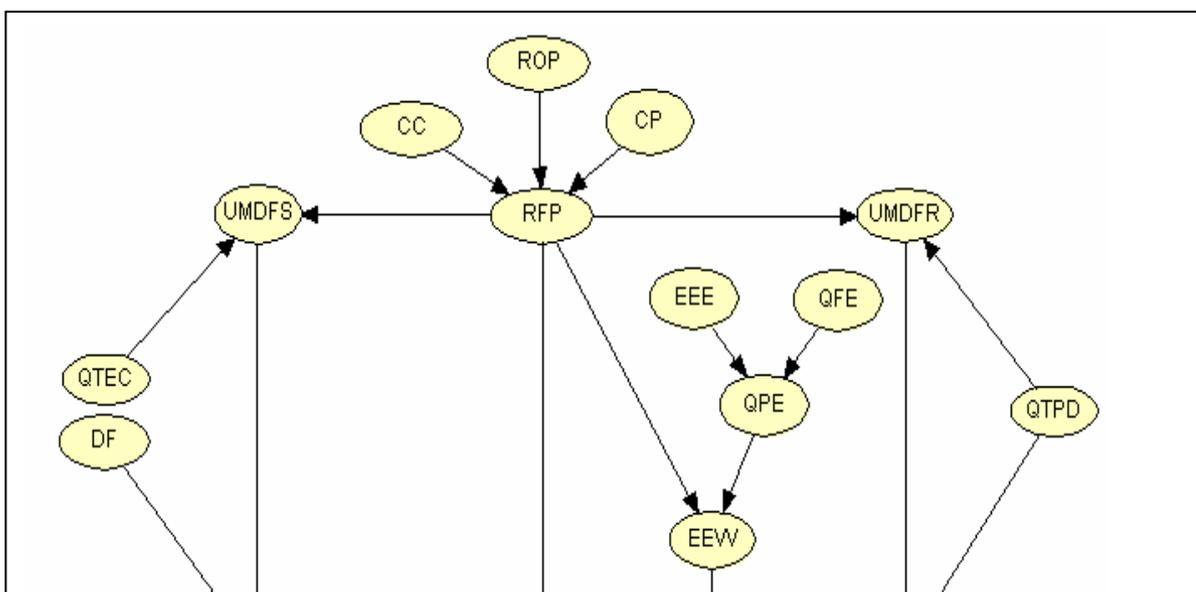


Figura 36 – Modelo Sugerido
 Fonte: Elaborada pelo autor.

No Quadro 12 é apresentada uma breve definição de todos os construtos do Modelo Sugerido e quais as fontes utilizadas para a definição de cada um deles.

Sigla	Definição Geral	Fonte
RF	Risco de Fornecimento	Chin <i>et al.</i> (2009), Blessing e Chakrabarti (2009)
SF	Similaridade de Fornecimento	Chin <i>et al.</i> (2009)
DF	Desempenho dos Fornecedores	Chin <i>et al.</i> (2009)
UMDFS	Utilização de métodos de <i>Design for Supply</i>	Entrevistas com especialistas
QTEC	Qualidade do Time de Engenharia de Componentes e Compras	Entrevistas com especialistas
RFP	Restrições nas Fases do Projeto	Neil <i>et al.</i> (2001)
CC	Compressão do Cronograma	Neil <i>et al.</i> (2001), Blessing e Chakrabarti (2009)
ROP	Restrições no Orçamento do Projeto	Entrevistas com especialistas
CP	Complexidade do Produto	Chin <i>et al.</i> (2009), Neil <i>et al.</i> (2001)
RRAV	Riscos Remanescentes Após a Validação do produto	Fenton, Neil e Marquez (2010)
CACRS	Capacidade de Análise de Causa-Raiz e Solução de Problemas	Fenton, Neil e Marquez (2010)
RPDNDVV	Riscos de P&D Não Detectado Após Verificação e Validação	Fenton, Neil e Marquez (2010)
EEVV	Eficácia dos Ensaios de Verificação e Validação	Fenton, Neil e Marquez (2010)
QPE	Qualidade dos Processos de Ensaio	Fenton, Neil e Marquez (2010)
EEE	Experiência da Equipe de Ensaiosa	Fenton, Neil e Marquez (2010)

QFE	Qualidade das Ferramentas de Ensaio	Fenton, Neil e Marquez (2010)
RPD	Risco de P&D	Chin <i>et al.</i> (2009), Neil <i>et al.</i> (2001), Blessing e Chakrabarti (2009)
UMDFR	Utilização de Métodos de DFR	Blessing e Chakrabarti (2009)
QTPD	Qualidade do Time de P&D	Chin <i>et al.</i> (2009), Neil <i>et al.</i> (2001)
SPE	Similaridade com Produtos Existentes	Chin <i>et al.</i> (2009)

Quadro 12 – Resumo dos Construtos do Modelo Sugerido
Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma consideração importante em relação ao Modelo Inicial, bem como ao Modelo Sugerido é que ambos não possuem construtos específicos para quantificar a consequência associada aos riscos. Na verdade, deve fazer parte da definição das variáveis do problema o conceito de consequência. As variáveis do problema são aquelas que, na definição dos construtos, representam diretamente os riscos secundários (construtos RF, RRAV, RPDNDVV e RPD).

De acordo com o referencial teórico desenvolvido no Capítulo 2, a falha, para ser considerada epidêmica, depende de uma expectativa da empresa compradora, expectativa essa algumas vezes estabelecida em contrato. Portanto, deve fazer parte do método o estabelecimento do nível de falhas para ser considerada uma falha epidêmica.

Como o nível estabelecido deve ser aplicável a qualquer produto da empresa, inicialmente deve-se identificar um nível que atenda a todas as questões contratuais e a possíveis informações que reflitam as expectativas dos clientes. A questão contratual é importante, pois o eventual desdobramento no caso de falhas epidêmicas normalmente é muito mais severo em relação a custos. Uma vez identificado o nível, por exemplo, de 2%, associado ao período de garantia, o especialista poderá melhor julgar quais os tipos de falha que com uma causa específica poderão resultar nesses níveis de falha. Além disso, a partir de um nível quantificado, o método poderá vir a integrar de forma mais adequada algumas evidências no modelo como, por exemplo, o resultado de ensaios de validação do produto.

4.3 DESENVOLVIMENTO COMPLETO DOS ARTEFATOS

Os artefatos desenvolvidos para esse passo do método e o objetivo de cada um deles são indicados no Quadro 13.

Artefato	Descrição	Objetivo
DEFCON	Definição de cada construto e seus níveis	Referência para especialistas na determinação das TPNs e coleta de evidências
PLANTPN	Planilhas contendo as TPNs e os níveis dos construtos	Registro para posterior carga no software de RB
SOFTRB	Implementação do modelo em Redes Bayesianas em um software	Realizar inferências através dos algoritmos do software de RB
PLANHIST	Planilha para coleta de evidências de casos anteriores	Ajuste das TPNs a partir de projetos anteriores

Quadro 13 – Artefatos do Passo de Elicitação
Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir são apresentados os passos do método proposto e detalhados os artefatos necessários para sua efetivação. No Apêndice E pode ser visto um fluxograma completo com todas as atividades previstas para o método.

4.3.1 Planejamento da Implementação do Método na Empresa

Iniciando pelo planejamento da utilização do método em uma organização específica, primeiramente necessita ser confirmado, através de reuniões com a alta administração, que existe a necessidade e o interesse necessários para a aplicação do método. Uma vez que a principal área envolvida da empresa deverá ser a de desenvolvimento de produtos, é importante que ela seja envolvida desde o início, assim como a área de Suprimentos e a responsável pelo planejamento e execução de ensaios de verificação e validação do produto. Na etapa de alinhamento com a direção da empresa e com as principais áreas envolvidas, deve ser feita uma breve explanação sobre os principais conceitos relacionados ao método, ressaltando as potencialidades do modelo construído em Redes Bayesianas.

Quando finalizada a etapa acima mencionada, deve ser definida a equipe de implementação. Sugere-se que a liderança da equipe, seja determinada por um departamento que não tenha responsabilidade pela execução de atividades diretamente relacionadas ao processo de projeto do produto ou verificação e validação do produto. Por exemplo, caso exista alguma deficiência sistemática em determinada atividade cuja responsabilidade seja do líder da equipe de implementação, pode ocorrer uma aplicação tendenciosa do método.

Já a facilitação do processo de implementação pode ser feita por um especialista da empresa ou por uma consultoria externa. Definindo-se a equipe e o papel de cada um, deve ser elaborado um cronograma, o qual deverá conter o prazo para conclusão de cada um dos passos do método.

4.3.2 Elicitação dos parâmetros numéricos do modelo

O passo de elicitação dos parâmetros numéricos é o que exige maior esforço e tempo dos especialistas da empresa, visto que o conhecimento deles em relação a cada construto deverá ser transferido para as TPNs (Tabelas de Probabilidades dos Nós). Além da extração do conhecimento dos especialistas, esse passo do método prevê a coleta de dados de projetos executados anteriormente. A Figura 37 ilustra a sequência de atividades proposta.

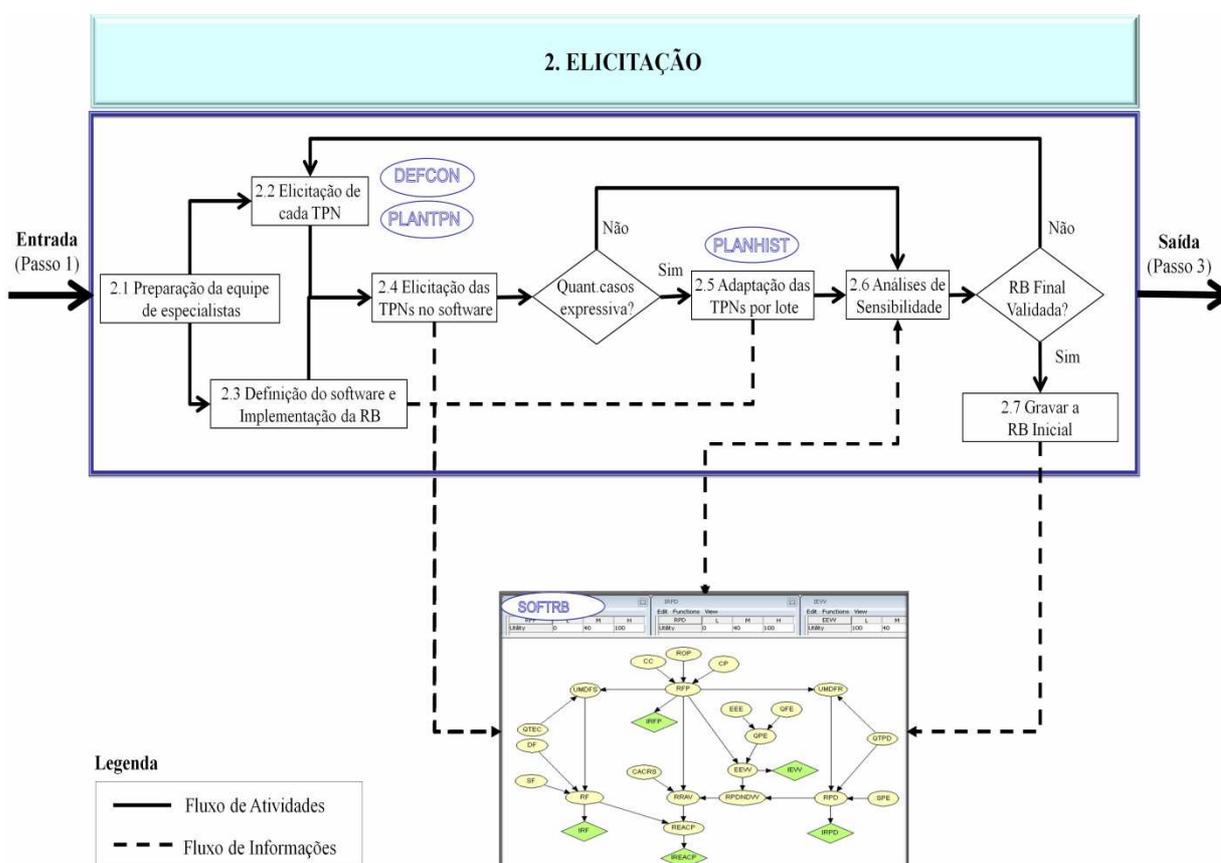


Figura 37 – Fluxograma de atividades do passo de elicitação do modelo

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.2.1 Preparação da Equipe de Especialistas

Ao estarem alinhados com a direção da empresa os objetivos e importância do método, é muito importante que todos os especialistas sejam devidamente preparados para a elicitação. Essa preparação consiste nas seguintes atividades:

- a) comunicação sobre os objetivos e cronograma de implementação;
- b) detalhamento dos passos do método;
- c) treinamento sobre o significado de cada construto;
- d) treinamento básico sobre Redes Bayesianas e Elicitação das TPNs.

Caso a empresa opte por desenvolver um especialista interno que liderará o processo de implementação do método, ao invés de se utilizar de um serviço externo (por exemplo, de uma consultoria), a qualificação do especialista deverá ser concluída nessa etapa.

4.3.2.2 Elicitação de cada TPN pelos Especialistas

Os conceitos básicos de cada construto foram definidos durante a formatação do modelo. No entanto, o método necessita prover maior detalhamento de cada um deles, para a aplicação em diferentes empresas da indústria eletrônica. O artefato DEFCON, ao apresentar referências aos especialistas sobre os construtos, permite minimizar a variação no julgamento dos especialistas. Para a construção desse artefato foram utilizadas as seguintes fontes de informação: o referencial teórico, as entrevistas com os especialistas e a experiência do pesquisador no tema. No Apêndice F, artefato DEFCON é descrito por completo.

Segundo Fenton, Neil e Caballero (2006), nos estudos de aplicações comerciais nos quais os autores estiveram envolvidos, os especialistas raramente ficaram satisfeitos com a quantidade de apenas três níveis discretos para os nós. Por outro lado, sabe-se que o número de níveis é diretamente proporcional ao tempo de elicitação das TPNs. Por uma questão de simplicidade e para atender ao cronograma da presente pesquisa, decidiu-se utilizar somente três níveis discretos, quais sejam, o nível Alto, que será chamado de “H” (*High*), o nível “M” (*Medium*) e o nível baixo, chamado de “L” (*Low*).

Na avaliação dos níveis de cada construto (nó) pelos especialistas, deve-se ter o cuidado de que o impacto negativo quando um construto encontra-se no nível “H”, é aplicável apenas aos construtos que apresentam uma conotação negativa na sua definição, como os diretamente relacionados a riscos. Muitos dos construtos, por outro lado, apresentam uma conotação positiva. Por exemplo, se o construto UMDFR (Utilização de Métodos de DFR)

estiver num nível alto (“H”), isso é positivo para a empresa, indicando que ela tem um alto nível de utilização dos métodos de DFR.

Blessing e Chakrabarti (2009) citam algumas ameaças à validade dos construtos, as quais a presente pesquisa buscou minimizá-las:

- a) medições incorretas devido à definição inadequada dos construtos: a definição dos construtos foi feita a partir do referencial teórico, construído no capítulo dois, das entrevistas, as quais parte delas foi descrita no capítulo cinco, e também da experiência do pesquisador no tema em questão;
- b) construtos baseados em uma característica: dentro da viabilidade de tempo para realização desta pesquisa, foram relacionadas múltiplas fontes para determinação do construto, inclusive qualitativas;
- c) influência dos participantes: para explicar essa ameaça, os autores descrevem alguns exemplos, tais como o quanto os participantes têm receio de que sua competência de projeto seja julgada e se esse julgamento será utilizado por outras pessoas. Para minimizar tal efeito, os entrevistados, antecipadamente, foram informados de que o conteúdo seria tratado com anonimato;
- d) diferenças entre os grupos pesquisados: foi buscada uma representatividade do grupo de entrevistados e um amplo referencial teórico. Um dos referenciais teóricos utilizados para a definição dos construtos, por exemplo, foi a pesquisa qualitativa de Tiku (2005), que envolveu 90 empresas de diferentes segmentos da indústria eletrônica e um total de 204 respondentes dessas empresas.

Uma questão que precisou ser considerada para a definição de cada construto é que, em diferentes fases do PDP, a forma de avaliá-lo pode sofrer variações. Além disso, em algumas fases do PDP não é possível mensurar o construto a partir de um projeto específico. Por essa razão, ao iniciar o PDP, existe um maior nível de incerteza em relação ao risco de epidemia do produto, motivo pelo qual nessas fases a contribuição do histórico de projetos concluídos anteriormente acaba sendo maior.

Outro artefato proposto no passo de elicitação é o PLANTPN, que é simplesmente uma planilha para coleta do julgamento dos especialistas sobre as tabelas de probabilidade dos nós (TPNs). Sugere-se para a elicitação a utilização da técnica de triangulação, cuja finalidade é melhorar a validade da pesquisa (MATHISON, 1988). Patton (2001) *apud* Golafshani (2003) defende que a triangulação reforça o estudo através da combinação de métodos

diferentes. No caso da elicitación das TPNs, a triangulação proposta é a associação de entrevistas com mais de um especialista da empresa com a coleta de casos anteriores de projetos. Essa última será descrita posteriormente nesta seção.

Além disso, para estimar as probabilidades em cada estado das TPNs, propõe-se a utilização da técnica proposta por Chin *et al.* (2009). Nela, é feita a comparação entre dois estados diferentes, ao invés da estimativa direta das probabilidades. Segundo os autores, para uma grande quantidade de estados de um nó, a estimativa direta das probabilidades acaba resultando em baixos níveis de exatidão e tendências. Além disso, observa-se que através do uso da técnica proposta, o processo de elicitación fica mais fácil. O artefato PLANTPN é apresentado no Apêndice G.

4.3.2.3 Definição do Software e Implementação da RB

Para realização das inferências utilizando o modelo em Rede Bayesiana, é necessária a implementação da RB em um software, que deve cumprir os seguintes requisitos mínimos:

- a) integração com outros aplicativos: isso permite a implementação do artefato SISBAAR (apresentado mais adiante na presente dissertação), além de possibilitar uma integração do método ao sistema de gestão de riscos da organização;
- b) aprendizado de parâmetros: para que seja possível atualizar as TPNs a partir de projetos anteriores e novos projetos;
- c) análise de sensibilidade: para a validação das TPNs;
- d) uso comercial: os softwares disponíveis gratuitamente são permitidos apenas para uso acadêmico.

Existem vários softwares disponíveis para RB, sendo que alguns deles foram citados no Capítulo 2 e uma lista mais completa pode ser vista em Murphy (2005). O autor cita um total de 50 softwares, indicando uma série de características de cada um deles, o que pode ser muito útil para selecionar os que atendem aos requisitos mencionados anteriormente. A partir dessa lista, foi identificado um total de 12 softwares comerciais, dos quais 9 possibilitam o aprendizado de parâmetros, e desses 9, apenas 2 permitem a integração com outros aplicativos. Utilizando a lista de Murphy (2005) como referência, somente dois softwares

atendem a todos os requisitos definidos: *AgenaRisk* (AGENARISK, 2010) e *Hugin* (HUGIN EXPERT, 2010). A próxima atividade após escolher e adquirir o software, é construir a RB, contemplando todos os nós e arcos.

4.3.2.4 Implementação das TPNs no Software

Uma vez implementada a RB no software e elicitadas as TPNs, a próxima atividade é transferi-las do artefato PLANTPN para o software. A RB implementada no software, contendo também as TPNs, trata-se do artefato SOFTRB. Com o SOFTRB já é possível fazer inferências.

4.3.2.5 Adaptação das TPNs por Lote

Antes de começar a utilizar o artefato SOFTRB para inferências, o método proposto prevê a etapa de adaptação das TPNs a partir de projetos anteriores. Tal atividade é recomendada apenas nas situações em que a empresa possui histórico suficiente dos projetos que já tenham sido executados. Para a obtenção dos dados desses projetos, o método propõe a utilização do artefato PLANHIST, que é constituído de uma planilha para registro dos níveis dos construtos dos projetos anteriores e da justificativa para a escolha de cada nível. O artefato PLANHIST pode ser visto no Apêndice H.

4.3.2.6 Análises de Sensibilidade

A análise de sensibilidade dos parâmetros, feita utilizando o software de RB, permite que os especialistas revisem o resultado do trabalho de elicitação antes de iniciar a aplicação na avaliação dos projetos. Essa é uma etapa interativa, na qual os especialistas podem revisar as TPNs de acordo com os resultados da análise até que a RB seja considerada aprovada na sua totalidade.

4.3.2.7 Gravar a RB Inicial

Na última fase da elicitação, após aprovada a RB pelos especialistas da empresa, basta gravar a Rede Bayesiana completa no software, constituída dos nós, arcos e TPNs atualizadas.

4.3.3 Preparação da Aplicação do Método em Projetos

O terceiro passo consiste em atividades previstas para ocorrer de forma cíclica, como um suporte para direcionar a aplicação do método em um ou mais projetos ao mesmo tempo.

A primeira atividade desse passo visa revisar o escopo do método com os especialistas envolvidos na sua aplicação no âmbito da organização, além de definir algum critério para priorização dos projetos que irão utilizá-lo. O critério para escolha dos projetos depende da necessidade da empresa e poderá ser definido de acordo com particularidades daqueles que já foram executados. A empresa, por exemplo, pode decidir que todos os projetos de uma determinada linha de produtos sejam executados utilizando o método.

Em seguida, a partir do critério de priorização definido, deve-se selecionar em quais projetos o método será aplicado. Caso esteja sendo aplicado pela primeira vez, sugere-se a escolha de apenas um projeto para ser piloto do método.

Finalmente a empresa precisa definir ou revisar o limiar de aceitação do risco de epidemia. Como o risco geral será mensurado diretamente através do construto REACP, após a coleta de evidências (passo 4) e a realização de inferências (passo 5), o resultado estará disponível como probabilidades associadas a cada nível de risco (baixo, médio e alto). Para simplificar a avaliação em relação a um limiar, deverá ser atribuída uma função de utilidade (FU), conforme descrito na seção 4.2.3, calculada a partir da REACP.

É sugerida a utilização da seguinte função de utilidade (equação 11):

$$IREACP = 0 \times L + 50 \times M + 100 \times H \quad (11)$$

Através dessa definição, no caso hipotético em que o risco é extremamente alto (100% no nível H), o valor da função utilidade IREACP é calculado em 100,0. No caso em que o risco é extremamente baixo (100% no nível “L”, IREACP é calculado em 0,0 e no caso do risco ser mediano (100% no nível “M”), IREACP fica em 50,0. Além da representação do risco através de uma função de utilidade, propõe-se o uso de representações por faixas de cores, sendo a verde representando um nível de risco aceitável, amarelo um nível elevado e amarelo um nível intermediário. O cálculo proposto para cada um desses níveis é feito considerando a diferença entre o resultado das evidências das variáveis independentes do

modelo em níveis favoráveis ($IREACP_{MAX}$) e o resultado em níveis desfavoráveis ($IREACP_{MIN}$). A definição proposta para as faixas é a seguinte:

$$a) \quad 0 \leq \text{faixa verde} \leq IREACP_{MIN} + \frac{1}{3}(IREACP_{MAX} - IREACP_{MIN}), \quad (12)$$

$$b) \quad IREACP_{MIN} + \frac{1}{3}(IREACP_{MAX} - IREACP_{MIN}) < \text{faixa amarela} < IREACP_{MIN} + \frac{2}{3}(IREACP_{MAX} - IREACP_{MIN}); \quad (13)$$

$$c) \quad IREACP_{MIN} + \frac{2}{3}(IREACP_{MAX} - IREACP_{MIN}) \leq \text{faixa vermelha} \leq 100. \quad (14)$$

A Figura 38 indica qual o IREACP em condições diferentes dos níveis H e M do REACP, arbitrando o valor de $IREACP_{MAX}$ de 100 e $IREACP_{MIN}$ de 0.

		M											
		1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	
H	1												100
	0,9											95	90
	0,8									90	85	80	
	0,7								85	80	75	70	
	0,6							80	75	70	65	60	
	0,5						75	70	65	60	55	50	
	0,4					70	65	60	55	50	45	40	
	0,3				65	60	55	50	45	40	35	30	
	0,2			60	55	50	45	40	35	30	25	20	
	0,1		55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	
	0,0	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	

Figura 38 – IREACP considerando diferentes níveis de H e M de REACP
Fonte: Elaborada pelo autor.

No decorrer de um projeto específico, se a função de utilidade IREACP indicar um valor superior ao limiar que foi estabelecido para cada fase do PDP, a empresa deverá estabelecer ações para mitigar alguns riscos antes de avançar para próxima fase ou lançar o produto no mercado.

4.3.4 Coleta de evidências para cada projeto específico

Neste passo é quando inicia o processo de avaliação de riscos de forma direta. Mais especificamente, a coleta de evidências vem a ser a tradução dos perigos identificados em cada fase do projeto para os níveis das variáveis (construtos) do modelo. O início desse passo, se possível, deve coincidir com o início do projeto.

Para ajudar a priorizar a coleta de informações o método sugere a aplicação da ferramenta Análise do Valor da Informação, a partir do artefato SOFTRB. Estando a RB atualizada, o software indica o quanto cada evidência agrega de valor na análise de riscos. Uma vez que está previsto no método a atualização automática da RB, somente após o final de cada projeto é que será suficiente que a Análise do Valor da Informação seja feita apenas uma vez no início do mesmo.

Com o objetivo de organizar a coleta de informações durante o projeto, o método prevê a utilização do PLANHIST, no qual as evidências devem ser registradas a partir da interação com as atividades do PDP. Sugere-se o preenchimento de uma folha do PLANHIST para cada fase do PDP a título de registro dos julgamentos dos especialistas.

4.3.5 Avaliação dos Riscos utilizando o Modelo Elicitado

Durante o último passo de aplicação do método realiza-se a avaliação dos riscos propriamente dita. Nessa ocasião, os especialistas devem realizar as inferências com base no artefato SOFTRB e, então, devem lançar as evidências coletadas a partir da PLANHIST em cada fase do projeto. Uma vez lançadas, os especialistas devem receber as informações dos níveis de risco mais importantes para suportar o processo de tomada de decisão. O método deverá permitir a simulação de diferentes cenários, para que seja avaliado o quanto o risco pode ser modificado dependendo da tomada de ações.

Um dos requisitos mencionados anteriormente como importante para o método é a simplicidade no momento da aplicação, principalmente para os usuários finais, durante o passo de avaliação dos riscos. Foram analisados os softwares *Hugin*, *AgenaRisk* e *Netica* e concluiu-se que em todos eles a interface com o usuário é adequada para a criação do modelo e a elicitación. Porém, para o passo de análise de riscos, no qual o especialista em RB provavelmente não irá participar, a interface dos softwares analisados é pouco customizável, o que dificulta a sua aplicação. Além disso, para a aplicação do método em vários projetos ao mesmo tempo e em cada fase dos mesmos, é importante existir um sistema que registre os riscos mensurados em todas as condições. Por esses motivos, foi identificada a necessidade de desenvolver um sistema a ser integrado com o software de RB. Esse sistema será um novo artefato, denominado SISBAAR (Sistema Bayesiano de Análise de Riscos), o qual será descrito na seção 4.3.5.2.

4.3.5.1 Atividades do Passo de Avaliação de Riscos

A primeira atividade do passo de avaliação de riscos consiste em transferir as evidências coletas pelo artefato PLANHIST em cada fase de cada projeto para o artefato SISBAAR. Ao registrar os níveis das variáveis nas quais existe evidência suficiente, o especialista deverá justificar a escolha dos níveis. Ao fazer isso, automaticamente será apresentada ao usuário a atualização do nível de risco global do projeto, através da função de utilidade IREACP.

Realizadas as inferências e estimado o risco para a fase na qual o projeto se encontra, o time de especialistas irá julgar o IREACP em relação ao limiar estabelecido na seção 4.3.3. Caso o IREACP seja maior do que o limiar, deverão ser definidas e implementadas as ações para mitigar o risco. Nesse caso, novas evidências deverão ser coletadas até que seja indicado pelo SISBAAR que o nível de risco do projeto é adequado. Deve-se ter o entendimento por parte dos especialistas e gestores da empresa, que caso seja decidido passar para a próxima fase do PDP ou lançar o produto no mercado na condição em que o IREACP é superior ao limiar previamente estabelecido, a empresa estará assumindo um risco elevado de epidemias em campo.

Naturalmente, para mitigar os riscos, muitas vezes a empresa terá que tomar uma ou mais ações que resulte na necessidade de investir algum recurso financeiro, ou ainda que resulte na redução do lucro previsto com o produto ao longo do ciclo de vida. A empresa poderá optar por assumir um perfil mais ou menos arrojado em relação aos riscos e, portanto, pode não ser suficiente apenas a avaliação do IREACP inferido em relação aos limiares estabelecido. Para suportar a análise desse tipo de *trade-off*, propõe-se a utilização do conceito de valor esperado, explicado no Capítulo 2. Utilizando a equação (5) do Capítulo 2 para as variáveis e níveis de interesse, obtém-se:

$$E[CG] = p(REACP_L) \times CG_L + p(REACP_M) \times CG_M + p(REACP_H) \times CG_H \quad (15)$$

Sendo que CG é o custo de garantia estimado, CG_L é esse custo se $REACP = "L"$, CG_M é o custo de $REACP = "M"$, CG_H o custo se $REACP = "H"$, $p(REACP_L)$ é a probabilidade de REACP estar no nível "L", $p(REACP_M)$ é a probabilidade de REACP estar no nível "M" e $p(REACP_H)$ é a probabilidade de REACP estar no nível "H".

Por sua vez, os custos estimados de garantia podem ser calculados conforme equação (16):

$$CG = [1 - R(tg)] \times cf \times vap \quad (16)$$

Nessa equação, $R(tg)$ é a confiabilidade do produto estimado para o tempo de garantia, cf é o custo associado a cada produto que apresenta falhas e vap é o volume anual de vendas previsto para o produto.

A diferença entre a $E[CG]$, referente a cada ação proposta para mitigar os riscos e a $E[CG]$ caso a ação não seja colocada em prática, pode-se considerar como o ganho financeiro resultante de cada ação. Por outro lado, para cada alteração pode existir um investimento necessário. Dessa forma, mesmo que desconsiderando a atualização dos valores ao longo do tempo, pode-se fazer uma estimativa inicial quanto ao resultado das alterações a cada ano, calculando a diferença entre o valor investido e o ganho a cada ano, conforme equação (20):

$$\text{Resultado} = \sum_{a=1}^n [p(\text{REACP}_{a,L}) \times CG_L + p(\text{REACP}_{a,M}) \times CG_M + p(\text{REACP}_{a,H}) \times CG_H] - \sum_{a=1}^n I_a \quad (17)$$

Sendo “a” cada ação e I_a o investimento necessário para cada uma delas. É importante mencionar duas premissas que foram utilizadas para simplificar os cálculos da equação (17). A primeira define que o tempo de garantia começa a contar ao mesmo tempo para todos os produtos faturados em um determinado ano. A segunda premissa é que o custo de garantia que a empresa tem é pago apenas ao término de vigência de toda a garantia tg , mesmo que o produto falhe antes do término de garantia. Além dessas premissas, cabe destacar que os custos mencionados referem-se apenas a falhas no período de garantia, não englobando, por exemplo, custos relativos à perda do cliente e processos legais.

Concluída cada fase do projeto, o risco final deve ser registrado para posterior monitoramento, o que permitirá que seja avaliado em que grau tem variado ao longo dos projetos. A última atividade prevista no método deve ser executada assim que o projeto estiver concluído, ou seja, ao final da fase 5 do PDP. Nesse momento, após coletadas todas as evidências, será feita uma adaptação sequencial das TPNs pelo artefato SOFTRB, através da interface com o artefato SISBAAR. Na Figura 39 pode ser visto o fluxograma do passo 5 do modelo.

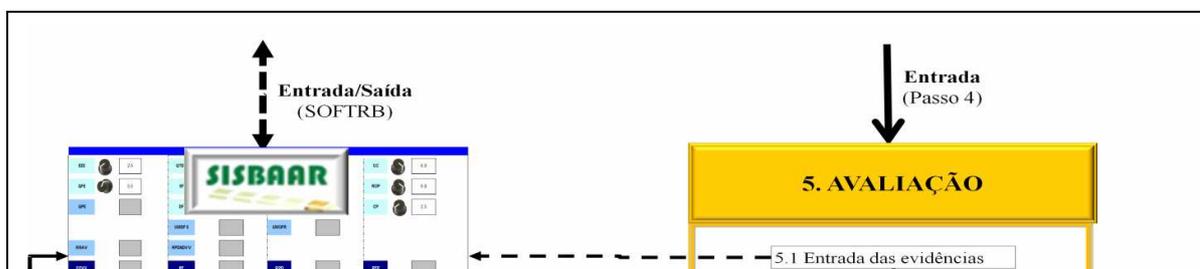


Figura 39 – Etapas do Passo 5 do Método Proposto
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.5.2 Artefato SISBAAR

Esta seção irá descrever o artefato SISBAAR, o qual é considerado um facilitador da aplicação do método. Os seguintes requisitos foram definidos para seu desenvolvimento:

- a) Integração com o software de RB: deverá ser possível realizar inferências no modelo em RB a partir de evidências registradas no SISBAAR e os resultados devem poder ser visualizados no SISBAAR após rodar os algoritmos no software de RB.
- b) Possível integração com sistemas de gestão de riscos: deverá ser possível integrar o sistema desenvolvido para análise de riscos com sistemas de gestão de riscos existentes ou que sejam futuramente desenvolvidos na empresa.
- c) Interface amigável com os usuários: as informações de entrada e saída do sistema deverão ser de fácil visualização pelos usuários. Se possível utilizar símbolos e cores para representar os níveis de risco. Na Figura 40 pode ser vista uma referência para a tela principal do sistema. Na parte superior da tela, o usuário seleciona o projeto e a sua fase. Em seguida, é apresentado cada nível de risco já selecionado para o projeto na fase selecionada. Na parte inferior da tela, são apresentados os níveis de risco para as variáveis de interesse.

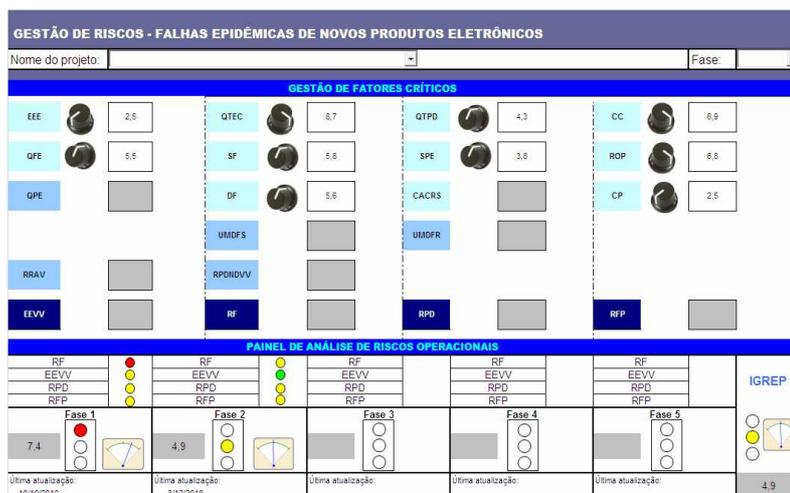


Figura 40 – Tela referencial para apresentação dos dados no SISBAAR
Fonte: Elaborada pelo autor.

- d) Possibilidade de registro de informações sobre as evidências coletadas: ao modificar o nível de cada variável do modelo, o usuário poderá registrar algum comentário que justifique o que foi selecionado. O sistema irá captar automaticamente, juntamente com o comentário, a data do registro. Na Figura 41 pode ser vista uma referência para a tela de registro de evidências.

The screenshot shows the evidence registration screen for the 'SF SIMILARIDADE DE FORNECIMENTO' factor. The current value is 5.3. The form includes a description: 'Indica o quanto os componentes previstos no projeto são similares aos atualmente fornecidos para a empresa e pelos fornecedores'. There are three sections for different similarity levels: 'H(High) - Alta Similaridade', 'M(Medium) - Média Similaridade', and 'L(Low) - Baixa Similaridade'. Each section contains a large text area for justification. A 'Justificativa' field is currently active, showing the letter 'A'. At the bottom right, there are two buttons: 'Confirma' and 'Cancela'.

Figura 41 – Referência de tela para o registro das evidências no SISBAAR
Fonte: Elaborada pelo autor.

- e) Repositório de informações sobre cada variável: para facilitar o entendimento de cada variável (construto) do modelo, o sistema deverá possibilitar acesso eletrônico às definições de cada variável, ou seja, o artefato DEFCON. Se possível, essas informações devem ser disponibilizadas na mesma tela de registro das evidências.

- f) Banco de dados: as informações coletadas de cada projeto e cada fase do projeto deverão ser armazenadas em um banco de dados como registros do projeto.
- g) Linguagem de programação: o sistema deverá desenvolvido em uma linguagem compatível com os API oferecidos pelo software de RB, usualmente Java, C++ ou C#.

A documentação da solução computacional que foi desenvolvida, como parte da aplicação do método, pode ser vista no Apêndice I.

5 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Neste capítulo será descrita a tentativa de aplicação do método proposto. Inicialmente, apresenta-se a organização onde o método foi colocado em prática e, em seguida, será mostrado cada passo de sua aplicação. O objetivo dessa tentativa de aplicação foi obter conclusões iniciais quanto à viabilidade de ser usado por uma empresa, além de identificar alguns pontos de melhoria, comparar o método proposto com outros utilizados pela empresa e, finalmente, mensurar os resultados da aplicação a partir dos critérios de desempenho previamente estabelecidos.

5.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A tentativa de aplicação do método ocorreu em uma das unidades brasileiras da *Invensys Controls*, divisão pertencente ao grupo *Invensys plc*. A *Invensys plc* é uma multinacional que fornece soluções nas áreas de equipamentos, software e consultoria, para monitorar, controlar e automatizar os processos em uma larga faixa de ambientes, de refinarias de petróleo a estações de energia, de estradas de ferro a eletrodomésticos. A *Invensys* global, contando com cerca de 20 mil funcionários em todo o mundo, teve em 2010 um faturamento de aproximadamente R\$ 6 bilhões e um lucro operacional de R\$ 662 milhões no mesmo período (INVENSYS, 2010a).

Mais especificamente, a *Invensys Controls* (divisão de controles) é líder global em dispositivos de controle para produtos residenciais e comerciais, com fortes posições nos mercados onde atua. Cerca de 20% do faturamento da *Invensys Controls* é proveniente de operações em países localizados na Ásia, América do Sul, África e Oriente Médio. Os produtos da *Invensys Controls* medem variáveis incluindo temperatura e pressão, buscando o desempenho otimizado dos equipamentos dos clientes. Para a aplicação em produtos residenciais, os principais clientes são os fabricantes da chamada linha branca, que inclui refrigeradores, fogões e máquinas de lavar. Em 2010 o faturamento da *Invensys Controls* chegou a R\$ 1,5 bilhões, resultando num lucro operacional de R\$ 141 milhões, com um total de 7782 funcionários. Os investimentos na engenharia global, pesquisa e desenvolvimento foram na ordem de 9% do faturamento no mesmo período (INVENSYS, 2010a). A *Invensys Controls* é detentora de várias marcas do mercado, tais como: *Robertshaw*, *Eliwell*, *Ranco*, *Paragon* e *Centeron*.

No Brasil a *Invensys Controls* teve início em 1959 quando a empresa *Robertshaw Fulton Controls* do Brasil iniciou suas atividades em Guarulhos, São Paulo. Em maio de 1961, começou a produção de termostatos em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Em 1986, o controle acionário do grupo passou para um dos maiores fabricantes de controles de eletrodomésticos do mundo, o grupo SIEBE, cuja sede era em Londres, na Inglaterra. Em fevereiro de 1999, aconteceu a fusão do grupo SIEBE com o grupo BTR, iniciando o grupo *Invensys* (INVENSYS, 2010b). Com a fusão e aquisições efetuadas e sendo detentor de tecnologia de ponta, esse grupo ocupa atualmente a primeira posição no mercado global de controles, no segmento em que atua.

Mais particularmente, a unidade de produtos eletrônicos opera no Brasil desde 1999, sendo responsável por projetar e manufaturar controles eletrônicos para os produtos do segmento de linha branca (lavanderia, refrigeração e cocção). Em um movimento estratégico, no ano de 2009, transferiu as suas atividades para Caxias do Sul-RS, junto à unidade de componentes eletromecânicos. Essa transferência ocorreu após a construção de um prédio totalmente novo, conforme Figura 42, o qual possui 3.660 m². Essa unidade possui cerca de 250 funcionários, sem considerar a equipe de Engenharia do Produto, que permanece sediada em São Paulo.



Figura 42 – Unidade de produção de controles eletrônicos da Invensys no Brasil
Fonte: Invensys (2010b).

5.2 CONTEXTO DE GESTÃO DE RISCOS NA EMPRESA

A *Invensys plc* possui um processo global para a gestão dos riscos dos negócios. Dos sete riscos gerais mencionados no Relatório Anual de 2010, dois deles de alguma forma estão relacionados com o tema da presente dissertação. O primeiro risco indicado está relacionado a investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para manter a posição competitiva da empresa. Segundo *Invensys* (2010a), “novas tecnologias e novos produtos envolvem riscos ao negócio em termos de potenciais cancelamentos de investimentos, riscos associados à reputação e reclamações de clientes”.

O segundo risco indicado refere-se às responsabilidades ou obrigações legais¹⁸ sob as quais a empresa pode estar sujeita devido às falhas em produtos fabricados e/ou projetados por ela. Conforme citado por *Invensys* (2010a), algumas falhas podem vir a resultar em reclamações, perda de receita, custos de garantia, custos e danos associados a *recalls* de produtos, responsabilidades legais, atrasos na aceitação do produto no mercado ou mesmo prejuízos à reputação da empresa quanto à segurança e qualidade do produto. O documento que apresenta esse risco menciona que quanto ao tratamento, existe uma função de controle da qualidade de cada divisão, e no caso da ocorrência de algum evento, existe um processo para investigar e gerenciar a ocorrência. Detalhes adicionais sobre o processo global de gestão de riscos podem ser vistos em *Invensys* (2010a), na seção “Riscos e Incertezas”.

No contexto de gestão de riscos no projeto de novos produtos, a *Invensys Controls* possui um processo global estabelecido para ser executado durante as fases do PDP. Basicamente trata-se de um processo no qual cada risco potencial deve ser identificado durante o projeto do produto e ser classificado entre várias categorias (técnico, qualidade, legal, estratégico) e para cada um deles é atribuído um nível de impacto e probabilidade de ocorrência. Uma das fontes de informação para os riscos técnicos deve incluir os índices elevados de risco provenientes do FMEA. Então, para cada risco são definidas ações e o produto só será lançado após os gerentes das áreas envolvidas estarem confortáveis quanto aos riscos remanescentes. Detalhes adicionais sobre esse processo são classificados como confidenciais e, portanto não podem ser fornecidos na presente dissertação.

A *Invensys Controls* classifica o PDP em função da complexidade do projeto. A partir da classificação realizada, algumas atividades são simplificadas ou mesmo se tornam

¹⁸ Responsabilidade ou obrigação legal: do inglês *liability*

facultativas, cabendo ao gerente de projetos definir a necessidade de serem executadas. De um modo geral os projetos são classificados da seguinte forma:

- a) pequenas adaptações em relação ao processo de projeto definido pelo cliente: cerca de 20% dos projetos da empresa. Nesse caso todo o risco de falhas devido ao processo de projeto fica com o cliente, responsabilizando-se a empresa pelo desenvolvimento ou adaptação de detalhes menores, a fabricação e o fornecimento do controle à fábrica do cliente;
- b) projeto em função de especificações de funcionamento e dimensionais: cerca de 75% dos projetos da empresa. Ocorre em situações quando o cliente especifica quais as funções que o controle deve executar, como deve ser a comunicação com o usuário, que tipo de cargas o controle acionará, quais as condições ambientais, entre outras características;
- c) projeto totalmente definido pela empresa: menos de 5% dos projetos. Nesse caso a empresa projeta um produto a um determinado segmento de mercado e não a um cliente específico (as especificações são definidas baseando-se no entendimento sobre uma gama de diferentes aplicações).

Em relação aos riscos de falha do produto na aplicação, a empresa está inserida nas particularidades do contexto descrito nos capítulos anteriores. Ou seja, trata-se de um contexto de aumento da complexidade dos produtos e das operações, de alta competitividade, de regulações legais, de dificuldades de fornecimento de componentes eletrônicos importados da China e de maior demanda dos clientes quanto ao desempenho do produto. Com o objetivo de assegurar que a unidade brasileira da *Invensys Controls* tenha a competitividade necessária e ao mesmo tempo previna falhas epidêmicas dos seus produtos, uma gama de ações está sendo realizada na região. Entre elas, um maior alinhamento com os processos globais de projeto de produto, investimentos em treinamento, readequação das linhas de produto e reestruturação organizacional.

5.3 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO

A seguir, a aplicação de cada passo do método será descrita.

5.3.1 Planejamento

Na etapa de planejamento, devido a certas circunstâncias particulares ao desenvolvimento da presente dissertação, algumas atividades não ocorreram exatamente como o proposto no método. As seguintes ressalvas foram consideradas para a avaliação da instanciação do método:

- a) O pesquisador foi o líder de implementação do método. Por uma questão de tempo hábil, não foi possível, por exemplo, desenvolver um especialista com maior neutralidade para sua aplicação. Um possível impacto dessa menor imparcialidade do líder, pode ser, por exemplo, uma tendência em valorizar a importância de atividades da área na qual é responsável, ou então, exercer alguma influência, mesmo que inconsciente, em determinados parâmetros do modelo durante a avaliação dos riscos.
- b) O planejamento inicial de aplicação do método na empresa foi realizado muito antes de seu desenvolvimento, diferentemente se o contato com o método estivesse sendo estabelecido pela primeira vez. Isso pode ter ajudado a uma maior aceitação da proposta do método em relação a outras empresas em geral.
- c) Não foi necessário realizar um trabalho junto à direção da empresa para aprovação do método, visto que isso já havia sido atrelado à disponibilização da empresa para o desenvolvimento da dissertação.

O alinhamento com a direção da empresa, no caso dessa tentativa de aplicação, foi feito antes do desenvolvimento do método, através de duas reuniões com o vice-presidente de Engenharia. Posteriormente, uma vez concluído o método, foram revisados os objetivos, definida a equipe de implementação e o cronograma.

A equipe foi constituída dos seguintes membros:

- a) líder: gerente de engenharia da confiabilidade (pesquisador);
- b) comitê de acompanhamento: Vice-Presidente de Engenharia, Gerente de Engenharia do Produto, Coordenador de Engenharia de Produto e Gerente de

Produto. Esse mesmo comitê participou da etapa de avaliação, como uma das etapas do método de pesquisa (descrito no Capítulo 6);

- c) membros participantes da elicitação: três especialistas com experiência na execução de vários projetos na empresa.

O Cronograma de instanciação do modelo pode ser visto no Apêndice J. Em resumo, foram previstas duas semanas para o passo de Planejamento, cinco para a Elicitação, uma para a Priorização, duas para a Coleta e uma para a Avaliação de Riscos propriamente dita. O cronograma precisou adequar-se ao planejamento da dissertação, o que fez com que algumas etapas fossem comprimidas, como a etapa de Avaliação de Riscos. Isso pode ter impactado na precisão das avaliações realizadas através do método. Além disso, conforme será explicado posteriormente em mais detalhes, a Coleta e Avaliação de riscos teve que ser feita de forma retroativa para as fases iniciais do projeto, ao invés de executar esses passos em paralelo com a execução das fases do mesmo.

5.3.2 Elicitação

A etapa de elicitação das TPNs foi realizada com a participação de três especialistas da empresa. Todos eles possuíam pelo menos cinco anos de experiência na organização. Em conjunto já executaram mais de dez projetos de novos produtos da *Invensys*.

Ao iniciar, o método foi brevemente apresentado, enfocando nos objetivos e nos conceitos de TPN e dos construtos. Foi fornecido a cada especialista o resumo do modelo (Apêndice D) para esclarecimentos, assim como uma cópia dos artefatos PLANTPN e DEFCON. O processo de elicitação foi realizado através de reuniões com os especialistas, nas quais se buscava um consenso quanto às probabilidades. O facilitador do processo, no caso o próprio pesquisador, eventualmente teve que esclarecer o conceito do construto e mediar a definição das probabilidades. Realizou-se um total de seis reuniões de cerca de uma hora cada para a elicitação, durante um período de cerca de um mês. Adicionalmente, foram necessárias duas reuniões para pequenas adaptações da definição dos construtos às ferramentas da empresa. Uma das adaptações, por exemplo, foi no detalhamento do construto EEVV, utilizando como referência as metas gerais de confiabilidade do produto existentes na organização.

Pelo fato de utilizar-se o método pela primeira vez, os especialistas tiveram várias dúvidas sobre os conceitos dos construtos e a forma de elicitar as probabilidades. Um dos erros comuns esteve relacionado com o conceito de risco e qualidade presentes no mesmo

modelo. Em uma oportunidade, o especialista julgou, por exemplo, que a variável QTPD estando em nível “L” (baixa probabilidade) representaria um baixo risco, sendo positivo para empresa. Porém, nessa variável, como em entre tantas outras do modelo, um nível baixo representa um nível de risco mais elevado.

Conforme mencionado no Capítulo 4, considerando as opções comerciais de software de RB que atendem aos critérios de escolha estabelecidos, foram identificadas apenas duas opções. Por atender a todos os critérios técnicos e melhor atender às questões comerciais, foi escolhido o software *Hugin* (revisão 7.4). Esse software foi desenvolvido pela empresa dinamarquesa Hugin Expert A/S, co-fundada em 1989 pelo pesquisador Steffen L Lauritzen.

Uma vez adquirida a licença do software para ser instalado em um microcomputador, foi implementado o modelo da RB através do grafo contendo todos os nós e arcos. Assim, bastou copiar para o software as TPNs elicidadas anteriormente a partir dos artefatos DEFCON e PLANTPN. Na Figura 43 pode ser vista uma tela do software *Hugin*, contendo parte do modelo e as TPNs que resultaram no artefato SOFTRB específico para a organização.

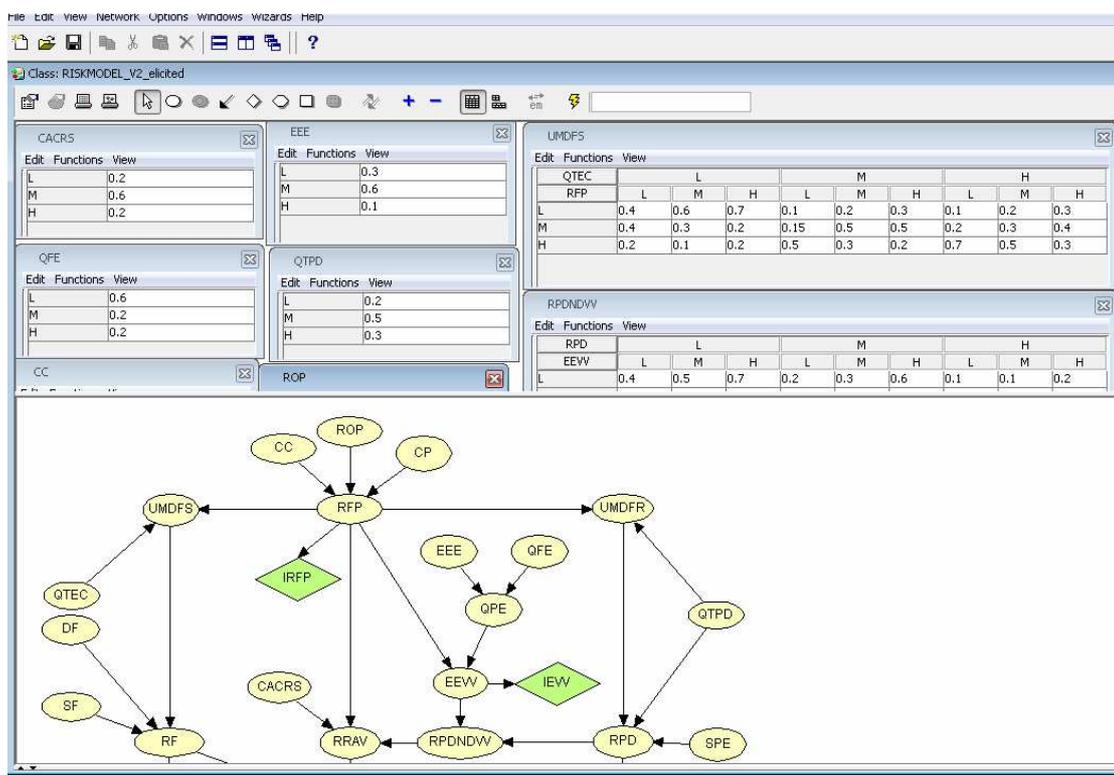


Figura 43 – Tela do software Hugin após a implementação do artefato SOFTRB
Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a RB elicitada no software, a próxima atividade seria realizar a adaptação das TPNs a partir da coleta de evidências dos últimos projetos concluídos pela organização, visto

que os especialistas julgaram que a quantidade de casos coletada foi expressiva. No entanto, os especialistas sugeriram fazer alguns testes simples para verificar se o modelo estaria representado de forma coerente com os riscos gerais do projeto, à medida que cada nível das variáveis fosse alterado. Isso foi feito da seguinte maneira: primeiro, tomou-se nota da variável de utilidade IREACP sem qualquer evidência. Na medida em que o nível de cada variável era selecionado individualmente no software, verificava-se se a variação da IREACP fazia sentido qualitativamente (se aumentava ou diminuía conforme esperado). Nesse processo foram identificadas duas variáveis, a EEVV e a CACRS, que para alguns níveis apresentavam um comportamento diferente do esperado. Isso gerou a revisão de todas as TPNs e a identificação de algumas inconsistências que foram então corrigidas.

Iniciada a etapa de adaptação a partir de casos, foram coletadas evidências de oito projetos executados previamente pela organização, o que representou cerca de 70% dos últimos projetos executados em um período de cinco anos. Os demais projetos desse período não foram incluídos na coleta, devido à indisponibilidade dos respectivos gerentes de projeto. Outra restrição que ocorreu durante a etapa de adaptação foi em relação às evidências em si, visto que os registros dos projetos anteriores não contemplavam as definições dos construtos do modelo. Assim, a maior parte das avaliações ocorreu a partir da interpretação dos especialistas em relação aos registros existentes dos projetos, o que pode ter impactado na precisão das avaliações. Para a execução do processo de adaptação por lote, criou-se uma lista de evidências num formato compatível do artefato SOFTRB para dar entrada aos dados. Em seguida, os dados foram coletados e foram feitas as configurações necessárias para utilizar a informação. O parâmetro *experience* foi ajustado em 10, representando a quantidade de casos utilizada como referência no julgamento inicial dos especialistas e o parâmetro *fading* foi ajustado no nível 1, para não alterar o efeito dos casos anteriores.

Durante o processo de adaptação foi possível acompanhar através do software o desenvolvimento verossimilhança marginal a posteriori¹⁹ de cada um dos níveis das variáveis (nós) do modelo, à medida que cada novo caso era inserido no modelo como uma nova evidência. A Figura 44 ilustra o uso desse recurso para as variáveis QTPD e REACP.

Um aspecto interessante que foi observado é que, após a adaptação dos casos, o nível de risco geral ficou mais elevado do que sem a referida adaptação. Isso pode ser uma indicação de que na elicitação inicial os especialistas foram mais otimistas em relação ao que

¹⁹ A verossimilhança marginal a posteriori é um termo utilizado na Estatística Bayesiana que significa a distribuição das probabilidades do nó, após ser integrada a partir dos parâmetros do modelo e das evidências (KJAERULFF; MADSEN, 2010).

de fato aconteceu com os projetos da empresa. No Apêndice K é apresentado o resultado final da elicitación das TPNs, incluindo o processo de adaptação. Cabe ressaltar que as probabilidades que são apresentadas no apêndice, assim como outras mencionadas posteriormente no texto, sofreram alterações em seus valores, por questões de preservação do sigilo de informações da empresa.

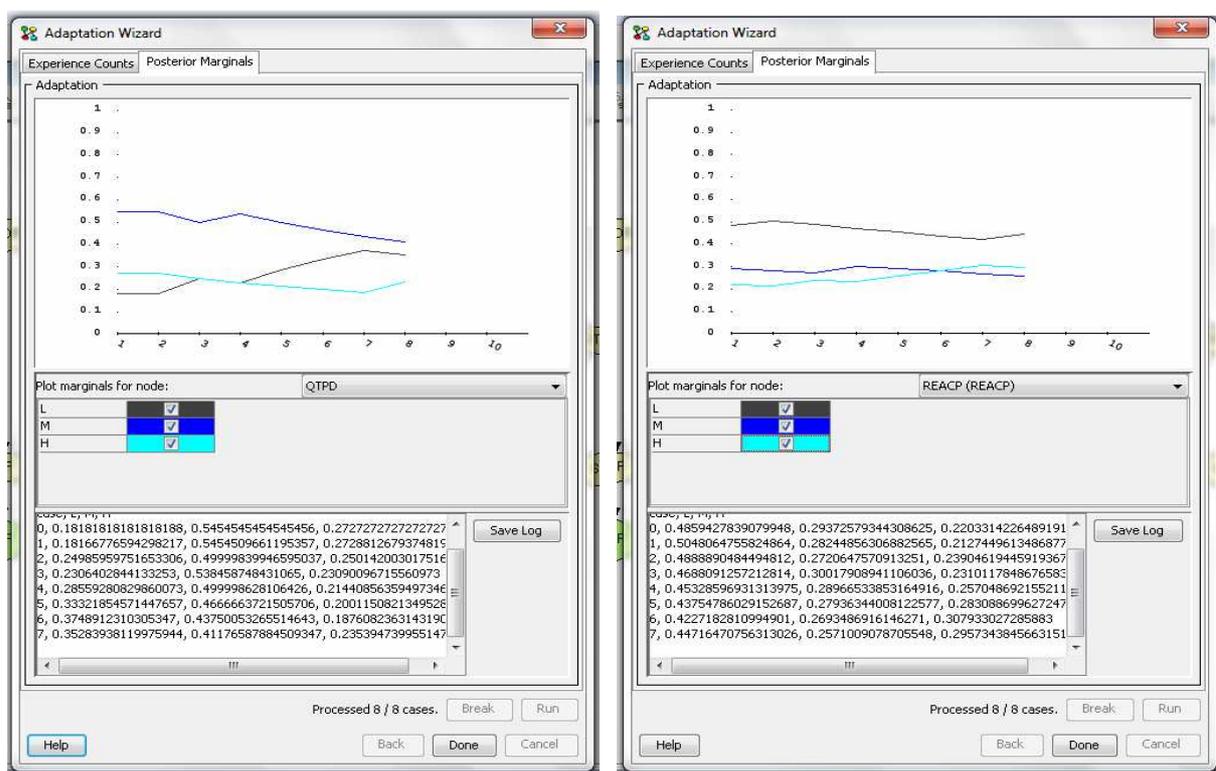


Figura 44 – Telas do software *Hugin* durante o processo de adaptação
Fonte: Elaborada pelo autor.

A próxima etapa do método consistiu na análise de sensibilidade dos parâmetros, o que permitiu aos especialistas um melhor entendimento de como funciona a máquina de inferência da RB para o modelo elicitado, assim como revisar se os resultados estavam fazendo sentido para eles. A título de exemplo, uma das análises realizadas foi considerando o RPD (Risco de Pesquisa e Desenvolvimento) como a variável de hipótese, mais especificamente no nível “H” (alto risco). Como parâmetro de análise, foi selecionado a variável QTPD (Qualidade do Time de Pesquisa e Desenvolvimento). O resultado dessa análise considerando o nível “H” (alto) da variável QTPD é mostrado na Figura 45.

As duas curvas no gráfico da função de sensibilidade representam o quanto os níveis da variável de hipótese RPD são sensíveis a mudanças do valor selecionado para o parâmetro de análise, que nesse caso foi “H” = 0,35. No gráfico da função de sensibilidade, o ponto

(0,35; 0,37) representa a condição nominal na qual a probabilidade de que a variável QTPD esteja no nível alto (0,35) em relação à crença de que seja elevado o risco de que o processo de projeto seja mal concebido (0,37).

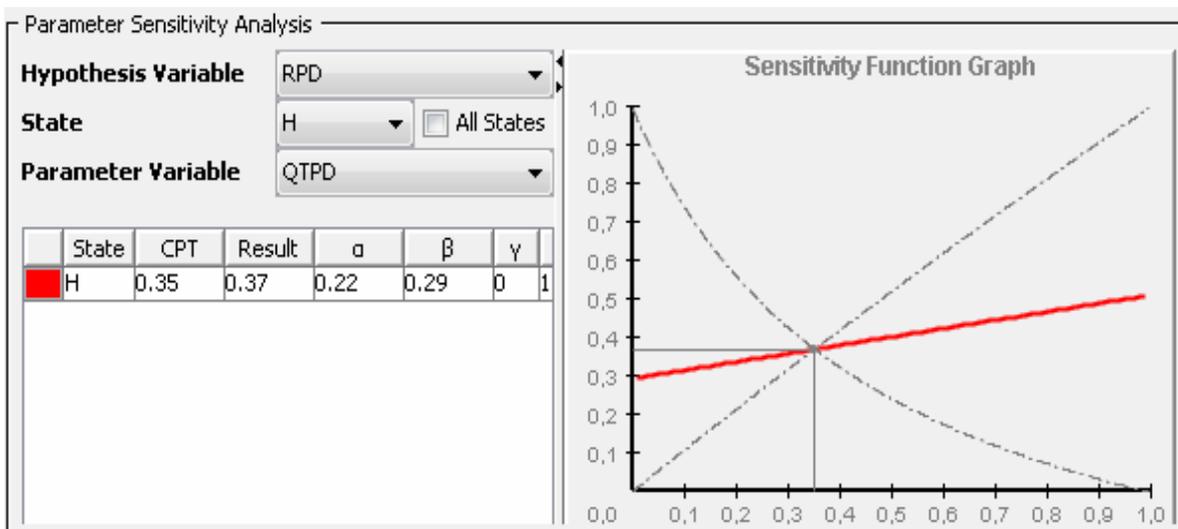


Figura 45 – Telas do software *Hugin* para análise de sensibilidade dos parâmetros
Fonte: resultado do software Hugin (2010).

Ao observar o gráfico dessa função de sensibilidade foi possível constatar que, aumentando ainda mais a probabilidade de que a equipe tenha menor qualidade, aumenta a crença de que a variável RPD irá apresentar um valor maior (ou seja, um maior risco), conforme esperado pelos especialistas. A função de sensibilidade foi descrita utilizando os parâmetros α , β , γ e δ indicados no software (0,22, 0,29, 0 e 1 respectivamente) e a definição da função de sensibilidade, conforme a seguir:

$$f(t) = \frac{\alpha \cdot t + \beta}{\gamma \cdot t + \delta} = 0,22t + 0,29 \quad (18)$$

Outro recurso utilizado para a análise de sensibilidade de parâmetros foi o gráfico de sensibilidade disponível no software, de acordo com a Figura 46. Para esse gráfico foi selecionada a variável REACP, ou seja, o risco geral associado a falhas epidêmicas.

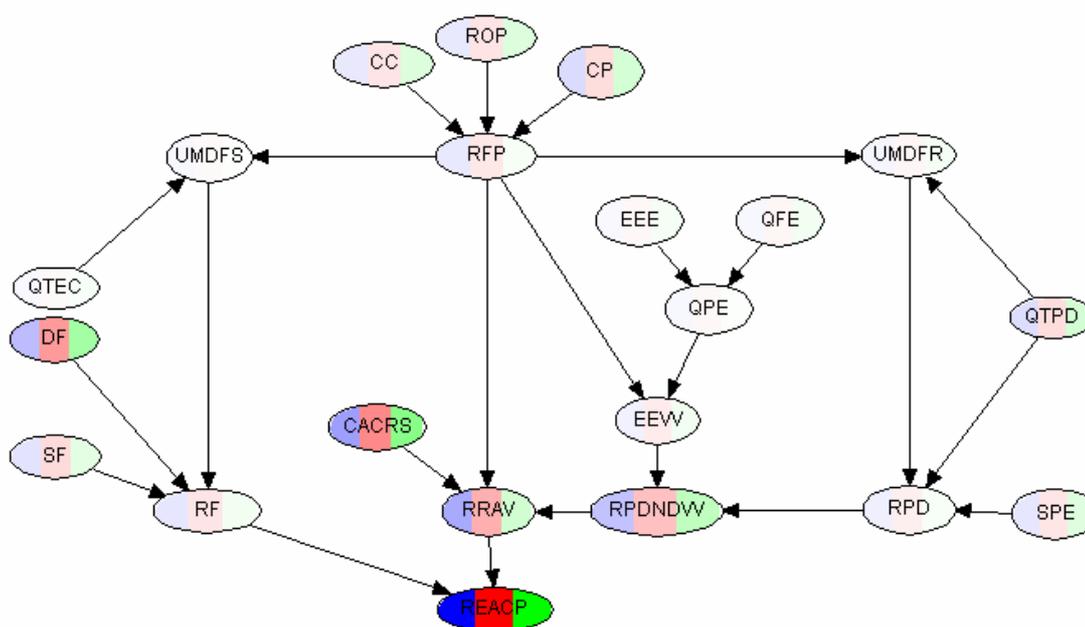


Figura 46 – Gráfico de sensibilidade de parâmetros do modelo
 Fonte: resultado do software Hugin (2010).

Os tons das cores de cada nó do gráfico representam os níveis de sensibilidade em relação à variável REACP. Do lado esquerdo de cada nó, o tom de azul representa o valor máximo de sensibilidade, o tom de vermelho (no centro de cada nó) representa o valor de sensibilidade mínimo e o tom de verde (na direita de cada nó) representa o valor médio de sensibilidade. Quanto mais escuro for o tom de cor, maior o valor da sensibilidade. Caso tivesse havido algum erro na propagação das probabilidades, devido a alguma inconsistência nas evidências, o nó correspondente ao erro ficaria amarelo. Como nenhum nó foi apresentado no gráfico com a cor amarela, foi concluído que não ocorreram erros na propagação das evidências.

A análise de sensibilidade indicou um impacto pouco significativo de algumas variáveis do modelo no risco geral associado a epidemias (REACP). Mesmo assim, os especialistas consideraram esses resultados satisfatórios e, portanto, a RB foi validada. Uma vez validada a RB pelos especialistas da empresa, a versão inicial foi gravada no software. Conseqüentemente, as únicas alterações frequentes ocorrerão após a conclusão de cada novo projeto, quando será executado o algoritmo de adaptação sequencial ao final da fase 5 do mesmo. Embora não seja explicitado na sequencia de passos do método, é recomendável que a empresa periodicamente revise a adequação do modelo à realidade.

5.3.3 Preparação

Os projetos de novos produtos executados por essa unidade da empresa duram entre seis meses (os mais simples) até três anos (projetos mais complexos). O critério para a escolha do projeto a ser avaliado foi simplesmente o cronograma da dissertação em relação ao cronograma dos projetos. Por não ter sido possível acompanhar um projeto inteiro durante a realização da dissertação, decidiu-se escolher aquele que estivesse numa fase intermediária. Dessa forma, foi possível estimar qual teria sido a avaliação de risco ao final das fases anteriores. Ainda, pelo fato de que o projeto não estava em uma fase tão avançada, permitiu-se que método pudesse agregar valor para o tratamento de eventuais riscos.

O projeto escolhido para a tentativa de instanciação dos passos quatro e cinco do método trata-se do controle eletrônico para um equipamento de refrigeração, destinado à exportação para um cliente da América do Sul. No momento de conclusão da presente dissertação, o mesmo encontrava-se próximo ao final da fase três do PDP. O produto não é considerado inovador, mas possui algumas características específicas que o diferem de produtos anteriormente desenvolvidos pela empresa. Em relação aos demais produtos utilizados para refrigeração, ele pode ser considerado um “*top de linha*”, o que resulta na necessidade de mais funções, por exemplo.

O produto, conforme especificado pelo cliente deveria ser composto basicamente por dois módulos: a placa de controle propriamente dita, onde fica a fonte de alimentação e a placa de *interface*, onde são feitos os ajustes do produto pelo usuário final e a apresentação de informações, como a temperatura. Pelo nível de complexidade da aplicação e também para permitir modificações posteriores nas rotinas de funcionamento do produto, além do *hardware*, o produto deveria possuir um software gravado em um microcontrolador. Este software, conforme especificado pelo cliente deveria poder ser modificado mesmo após o produto ter sido produzido.

Esse passo do método também contempla a definição ou revisão dos limiares de risco aceitáveis para cada fase do projeto. Como estava sendo aplicado pela primeira vez na empresa, nessa ocasião foi feita a definição inicial dos limiares, que levou em conta os seguintes fatores:

- a) o nível da variável de utilidade IREACP sem qualquer evidência (58,9),

- b) os valores mínimo e máximo de IREACP após simular cada nível das variáveis independentes do modelo na condição de menor e maior risco respectivamente (41,3 e 73,3);
- c) o valor limite da faixa que representa o nível baixo de riscos, conforme cálculo a seguir;
- d) a expectativa da direção da empresa para que o lançamento dos produtos fosse realizado com um nível menor de riscos quando comparado com projetos anteriores (ou seja, um nível inferior a 58,9);

A partir desses dados, inicialmente foram calculadas as faixas de riscos, conforme equações (12), (13) e (14) do capítulo 4.

- a) verde (nível baixo de riscos): $IREACP < 52,0$;
- a) amarela (nível médio de riscos): $52,0 \leq IREACP < 62,6$;
- b) vermelha (nível alto de riscos): $IREACP \geq 62,6$.

Delimitadas as faixas, a definição dos limiares levou em conta os quatro fatores mencionados anteriormente. Decidiu-se adotar os seguintes limiares, considerando o quanto cada fase do projeto ainda pode contribuir para a redução dos riscos:

- a) Fase 5: $IREACP < 52,0$, ou seja, do limite para o nível baixo de riscos;
- b) Fase 4: $IREACP < 54,0$;
- c) Fase 3: $IREACP < 57,0$;
- d) Fase 2: $IREACP < 61,0$;
- e) Fase 1: $IREACP < 65,0$.

5.3.4 Coleta e Avaliação do Riscos

A seguir, ambos os passos de Coleta de Evidências e Avaliação de Riscos serão descritos em cada fase do projeto. Uma característica do processo de PDP da empresa que facilitou a utilização do método é o fato de que esta utiliza o processo de 5 fases, muito similar ao proposto no método. Por outro lado, como mencionado anteriormente, ao iniciar a implementação do método, o projeto já se encontrava na fase três, portanto não foi possível avaliar as fases um e dois durante a execução das mesmas. Por outro lado, isso permitiu avaliá-lo através de uma quantidade maior de fases, considerando o cronograma da dissertação. Para avaliar as fases um e dois, foram buscadas evidências dos projetos nos

meses anteriores ao início da sua utilização (aproximadamente seis meses). Outra particularidade em relação à efetiva aplicação do método é quanto ao uso da ferramenta AVI (Análise do Valor da Informação). Uma vez que as duas primeiras fases do projeto já estavam concluídas, decidiu-se realizar a AVI apenas a partir da terceira fase, ou seja, quando essa ferramenta de fato poderia agregar algum valor.

Para execução dos passos do método descritos a seguir foi utilizado o artefato SISBAAR, desenvolvido na linguagem Java. Para avaliação do método, utilizou-se um protótipo do aplicativo em ambiente *Web*, o qual foi acessado através de uma senha.

5.3.4.1 Coleta e Avaliação de Riscos na Fase 1

Nessa fase do projeto as definições principais do produto já haviam sido tomadas. Decidiu-se em função das especificações do cliente tentar aproveitar alguns módulos do produto já desenvolvidos em projetos anteriores, como toda a fonte. Todos os fornecedores foram pré-definidos, assim como os componentes a serem utilizados. Porém, por se tratar de uma definição preliminar, de acordo com a definição dos construtos DF e SF, nenhuma evidência foi registrada em relação a essa fase do projeto. A avaliação das variáveis de utilidade foi feita através do artefato SISBAAR, conforme ilustra a Figura 47.

Em relação às restrições do projeto, os construtos CC e ROP foram avaliados no nível médio, ou seja, similar aos projetos desenvolvidos anteriormente na organização. A única restrição identificada é quanto à complexidade do produto. Os especialistas avaliaram que esse produto era complexo, levando em consideração a gama de produtos projetados pela empresa. Pelo fato de o cliente desejar que o produto final seja direcionado a um segmento de mercado mais selecionado, as especificações do produto exigiram várias funcionalidades, o que se traduziu em tipos diferentes de cargas que precisam ser acionadas, sensores, chaves de acionamento, *display*, etc.

Na avaliação do construto ROP, surgiu um questionamento que pode indicar a necessidade de uma atualização futura do modelo. O construto ROP, da forma como está definido considera apenas restrições no projeto do produto, e não as restrições em relação ao custo do produto. Segundo o especialista do projeto, caso existam pressões muito fortes para que o custo seja baixo, algumas decisões no processo de projeto podem ser impactadas, por exemplo, ao escolher um componente com características inferiores.

SISBAAR - Sistema Brasileiro de Análise de Riscos

Welcome Usuário #1 Asses Risk | Logout | Home

Project Name: Andurane electronic thermostat | Phase: 1

EVIDENCES				
EEE	QTEC	QTPD	CC	6.0
QFE	SF	SPE	ROP	6.0
QPE	DF	CACRS	CP	9.0
	UMDFS	UMDFR		
RRAV	RPDNDW			
EEV	RF	RPD	RFP	

Submit

RISK PANEL				
RF 50.4	RF	RF	RF	RF
EEV 57.1	EEV	EEV	EEV	EEV
RPD 53.9	RPD	RPD	RPD	RPD
RFP 65.0	RFP	RFP	RFP	RFP

Phase1	Phase2	Phase3	Phase4	Phase5
59.7				

Figura 47 – Tela do Artefato SISBAAR (fase 1)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os demais construtos não foram avaliados para a Fase 1 porque ainda não havia evidências suficientes para a definição de algum nível.

A variável IREACP ficou em 59,7, e, portanto, o risco geral foi classificado na faixa amarela (médio), sendo um pouco superior ao valor sem evidências (58,9). Supondo que naquela fase o método de fato estivesse sendo aplicado, esse nível de risco de falhas epidêmicas seria aceitável para continuidade do projeto, pois é inferior ao limiar de 65,0 estabelecido no passo 3 do método. Todavia, o fato do valor de risco ter ficado acima do limiar aceitável para o lançamento do produto (52,0), indicou que a organização deveria tomar ações ao longo do projeto que reduzissem tal nível de risco geral, quando comparado com o nível usual das demais variáveis, cujas evidências ainda não tinham sido coletadas.

5.3.4.2 Coleta e Avaliação de Riscos na Fase 2

Na fase 2 confirmou-se a equipe de processo de projeto, que consistiu em um engenheiro de *hardware* e um engenheiro de software. Considerando o nível de experiência dos engenheiros com o tipo de tecnologia necessária para o projeto, a avaliação do construto QTPD foi feita no nível “M” (médio). O construto QTEC também foi selecionado no nível

médio, levando em consideração parte da equipe responsável em definir os fornecedores. Em relação ao construto SPE, levando-se em conta as especificações do cliente e o conceito inicial do projeto, ele foi considerado em um nível alto (alta similaridade com produtos existentes). Nesse sentido, o engenheiro de *hardware* fez o seguinte comentário: “[...] os itens de refrigeração seguem em linha geral mais ou menos o mesmo conceito de projeto, até por uma questão de evitar utilizar componentes novos [...]”.

Foram definidas as especificações iniciais dos componentes e dos seus respectivos fornecedores com a participação da área de Suprimentos. Alguns itens assinalados no DFMEA indicaram a necessidade de cautela e serviram para uma avaliação inicial do nível dos construtos DF e SF, conforme a seguir.

Uma das principais preocupações foi com as chaves de acionamento. Cada placa de interface deveria possuir quatro chaves, de acordo com a especificação do cliente. As chaves são utilizadas para o acionamento dos botões no equipamento do cliente. Devido a uma forte pressão para redução dos custos com componentes, foi definida a necessidade de utilizar chaves de menor custo, em relação as que já eram utilizadas na empresa. Identificou-se um fabricante chinês que anteriormente já havia enviado amostras da chave, mas que em nenhum projeto anterior havia sido utilizada.

Outra preocupação foi com o transformador escolhido para o projeto da fonte chaveada, dado que esse componente é crítico quanto ao desempenho, aliado ao fato de a empresa tinha pouca experiência em utilizá-lo, além do fato de que o fornecedor a ser considerado bastante pequeno. As poucas informações que se tinha é que se trata de um fornecedor que fazia a montagem do transformador na China, utilizando-se de muitos processos manuais.

Em relação aos capacitores eletrolíticos, estavam sendo considerados dois potenciais fornecedores, sendo que um deles possui um histórico de falhas epidêmicas em um projeto específico no passado (há mais de três anos). A causa-raiz para as falhas identificadas nessa epidemia já transcorrida não foi completamente esclarecida, mas acredita-se que esteja relacionada com um problema que ficou conhecido no mercado de componentes como “a praga dos capacitores”. De acordo com Badcaps (2010), a origem para esse problema foi o roubo da fórmula de uma das matérias-primas (eletrólito) de um concorrente. A fórmula teria sido mal copiada, resultando em um desempenho muito pior dos capacitores eletrolíticos que foram produzidos com essa matéria-prima.

Finalmente, em relação ao microcontrolador que estava previsto no projeto, em função de problemas identificados com o que vinha sendo utilizado em outros projetos, decidiu-se

utilizar um de outro fabricante que apresentasse bom nível de compatibilidade. O perigo nesse caso estaria relacionado à falta de experiência com o componente específico desse fornecedor. Por outro lado, o fornecedor era considerado mais confiável que o do microcontrolador utilizado em outros projetos.

Considerando as preocupações existentes com os componentes definidos na Fase 2 do projeto, o construto DF foi avaliado no nível baixo (“L”), embora não existissem evidências muito objetivas de que o desempenho dos fornecedores escolhidos fosse baixo. As principais preocupações refletidas no construto DF referiram-se aos fornecedores das chaves, do transformador e dos capacitores eletrolíticos. Quanto à variável SF, ela foi avaliada também no nível baixo, devido ao fato das chaves e do microcontrolador não terem sido utilizados em outros projetos da empresa.

À medida que cada evidência era coletada, ela já ia sendo registrada através do artefato SISBAAR, especificamente para cada fase do projeto. O registro da evidência também vinha acompanhado do registro da justificativa para cada nível assinalado, conforme pode ser visto na Figura 48 (tela do artefato SISBAAR).



Figura 48 – Registro da Evidências e Justificativas no Artefato SISBAAR

Fonte: tela do artefato SISBAAR.

Em relação ao andamento do projeto, começaram a ocorrer alguns atrasos que levaram à compressão do cronograma. De acordo com a equipe do projeto, a maior parte dos atrasos foi decorrente do cliente, que acabou mudando muitas vezes a especificação do produto. Em função de uma maior compressão do cronograma, o construto CC foi avaliado no nível alto

(“H”). A justificativa para os atrasos, fazendo uma análise mais aprofundada, indica que estavam ligados a questões de alocação de recursos da equipe, o que não permitiram um tempo adequado para confrontar a especificação do cliente na etapa inicial do projeto, indicando a necessidade de mudança das especificações. Mesmo com as modificações nas especificações, a variável CP (Complexidade do Produto) permaneceu no nível alto. Já as restrições de orçamento (ROP) continuaram no nível médio.

Para as seguintes variáveis ainda não era possível definir nenhum nível, ou seja, ainda existiam incertezas nessa fase do projeto: EEE, QFE e CACRS. Essas variáveis estavam vinculadas a atividades que iriam iniciar apenas na Fase 3, relacionadas com testes de verificação e validação do produto.

Uma vez selecionados todos os níveis das variáveis para as quais existiam evidências, o artefato SOFTRB executou o algoritmo e apresentou o resultado das variáveis de utilidade no artefato SISBAAR. A variável IREACP ficou em 64,2, ou seja, dentro da faixa vermelha de risco e acima do limiar estabelecido para a fase 2. Esse resultado da avaliação de risco, caso o método já estivesse efetivamente implementado, teria indicado a necessidade de tomar ações para modificar alguns níveis de risco antes de dar continuidade no projeto, ou seja, antes de iniciar a fase 3. A Figura 49 ilustra as variáveis de utilidade que indicam os riscos do projeto.

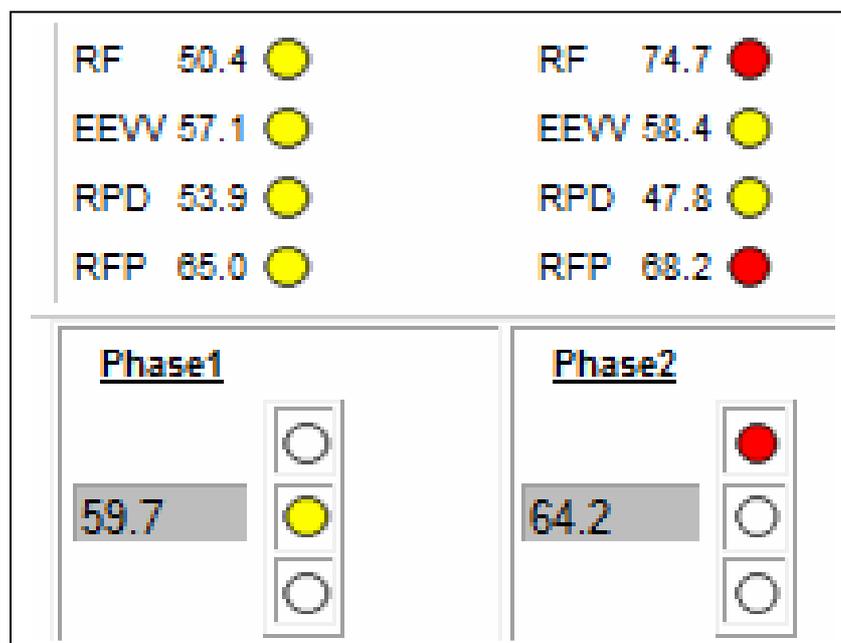


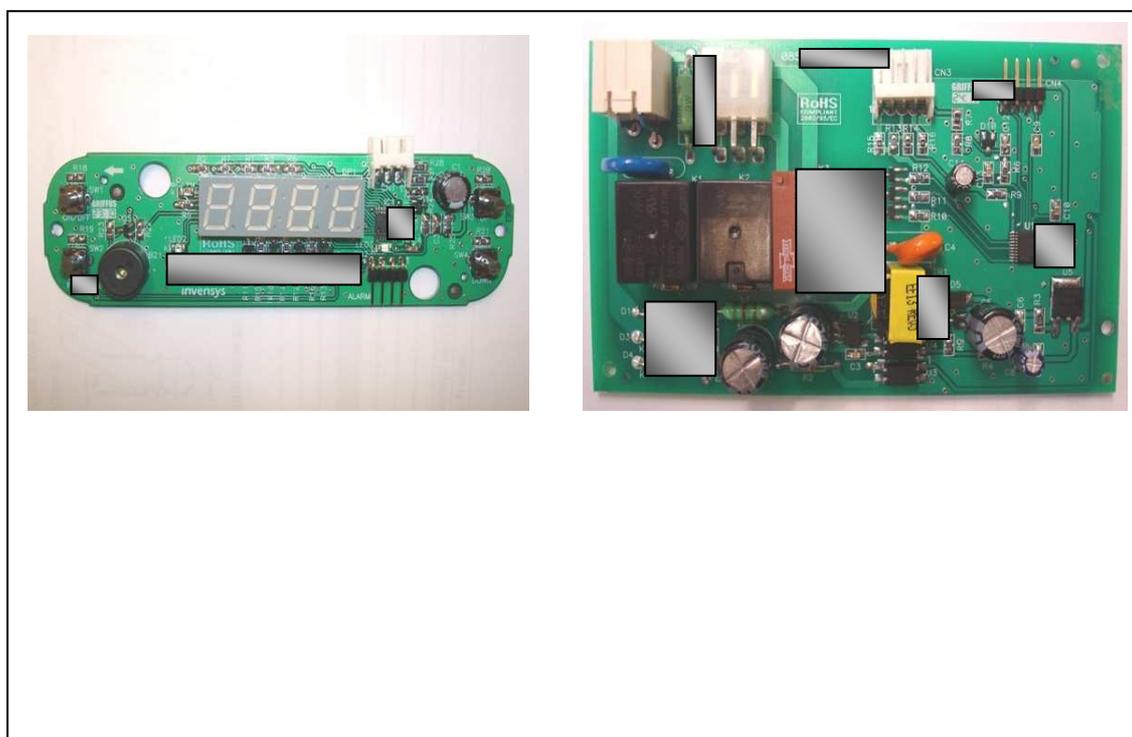
Figura 49 – Variáveis de Utilidade no Artefato SISBAAR (fases 1 e 2)
Fonte: resultado obtido do artefato SISBAAR (2010).

5.3.4.3 Coleta e Avaliação de Riscos na Fase 3

Conforme mencionado anteriormente, a avaliação de riscos utilizando o método proposto ocorreu apenas no final da fase 3. Como previsto no método, no início da fase 3 foi utilizada a ferramenta Análise do Valor da Informação (AVI), Selecionando algumas variáveis de informação, de acordo com a classificação de Kajerulff e Madsen (2010), foi verificado que a variável RF (Risco de Fornecimento) é a que apresentava maior valor da informação em relação à variável REACP. O valor da informação da variável RF foi superior a soma dos valores das demais variáveis analisadas: RPD, RFP, EEVV e CACRS. Ou seja, quanto mais esforços a organização fizesse para buscar as evidências dos níveis das variáveis relacionadas à variável RF, mais agregariam em termos de informação.

Nessa fase, em que já havia sido realizado o processo do projeto, foram montados os primeiros protótipos, que foram submetidos a testes iniciais. Portanto, foi possível iniciar a avaliação de algumas variáveis que até a fase 2 não tinham sido analisadas (EEE, QFE e CACRS). Ambas as variáveis EEE e QFE foram avaliadas no nível baixo (“L”), refletindo algumas limitações da empresa no que tange aos recursos existentes para o planejamento e realização de testes de verificação e validação do produto. Um exemplo é a não existência de pessoal dedicado para o teste de software, cabendo essa atividade para o próprio engenheiro que o projetou. A variável CACRS foi avaliada no nível alto “H”, considerando a experiência dos membros da equipe de projeto na identificação da causa-raiz, bem como a ágil tomada de ação.

A Figura 50 mostra as duas placas que compõe o produto, na versão inicial de protótipo. Cabe mencionar que as fotos da Figura foram cobertas em determinadas áreas com o objetivo de preservar o sigilo de alguns detalhes técnicos do produto.



Conforme mencionado anteriormente, a partir da ferramenta AVI foi constatado que as evidências sobre os níveis das variáveis relacionadas à variável RF eram as que mais agregariam informação. Sendo assim, foram buscados maiores esclarecimentos sobre as variáveis DF e SF. Quanto à avaliação da DF (Desempenho dos Fornecedores), primeiro foi verificado que unidade da *Invensys* de outro país já utilizava o mesmo fabricante das chaves em alguns produtos, sem problemas relacionados com o desempenho em campo. Outra ação realizada foi avaliar em mais detalhes a aplicação do capacitor eletrolítico. Constatou-se que o nível de *ripple* da corrente²⁰ através dos capacitores eletrolíticos do projeto era muito abaixo do nível sob o qual o capacitor que teve falhas epidêmicas era submetido. Essas novas informações possibilitaram revisar o nível da variável DF, que passou para o nível “M”, de acordo com a opinião dos especialistas. Em relação às variáveis QTEC e SF, não foram feitas nenhuma modificação no projeto comparativamente com a fase anterior.

As demais variáveis do modelo, de acordo com a avaliação realizada utilizando o artefato DEFCON, mantiveram-se no mesmo nível da fase anterior. As evidências coletadas foram utilizadas para atualização das variáveis no artefato SISBAAR e avaliação do risco geral para a fase 3. A variável de utilidade IREACP ficou em 55,5, ou seja, ainda na faixa amarela, porém abaixo do limiar estabelecido para a fase 3. O resultado dessa avaliação indicou que o projeto poderia seguir para a fase 4, porém algumas ações ainda precisariam ser tomadas para que até o final da Fase 5 fosse atingido o nível de risco aceitável (IREACP < 52,0). Na Figura 51 pode ser visto o resultado da avaliação da Fase 3.

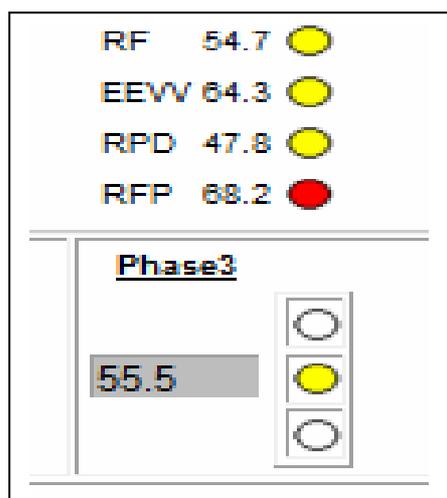


Figura 51 – Variáveis de Utilidade no Artefato SISBAAR (fase 3)
Fonte: resultado obtido do artefato SISBAAR.

²⁰ O *ripple* de corrente é resultado das variações bruscas na intensidade da corrente elétrica. Num capacitor essas variações resultam no aquecimento interno do mesmo e potencialmente em falhas, dependendo da capacidade do componente em suportar tais variações.

5.3.4.4 Coleta e Avaliação de Riscos nas Fases 4 e 5

Ao concluir a presente dissertação o projeto encontrava-se no final da fase 3 do PDP, portanto não foi possível descrever como foi o processo de avaliação de riscos ao final das fases 4 e 5. No entanto, utilizou-se o método para avaliar possíveis cenários em relação ao estado das variáveis em que se acreditava ser possível alguma modificação para reduzir o nível de risco de falhas epidêmicas.

Mesmo que o método de análise de riscos tenha como objetivo final suportar o processo de decisão em projetos, o processo de decisão em si não faz parte do escopo da presente dissertação. De qualquer maneira, para ilustrar a utilidade do método na redução efetiva dos riscos do projeto quando ele for lançado no mercado, a seguir serão narradas algumas conjecturas feitas quanto a possíveis tratamentos dos riscos até o final do projeto. A ideia é que o nível de riscos seja reduzido a níveis considerados aceitáveis.

Para avaliar as possíveis modificações de estado das variáveis, iniciou-se listando todas aquelas que não se encontravam num nível favorável e junto a elas quais seriam os novos níveis exequíveis. Das quatorze alterações possíveis, considerando apenas o modelo, seis delas foram descartadas por não serem viáveis. Isto porque, ou impactavam na mudança das funções do produto ou porque o projeto já se encontrava numa fase muito avançada. O Quadro 14 mostra o resultado desse filtro inicial.

No filtro inicial foi analisada a relação das possíveis alterações entre si. Por exemplo, as de número 6 ou 7 indicadas no Quadro 14, referentes à variável QFE, só poderiam ser viáveis se atreladas com a redução do nível da variável ROP e CC. Isso significaria ajustar o cronograma do projeto e aumentar o orçamento do mesmo para viabilizar a melhoria da qualidade dos ensaios de validação do produto.

Para facilitar a percepção dos especialistas quanto ao impacto das possíveis ações no projeto, foi avaliada a variável de utilidade IREACP mudando individualmente cada nível ou cada conjunto de variáveis, quando não pudessem ser alteradas individualmente. O resultado dessa análise pode ser visto na Figura 52, onde em um dos eixos consta a variação da IREACP e no outro qual a alteração ou conjunto de alterações simulado no modelo.

Considerando que até o final da fase 4 a IREACP deveria chegar num valor abaixo de 54,0 para que ficasse dentro do limiar, ela precisaria ser reduzida em 1,6 pontos. Porém isso não seria suficiente para atingir um valor abaixo do limiar estabelecido para a fase 5. Nesse caso, deveriam ser reduzidos pelo menos 3,6 pontos. A decisão final da empresa quanto às possíveis alterações e riscos resultantes constituiu-se num típico problema de *trade-off*. Isto

porque as alterações identificadas podem resultar em impactos negativos à empresa, tais como a redução do lucro com o produto, devido à utilização de componentes mais caros e a perda de faturamento inicial e a insatisfação do cliente devido a um atraso em relação ao cronograma inicial.

Variável	De	Para	Possível?	Número da alteração	Comentário
DF	M	H	NÃO	-	Projeto muito adiantado
SF	L	M	SIM	1	Relacionado à chave
SF	L	H	NÃO	-	Relacionado à chave e outros componentes
CC	H	M	SIM	2	Possível lançando o projeto mais tarde ou colocando mais pessoal na fase final do projeto
CC	H	L	SIM	3	Possível lançando o projeto mais tarde ou colocando mais pessoal na fase final do projeto
CP	H	M	NÃO	-	Definido pelo cliente
CP	H	L	NÃO	-	Definido pelo cliente
QTEC	M	H	NÃO	-	Projeto muito adiantado
QTPD	M	H	NÃO	-	Projeto muito adiantado
EEE	L	M	SIM	4	Possível ainda mudar p/testes de validação, QFE deve ficar em M no mínimo
EEE	L	H	SIM	5	Possível ainda mudar p/testes de validação, QFE deve ficar em M no mínimo
QFE	L	M	SIM	6	Possível ainda mudar p/testes de validação,ROP e CC devem reduzir pelo menos 1 nível
QFE	L	H	SIM	7	Possível ainda mudar p/testes de validação,ROP e CC devem reduzir pelo menos 1 nível
ROP	M	L	SIM	8	Possível obtendo mais orçamento para o projeto

Quadro 14 – Filtro inicial das possíveis alterações das variáveis na fase 4 e 5
Fonte: Elaborado pelo autor.

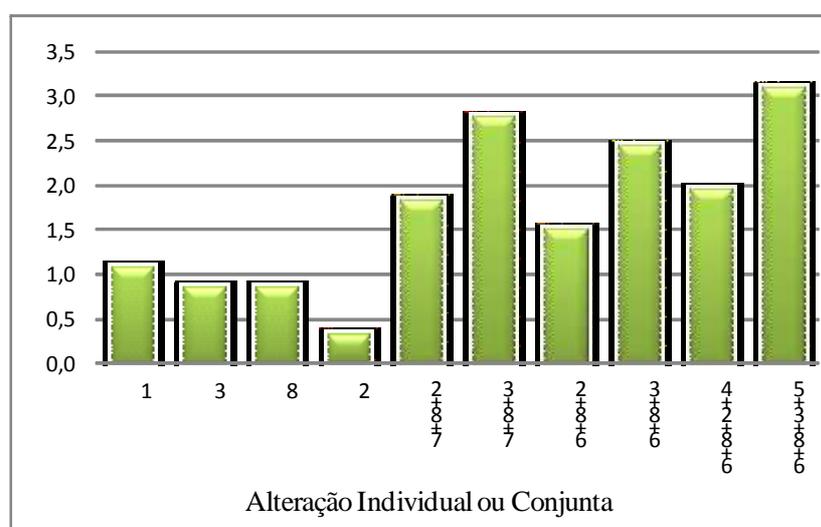


Figura 52 – Variação da IREACP a cada alteração
Fonte: Elaborada pelo autor.

Para suportar a tomada de decisão em relação aos *trade-offs* existentes, foi utilizado o conceito de valor esperado aplicado aos custos de garantia. Os valores obtidos para cada variável foram os seguintes:

Tempo de garantia (tG) = 2 anos; Custo de cada falha (cf) = R\$ 100,00;

Confiabilidade $R_L(2 \text{ anos}) = 0,999$; $R_M(2 \text{ anos}) = 0,980$; $R_H(2 \text{ anos}) = 0,800$;

Volume anual de vendas previsto para o produto (vap) = 100.000 peças

Portanto, obtêm-se com a equação (19) os custos a cada período tg:

$$CG_L = [1 - R_L(tG)] \times cf \times vap = 0,001 \times R\$100,00 \times 100.000 = R\$10.000,00$$

$$CG_M = [1 - R_M(tG)] \times cf \times vap = 0,02 \times R\$100,00 \times 100.000 = R\$200.000,00$$

$$CG_H = [1 - R_H(tG)] \times cf \times vap = 0,2 \times R\$100,00 \times 100.000 = R\$2.000.000,00$$

A partir de CG_L , CG_M e CG_H , assim como da equação (20) indicada no Capítulo 4, obteve-se o resultado de cada conjunto de alterações ao longo do ciclo de vida do produto.

Os valores dos resultados acumulados a cada ano para cada conjunto de alterações é ilustrado na Figura 53. Percebe-se que o conjunto de alterações “1+3+5+8” começa a apresentar resultados positivos a partir do quarto ano após o lançamento do produto, enquanto as alterações “1+3+6+8” no quinto ano. A alteração número “1” apresenta resultado positivo a partir do terceiro ano, porém muito menor comparativamente com as outras opções. A análise econométrica apresentada, apesar de limitada, buscou indicar um dos possíveis usos da ferramenta na tomada de decisão.

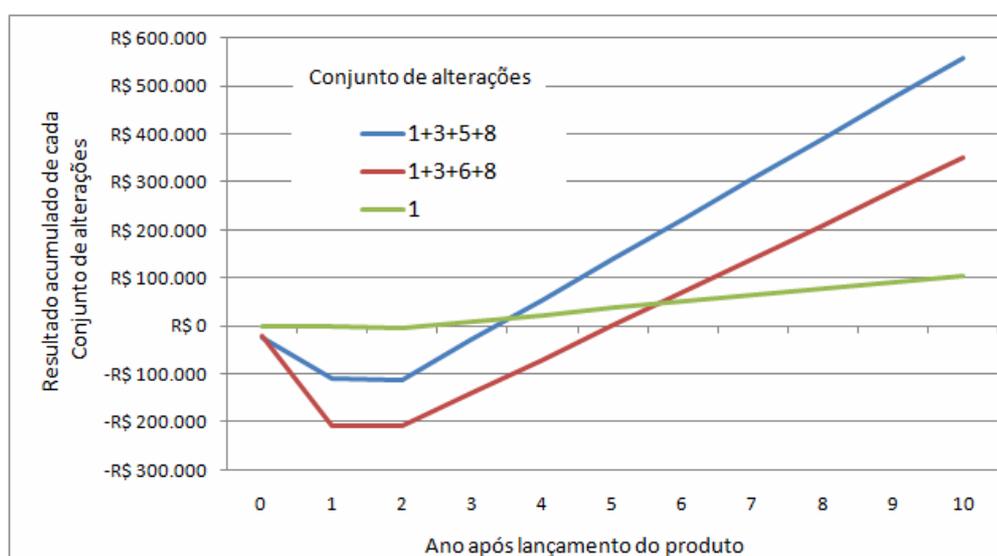


Figura 53 – Resultado estimado para cada conjunto de alterações possíveis

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Quadro 15 apresenta o conjunto de alterações proposto e o resultado de cada uma delas ao longo dos 10 primeiros anos do ciclo de vida do produto.

Conjunto de Alterações	Descrição	Custos Estimados	Ganho Esperado por ano	Resultado Estimado por ano (acumulado)	
				Ano	Valor (R\$)
1+3+5+8	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir no plano de ensaios o teste de vida da nova chave (alteração 1) - Executar os ensaios de validação em laboratório externo (alterações 3, 6 e 8) - Aprimorar o plano de ensaios do produto através de apoio de especialistas da unidade dos Estados Unidos ou Itália 	Alteração 1: R\$ 2.000 (a partir do ano 2) Alteração 3: R\$ 100.000 (ano1) Alterações 5 e 8: R\$ 9.000 (ano 0)	R\$86.099,00	0	-25.000,00
				1	-111.000,00
				2	- 113.000,00
				3	- 28.901,00
				4	55.198,00
				5	139.297,00
				6	223.396,00
				7	307.495,00
				8	391.594,00
				9	475.693,00
10	559.792,00				
1+3+6+8	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir no plano de ensaios o teste de vida da nova chave (alteração 1) - Executar os ensaios de validação em laboratório externo (alterações 3, 6 e 8) 1+ 3+6+8)	Alteração 1: R\$ 1.000 (a partir do ano 2) Alteração 3: R\$ 200.000 (ano1) Alterações 6 e 8: R\$ 5.000 (ano 0)	R\$71.942,00	0	-20.000,00
				1	-207.000,00
				2	-209.000,00
				3	-139.058,00
				4	-69.116,00
				5	826,00
				6	70.768,00
				7	140.710,00
				8	210.652,00
				9	280.594,00
10	350.536,00				
1	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar as mesmas chaves dos projetos anteriores (alteração 1) 	Alteração 1: R\$ 2.000 (a partir do ano 2)	R\$15.639,00	0	0,00
				1	-2.000,00
				2	-4.000,00
				3	9.639,00
				4	23.278,00
				5	36.917,00
				6	50.556,00
				7	64.195,00
				8	77.834,00
				9	91.473,0010
10	105.112,00				

Quadro 15 – Potenciais Ações para Redução dos Riscos

Fonte: Elaborado pelo autor.

No momento da conclusão da presente dissertação, as potenciais ações para a redução do risco estavam em discussão. Supondo que a empresa optasse pelo conjunto de ações que resultam no IREACP de 51,3 ou 51,9, ela estaria lançando o projeto com o nível de risco abaixo do limiar de 52,0, ou seja, um nível de risco considerado aceitável.

Na Figura 54 pode ser vista a evolução do nível de risco entre as fases 1 e 3, além da estimativa de risco para as fases 4 e 5 caso as ações mencionadas sejam executadas ainda durante a fase 4. Para as fases 4 e 5 foi considerado o IREACP de 51,2.

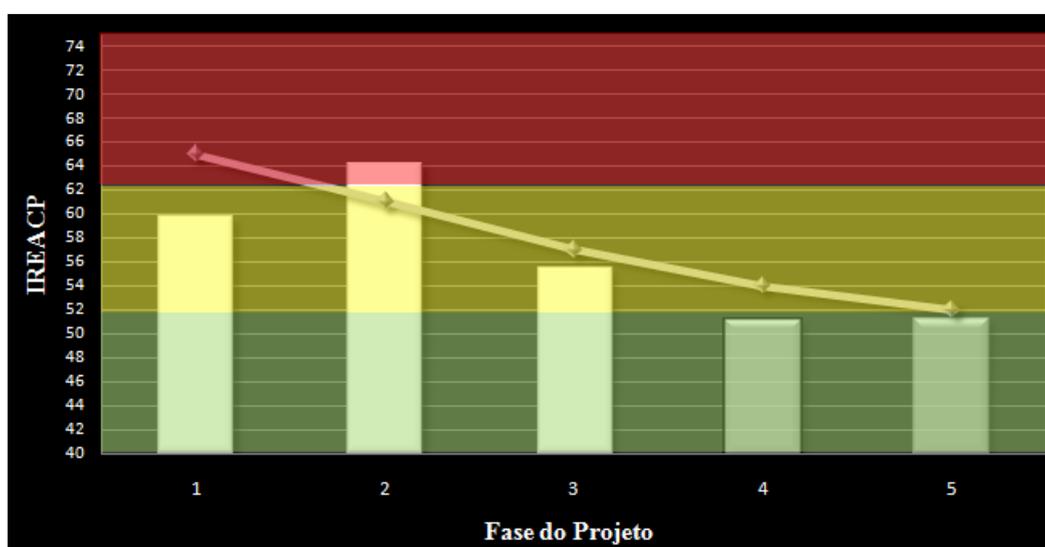


Figura 54 – IREACP de cada Fase do Projeto
Fonte: Elaborada pelo autor.

Uma referência adicional na fase 4 foi o resultado do ensaio de vida do produto, conforme prevê o método para o construto EEVV e ajustes feitos para a realidade da empresa. Supondo que os parâmetros e equipamentos previstos para o ensaio sejam redefinidos para melhor representar os estresses sob os quais os componentes estarão submetidos na aplicação, como, por exemplo as chaves, o resultado poderá ser utilizado como uma evidência diretamente na variável EEVV.

A *Invensys Controls* estabeleceu, através de seus principais especialistas em engenharia de confiabilidade, uma meta de confiabilidade a ser cumprida por todos os novos projetos de produto, caso não seja determinada pelo cliente. Tendo em vista que para o cliente específico do projeto que foi avaliado não havia estabelecido uma meta, adotou-se a meta corporativa, que é de $R \geq 0,99$ durante um (1) ano de aplicação do produto, considerando o nível de confiança estatística de 90%. A partir da fórmula para determinação da quantidade

mínima de amostras, cuja dedução consta no Apêndice B, foram definidos os parâmetros de ensaio de vida, conforme a seguir:

$$n = \frac{\ln(1-C)}{\ln R} = \frac{\ln(0,1)}{\ln(0,99)} = 229 \quad (19)$$

Ou seja, seriam necessárias 229 amostras. Como isso não é viável no equipamento de ensaio disponível, foi utilizada a chamada *Lipson Equality*, com $\beta=2,0$ (considerado conservador) e o tempo de ensaio original de 120 horas para representar um (1) ano de aplicação, representando um fator de aceleração de 73. Seguem os cálculos adicionais realizados:

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^\beta = \frac{30}{229} = \left(\frac{120}{t_2}\right)^2, \text{ de onde se obteve: } t_2 = \frac{120}{\sqrt{\frac{30}{229}}} = 331 \quad (20)$$

Ou seja, caso de que nenhuma das 30 amostras do produto apresente falhas, após pelo menos, 331 horas, sob as condições ambientais que resultem num fator de aceleração de 73, pode-se dizer, com um nível de confiança de 90%, que a Confiabilidade do Produto é no mínimo igual a 0,99 após um ano de aplicação. Em outras palavras, seguindo as premissas para utilização desses cálculos e desconsiderando a possibilidade de que os componentes sejam fornecidos fora da especificação, espera-se que não ocorrendo nenhuma falha no ensaio de vida o produto não venha a apresentar falhas epidêmicas durante o período de garantia (1 ano). Esses cálculos, isoladamente, devem ser considerados com bastante cautela, pois não incluem uma série de questões, como possíveis interações entre diferentes níveis de desempenho dos componentes. De qualquer maneira, é uma referência útil como um dado de entrada para o modelo.

Ao final da fase 5 do projeto estaria prevista a realização de uma nova adaptação das TPNs, considerando o nível das variáveis. Mesmo que o projeto não tenha chegado ainda a essa fase, com o objetivo de testar o método foi realizada a adaptação sequencial. O resultado da adaptação foi uma redução do IREACP, uma vez que foi utilizado um conjunto de variáveis que resultaram num valor de IREACP menor do que o que havia sido anteriormente elicitado. Porém, a redução foi bem pequena, ou seja, de 58,87 para 58,82. Essa redução foi pouco significativa porque a atualização sequencial relativa a esse projeto deu-se após ter sido

feita a adaptação através de evidências de oito projetos, além do peso de dez projetos que foi atribuído à elicitação inicial da TPN.

6. AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentada a avaliação dos artefatos, após terem sido desenvolvidos e instanciados pela primeira vez. Essa avaliação foi realizada através do parecer de especialistas da empresa onde foi feita a tentativa de aplicação do método e através do pesquisador. Em ambos os casos foram utilizados critérios de desempenho previamente estabelecidos. A seguir são descritas as duas avaliações propostas.

6.1 AVALIAÇÃO REALIZADA POR ESPECIALISTAS

A obtenção do parecer dos especialistas a respeito do método foi orientada pelas onze questões definidas no Capítulo 3, as quais englobam vários aspectos relacionados ao desempenho e objetivos do método. Foram selecionados oito especialistas que obedeciam a todos os requisitos para participação da avaliação. Desses especialistas, seis tiveram disponibilidade para participar do processo de avaliação. O Quadro 16 apresenta o perfil desses seis especialistas e o papel de cada um deles em relação ao método.

Especialista	Tempo de Experiência Profissional	Áreas de Atuação	Papel em relação ao método
“A”	9 anos	Gerência de Projetos Gerência de Produto	Usuário em potencial
“B”	10 anos	Engenharia de Produto, Gerência de Projetos	Participou da aplicação (passos 1 e 3)
“C”	29 anos	Engenharia de Produto, Gerência de Projetos	Usuário em potencial
“D”	24 anos	Engenharia de Produto Gerência de Projetos	Participou da aplicação (todos os passos)
“E”	14 anos	Engenharia de Produto Qualidade, Gestão de Projetos	Participou da aplicação (todos os passos)
“F”	19 anos	Engenharia de Produto	Participou da aplicação

		Qualidade, Gestão de Projetos	(passos 1 e 3)
--	--	-------------------------------	----------------

Quadro 16 – Perfil dos especialistas que participaram da avaliação do método
Fonte: Elaborado pelo autor.

A maioria dos especialistas consultados (67%) participou de alguma forma da tentativa de aplicação do método, enquanto os demais (33%) tiveram o primeiro contato com o método no evento da avaliação do mesmo. Por esse motivo, antes da avaliação propriamente dita, foi feita uma apresentação contendo os seguintes tópicos:

- a) contexto da indústria que justifica a necessidade do método;
- b) objetivos e escopo do método;
- c) principais características do método;
- d) áreas de conhecimento pesquisadas para desenvolvimento do método;
- e) modelo desenvolvido e resumo dos construtos;
- f) passos do método;
- g) descrição da tentativa de aplicação do método.

Assim que todos os participantes da avaliação manifestaram ter um entendimento básico sobre o método, a etapa seguinte foi explicar o questionário que havia sido entregue. Cada questão foi lida, fizeram-se alguns esclarecimentos sobre elas. A partir daí foram dadas explicações sobre a escala de classificação proposta. A seguir será apresentado o resultado da avaliação de cada um dos critérios definidos anteriormente na seção 3.2.5.

O resultado da avaliação do primeiro critério, denominado “Clareza e Objetividade”, é apresentado no Quadro 17. Todos os especialistas consideraram que o método atende totalmente ou quase que totalmente a esse critério. Os comentários feitos em relação à avaliação desse item referiram-se à necessidade de uma maior maturidade na utilização do mesmo, para então ter mais segurança em classificá-lo como plenamente satisfatório. O avaliador “D”, por exemplo, mencionou: “[...] está claro o método, mas falta usá-lo por mais tempo para um teste mais efetivo”.

1) Clareza e Objetividade					
Questão	A estrutura de representação do método proposta e o protótipo computacional apresentam de forma clara e objetiva as fases e atividades?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	2	4	0	0	0

Quadro 17 – Avaliação do critério de Clareza e Objetividade
Fonte: Elaborado pelo autor.

A avaliação do critério seguinte, denominado “Completeza”, foi menos favorável. Alguns comentários novamente indicaram a necessidade de um maior conhecimento do modelo por parte dos usuários para a avaliação. No entanto, dois comentários estavam relacionados ao escopo do modelo. O avaliador “C” comentou que acharia importante que fosse considerada a condição de uso do cliente, o que foi definido não estar no escopo do modelo. De acordo com esse especialista, a informação sobre o histórico de uso dos produtos pelos clientes agregaria muito na avaliação de risco. O outro comentário, do avaliador “A”, foi o seguinte: “[...] senti falta, no material exposto, de análise de risco do projeto quanto ao âmbito comercial, por exemplo: custo proposto x preço *net* (mercado), distribuição, abrangência do mercado, correlação de lançamento entre custos reposição e médio”. O resultado da avaliação deste critério está exposto no Quadro 18.

2) Completeza					
Questão	O método proposto contém toda a informação necessária para identificar e analisar os riscos técnicos e gerenciais de forma integrada?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	1	3	2	0	0

Quadro 18 – Avaliação do critério de Completeza
Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da avaliação do critério de “Consistência” foi bem mais favorável em relação ao critério anterior. Três avaliadores consideraram que o método atende totalmente. Os demais que avaliaram o critério de maneira não tão favorável justificaram o parecer comentando que seria necessário mais tempo de prática para conhecer melhor o método. O avaliador “A”, por exemplo, um dos que teve contato com o método pela primeira vez, comentou: “[...] sinto que eu preciso de maiores conhecimentos para me sentir totalmente à vontade na utilização da ferramenta [...]”. O resultado da avaliação do critério de “Consistência” pode ser visto no Quadro 19.

3) Consistência					
Questão	O método proposto apresenta lógica e consistência no fluxo de informações?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	3	2	1	0	0

Quadro 19 – Avaliação do critério de Consistência
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao critério “Transformação”, apenas um dos especialistas considerou que o método pode não ser plenamente adaptado para outros tipos de produto. Esse especialista comentou: “O método pode ser adaptado facilmente para outros tipos de produtos que utilizem o mesmo conceito de desenvolvimento (produto composto por partes e/ou peças fornecidas por terceiros)”. O que o especialista sugere é, por exemplo, que se o processo produtivo da empresa consistir na transformação da matéria-prima, o método não seria muito aplicável. De fato, dependendo da natureza do produto, alguns construtos provavelmente deveriam ter que ser adaptados ou mesmo eliminados do modelo, mas tais modificações não seriam tão significativas, considerando o conjunto de artefatos do método.

Os demais avaliadores (83,3%) consideraram o critério plenamente atendido. O Quadro 20 apresenta os resultados.

4) Transformação					
Questão	O método pode ser adaptado para a avaliação de riscos de outros tipos de produto?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	5	1	0	0	0

Quadro 20 – Avaliação do critério de Transformação
Fonte: Elaborado pelo autor.

A avaliação do critério “Extensibilidade”, conforme indicado no Quadro 21, variou entre os níveis 2 (atende parcialmente) e 4 (atende totalmente), igualmente distribuída na mesma proporção entre esses três níveis. Os comentários a respeito da avaliação desse critério foram no sentido de explicar a dificuldade de dar um parecer devido a pouca experiência com o método. O especialista “B”, por exemplo, comentou: “[...] não sei mensurar o quão difícil será a ampliação do método proposto caso novas categorias de risco sejam identificadas durante o desenvolvimento”.

5) Extensibilidade					
Questão	O método proposto permite a sua expansão, ou seja, a identificação, análise e tratamento de novas categorias de risco durante o projeto de produtos?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	2	2	2	0	0

Quadro 21 – Avaliação do critério de Extensibilidade

Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério “Documentação das Informações” teve 50% dos especialistas que consideraram ser plenamente atendido, conforme Quadro 22. O entrevistado “B” sugeriu que o método proporcionasse uma forma de rever a definição de metas, ao dizer: “é importante que as experiências anteriores sirvam para orientar as análises futuras, alterando, se necessário, as metas previamente estabelecidas”.

6) Documentação das Informações					
Questão	O método considera formas de registrar as experiências e resultados obtidos nas atividades de identificação e análise dos riscos				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	3	2	1	0	0

Quadro 22 – Avaliação do critério de Documentação das Informações

Fonte: Elaborado pelo autor.

A avaliação do critério “Identificação de Riscos”, conforme Quadro 23, foi a única, entre todos os onze critérios onde a avaliação, que foi feita no mesmo nível pelos especialistas, pois todos julgaram atender quase que totalmente. O avaliador “C”, ao explicar seu julgamento, comentou: “para projetos novos sem similaridade existe um risco de as variáveis não serem identificadas”. Em outras palavras, o que o especialista disse, é que o nível de incertezas em um projeto estaria relacionado com o nível de inovação relacionado com o produto. No modelo desenvolvido como parte do método, esse conceito está relacionado com a variável SPE (Similaridade com Produtos Existentes). O especialista “E” comentou que na percepção dele o método estaria mais completo se para a identificação de riscos existissem algumas listas de verificação (*checklists*) para que nenhum potencial risco fosse esquecido durante a execução desse passo do método. Por outro lado, o especialista “B” fez o seguinte contraponto ao dizer: “[...] o uso de *checklists* podem inibir a equipe na identificação de riscos ainda não incorporados ao método [...]”.

7) Identificação de Riscos					
Questão	O método permite à equipe de trabalho identificar riscos que possam surgir no projeto de produtos?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	0	6	0	0	0

Quadro 23 – Avaliação do critério de Identificação de Riscos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao critério “Análise de Riscos”, os comentários e avaliações foram bem positivos, conforme Quadro 24. Apenas um (1) dos especialistas considerou que atende parcialmente, enquanto os demais consideraram que atende totalmente ou quase que totalmente. O especialista que considerou o critério parcialmente atendido (especialista “C”) justificou a sua posição ao comentar que para ele não havia ficado claro como que os riscos gerenciais interagem no modelo. Esse comentário pode refletir o pouco conhecimento do especialista no modelo, visto que este teve o primeiro contato com o mesmo apenas no evento de avaliação.

8) Análise de Riscos					
Questão	O método possibilita analisar de forma conjunta os riscos técnicos e gerenciais?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	2	3	1	0	0

Quadro 24 – Avaliação do critério de Identificação de Riscos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério “Tratamento de Riscos”, conforme Quadro 25, teve a mesma distribuição de pareceres do que o critério anterior. No entendimento do especialista “B”, o método “ajuda na identificação das variáveis com pior desempenho e na possível priorização das mesmas”, porém, segundo ele, o método atende parcialmente este critério, pois permite avaliar potenciais ações, mas não ajuda tanto na definição das mesmas. De acordo com o escopo do método, o tratamento de riscos deve ser facilitado por ele, mas não ser o foco do mesmo. Por outro lado, o especialista “E” considerou que “a avaliação das diferentes opções poderia ser facilitada pelo protótipo computacional, por exemplo, apresentando os gráficos que foram elaborados posteriormente”.

9) Tratamento de Riscos					
Questão	O método proposto apresenta meios que auxiliam o gerente de projetos e a sua equipe na definição/avaliação de potenciais ações para o tratamento dos riscos?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	2	3	1	0	0

Quadro 25 – Avaliação do critério de Tratamento de Riscos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O décimo critério de avaliação do método é chamado de “Melhoria” e trata de um dos objetivos específicos da presente dissertação, que é avaliar as vantagens e desvantagens em relação aos métodos existentes na empresa. Além da pergunta apresentada no questionário, durante o processo de avaliação os especialistas foram questionados também quanto às desvantagens do método. A avaliação desse critério foi bem positiva, como pode ser visto no Quadro 26, e coincidiu com as duas avaliações anteriores. O especialista “A”, que foi o único que considerou que o método atende apenas parcialmente o critério, comentou o seguinte:

Acho que o método é um complemento do que já existe atualmente na empresa. Teríamos que padronizar com os existentes, além de mudar a cultura da empresa. De qualquer maneira, eu achei o método bastante completo. Aquele indicador que mostra o risco em cada etapa é ótimo.

Em resumo, os comentários sobre desvantagens do método proposto em relação a outros métodos existentes foram todos em relação às potenciais dificuldades de implementação em relação a outros métodos mais simples e já conhecidos. O especialista “E” comentou: “[...] sim, esse método tem vantagens, porém é mais difícil quanto a sua implementação”.

No que tange às vantagens em relação a métodos utilizados, os comentários foram bastante positivos. O especialista “D”, por exemplo, comentou: “O método é bem abrangente, os métodos atuais são bem superficiais.” O especialista “B” complementou: “o método atual de avaliação de risco existente no PDP depende totalmente da experiência de cada uma das pessoas envolvidas no projeto”.

10) Melhoria					
Questão	O método proposto apresenta vantagens em relação a outros métodos de avaliação de riscos existentes na empresa ?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	2	3	1	0	0

Quadro 26 – Avaliação do critério de Tratamento de Riscos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalmente, o último critério refere-se especificamente ao protótipo computacional. Apesar de a maioria dos especialistas não terem tido a oportunidade de vê-lo funcionando, pois não participou dos passos 4 e 5 do método, o funcionamento do mesmo foi explicado

através das telas do aplicativo. Isso acabou prejudicando a avaliação realizada. Mesmo assim, quatro dos seis especialistas (66,7%) julgaram que o critério foi totalmente ou quase que totalmente atendido, conforme pode ser visto no Quadro 27.

11) Protótipo Computacional SISBAAR					
Questão	O protótipo computacional SISBAAR facilita e simplifica a execução do método?				
Nível	4	3	2	1	0
	Atende Totalmente	Atende quase que totalmente	Atende parcialmente	Atende poucos aspectos	Não atende
Ocorrência	3	1	2	0	0

Quadro 27 – Avaliação do Protótipo Computacional SISBAAR
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os dados do conjunto de entrevistas, verifica-se que os que se destacaram por apresentar maior média e mediana, foram os critérios Consistência, Transformação e Documentação das Informações. Todos tiveram uma média simples igual ou superior a 3,33 e mediana igual ou superior a 3,5. Por outro lado, os que apresentaram pior desempenho foram os critérios de Completeza, Extensibilidade e Identificação de Riscos. A média e a mediana dos últimos itens citados foi igual ou inferior a 3,0.

O resultado geral foi considerado satisfatório. Vários comentários reforçaram os desfechos positivos indicados na avaliação, como o do especialista “A” ao ser referir a um dos benefícios do método: “o método exhibe dados estatísticos comprovando a veracidade das informações, tornando mais simples e pouco contestável”. O especialista “B” concordou, dizendo: “o método me pareceu bem completo e bem detalhado”. Da mesma forma, o especialista “F” demonstrou concordância e concluiu seu parecer:

O método é muito bom, bem interessante e completo, indo ao encontro do que a empresa necessita. Acredito que tem potencial para ser utilizado, ainda mais se pensarmos de forma mais ampla em todas as divisões da empresa e em unidades de outros países. Sugiro como próximo passo para adoção do método a busca do interesse das pessoas com poder de decisão global.

Acredita-se que o resultado da avaliação seria ainda mais favorável, caso todos os especialistas tivessem tido maior contato prévio com o método. Essa percepção foi sendo corroborada à medida que novos comentários eram feitos nesse sentido durante as avaliações. Principalmente nos casos em que elas não eram tão favoráveis (nível 2 e 3), os especialistas, em várias situações, justificaram a avaliação dizendo não se sentirem confortáveis em darem

um parecer mais favorável por não conhecer mais a fundo o método. Para verificar se essa percepção está coerente com os dados coletados das avaliações, foi realizada uma comparação entre os resultados, indicada na Tabela 3, classificando os avaliadores em três grupos: os que não tinham nenhum contato prévio com o método, os que haviam participado como membros do comitê de implementação (participaram apenas nos passos 1 e 3) e os que participaram efetivamente de todos os passos.

Tabela 3 – Resumo das avaliações com os especialistas x Nível de contato prévio com o método

	Critério	Parâmetro	Nenhum contato prévio com o método (n=2)	Participação nos passos 1 e 3 (n=2)	Participação em todos os passos (n=2)
1	Clareza e objetividade	Média	3,50	3,00	3,50
		Amplitude	1,00	0,00	1,00
2	Completeza	Média	2,00	3,00	3,50
		Amplitude	0,00	0,00	1,00
3	Consistência	Média	3,00	3,50	3,50
		Amplitude	2,00	1,00	1,00
4	Transformação	Média	4,00	3,50	4,00
		Amplitude	0,00	1,00	0,00
5	Extensibilidade	Média	3,00	2,50	3,50
		Amplitude	2,00	1,00	1,00
6	Documentação das Informações	Média	3,00	3,00	4,00
		Amplitude	2,00	0,00	0,00
7	Identificação de riscos	Média	3,00	3,00	3,00
		Amplitude	0,00	0,00	0,00
8	Análise de riscos	Média	2,50	3,00	4,00
		Amplitude	1,00	0,00	0,00
9	Tratamento de riscos	Média	3,50	3,00	3,00
		Amplitude	1,00	2,00	0,00
10	Melhoria	Média	3,00	3,00	3,50
		Amplitude	2,00	0,00	1,00
11	Protótipo Computacional	Média	3,00	3,00	3,50
		Amplitude	2,00	2,00	1,00
	Todos	Média	3,05	3,05	3,55
		Mediana	3,00	3,00	4,00
		Desvio Padrão	0,899	0,575	0,510

Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando os dados gerais de todas as questões, para os avaliadores que tiveram um maior contato com o método, a média foi 0,5 pontos mais favorável (de 3,05 para 3,55).

Observa-se que embora a média entre os grupos que não tiveram maior contato com o método tenha sido a mesma, o desvio padrão das avaliações feitas com os especialistas que não tinham nenhum contato prévio com o método (0,899) foi superior ao desvio padrão das avaliações dos especialistas que tiveram um contato intermediário. A Figura 55 ilustra os dados obtidos nas entrevistas.

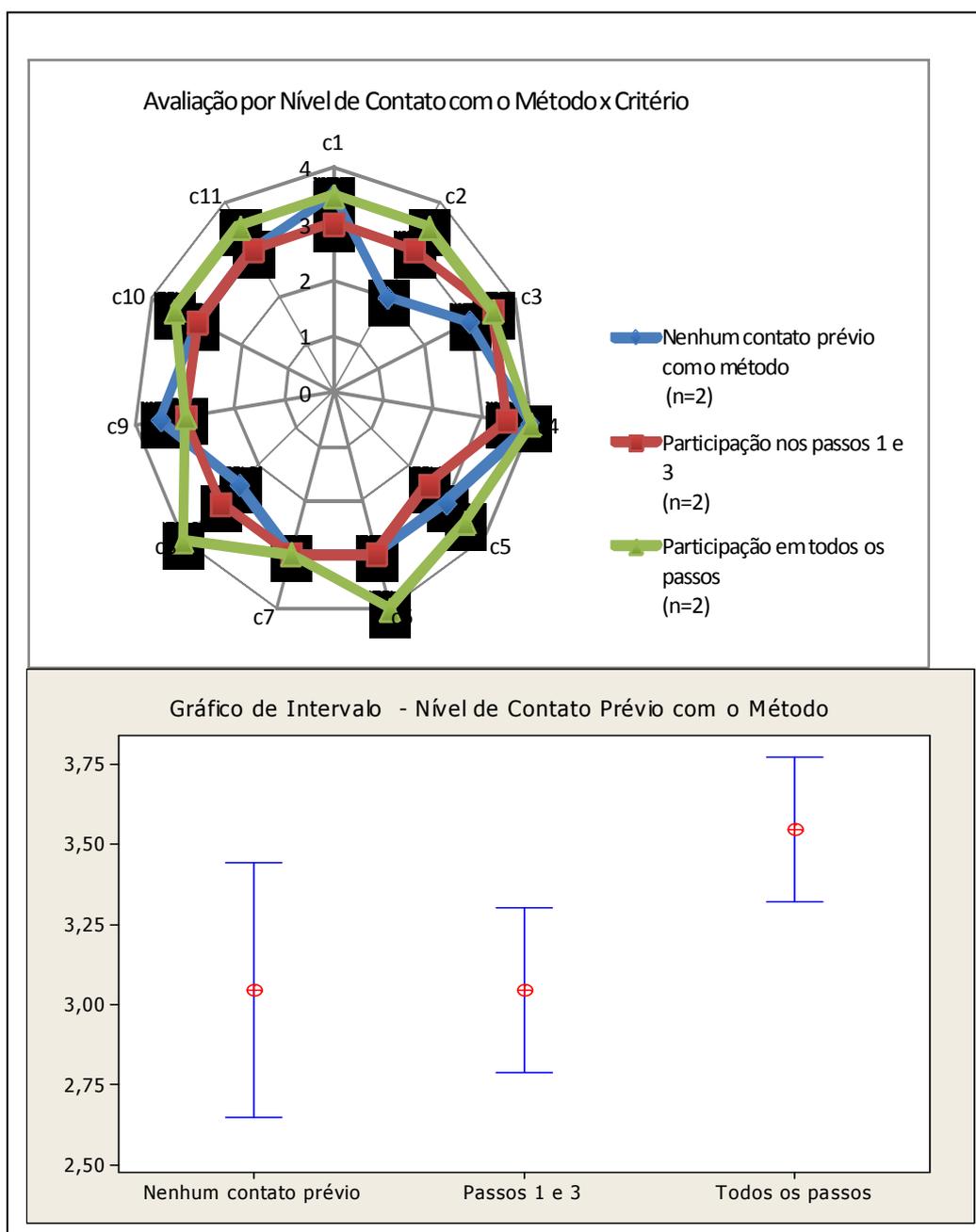


Figura 55 – Impacto do nível de conhecimento prévio do método na avaliação realizada
Fonte: Elaborada pelo autor.

Conclui-se que para o grupo de especialistas consultado a avaliação do método foi favorável, e na medida em que a experiência com o método aumentou, a avaliação foi ainda mais positiva. Por outro lado, a avaliação do método permitiu expor algumas deficiências, que no entendimento do pesquisador, podem ser sanadas através de alguns aperfeiçoamentos e pela maior experiência prática em novos projetos. Um dos aperfeiçoamentos, por exemplo, seria um maior detalhamento dos construtos, o que permitiria que a identificação de riscos tivesse uma maior probabilidade de englobar todas as possibilidades. Questões adicionais sobre deficiências identificadas no método serão abordadas na seção a seguir.

6.2 AVALIAÇÃO REALIZADA PELO PESQUISADOR

A avaliação realizada pelo pesquisador, conforme definido no Capítulo 3, utilizou os mesmos níveis de atendimento utilizados pelos especialistas, porém os critérios (requisitos) foram distintos. De todos os doze critérios avaliados, sete deles (58,3%) foram considerados que são totalmente atendidos pelo método, quatro deles (33,3%) que são quase que totalmente atendidos e apenas um dos critérios (8,4%) foi considerado que é apenas parcialmente atendido. Cada uma das avaliações é comentada a seguir.

Em relação à simplicidade, de fato o protótipo computacional SISBAAR contribuiu nesse sentido. O software de Redes Bayesianas possui muito mais recursos do que os apresentados pelo artefato SISBAAR, mas acredita-se que a avaliação de riscos através dele pelos usuários finais, poderia dificultar o processo. Além disso, o software de Redes Bayesianas não está preparado para utilizar o modelo em diferentes projetos e diferentes fases, o que dificultaria ainda mais o processo, exigindo que o usuário criasse um arquivo diferente para cada avaliação feita, além de não ter um local no software para registro das justificativas para cada avaliação de riscos realizada. Mesmo assim, o critério foi avaliado pelo pesquisador como quase que totalmente atendido, devido à dificuldade inerente no passo de Elicitação.

Quanto à realimentação do modelo a partir das experiências, esse requisito foi considerado plenamente atendido. Tal resultado está intimamente ligado à utilização do modelo construído sob a abordagem da Estatística Bayesiana, no qual uma nova evidência pode ser utilizada para atualização das probabilidades (HAMADA *et al.*, 2008).

A integração com outras ferramentas de análise de riscos foi prevista no método, porém a restrição de tempo da presente dissertação não permitiu o aprofundamento nessa

questão. Tal integração, conforme esperado, encontrou-se na definição dos construtos. Por esse motivo, o critério foi considerado parcialmente atendido.

O próximo requisito trata do encadeamento dos passos do método de forma lógica e aplicável a qualquer organização de projetos de produtos eletrônicos. Tal requisito foi considerado totalmente atendido, apesar de que uma conclusão mais definitiva só seria possível através da experiência prática da aplicação em várias organizações.

Em relação à representação das variáveis técnicas e gerenciais, assim como a obtenção de um nível geral de riscos, concluiu-se que esse requisito foi totalmente atendido. O modelo foi construído exatamente sob tal enfoque. Além disso, a instanciação do método sinalizou que o conjunto de inferências realizadas e o nível de risco resultante estavam bastante coerentes com a expectativa dos membros do projeto. Essa conclusão ficou ainda mais clara após a revisão dos dados coletados sobre os projetos finalizados anteriormente. Adicionalmente, observou-se que o índice de riscos, quando utilizado sem qualquer evidência, tem o potencial de ser aplicado como um indicador geral para avaliar a maturidade da organização em lançar produtos com menores riscos de falhas epidêmicas em campo. À medida que os projetos são finalizados, o processo de adaptação do modelo resulta na atualização desse índice, indicando eventuais tendências.

Um dos aspectos que ficou evidente no desenvolvimento e instanciação do método foi a dificuldade de relacionar parâmetros qualitativos na definição dos construtos do modelo, o que o pesquisador conclui ser uma limitação inerente ao processo de modelagem utilizando Redes Bayesianas. Mesmo que o método tenha sido parcialmente aplicado em apenas uma organização, o processo de elicitación demonstrou ser muito trabalhoso e demorado, o que dificultou a sua aplicação. Constatou-se que ainda são necessários avanços nas pesquisas dessa área para tornar o processo mais fácil de ser aplicado no ambiente de projeto de produtos. Essa conclusão vai ao encontro do que ressalta Neil *et al.* (2001), ao comentar sobre as principais barreiras na utilização de Redes Bayesianas.

Quanto ao requisito relacionado à identificação da contribuição de cada fator no impacto global no índice de risco, apesar do método permitir tais avaliações, na condição atual o protótipo computacional é um pouco limitado. Uma avaliação mais completa só é possível através do artefato SOFTRB. Por esse motivo esse requisito foi considerado quase que totalmente atendido. De qualquer maneira, o modelo desenvolvido permitiu analisar a influência de cada risco nos demais, o que, de acordo com Grubisic (2009), é fundamental para possibilitar definir o efeito acumulado dos riscos.

O requisito seguinte, que trata da identificação de riscos associados a perigos específicos, foi considerado quase que totalmente atendido. O motivo para tal avaliação é que na proposta do método o cumprimento desse requisito fica muito atrelado à interpretação da equipe de projeto ao utilizar o artefato DEFCON. Um aspecto positivo do método quanto a esse requisito é o fato do artefato SISBAAR prever que sejam registrados os perigos específicos no momento de assinalar as evidências coletadas.

O oitavo requisito foi o único que foi avaliado como sendo apenas parcialmente atendido. A razão disso é que a definição dos construtos do modelo, apesar de ser abrangente, considerando o escopo do método, não possui um nível de detalhes muito grande quanto aos eventos e fontes de riscos que podem resultar em riscos, como em um *checklist* (MACHADO, 2002) para análise de riscos.

A avaliação do método pelo pesquisador, frente aos critérios definidos no capítulo 4, possibilitou identificar alguns pontos de melhoria adicionais aos observados pelos especialistas. A síntese dos resultados da avaliação realizada pelo pesquisador é apresentada no Quadro 28.

Requisito	Nível				
	4	3	2	1	0
1. Adequado nível de simplicidade, principalmente para os usuários finais do método		X			
2. Possibilidade de realimentar o modelo a partir da experiência obtida nos projetos	X				
3. Integração com outras ferramentas de análise de riscos e quantificações de risco		X			
4. Encadeamento dos passos do método numa sequência lógica, aplicável a qualquer organização de projeto de produtos eletrônicos	X				
5. Representar as principais variáveis técnicas do produto e gerenciais do negócio, que represente a relação entre elas e que consolide de uma forma que seja possível mensurar o impacto final dos riscos na firma.	X				
6. Viabilizar a identificação de quais os fatores que possuem maior probabilidade de impactar significativamente os custos associados ao seu desempenho do produto e qual o potencial impacto no risco global, associado à redução de riscos associados aos fatores mapeados.		X			
7. Possibilitar a identificação de qual o risco associado a perigos específicos.		X			
8. Contemplar uma lista abrangente de fontes de risco ou eventos que podem ter um impacto na execução de cada um dos objetivos identificados nos contextos.			X		
9. Possibilitar a análise dos riscos associados à operação sob as perspectivas qualitativas e quantitativas.	X				
10. Fornecer subsídios para avaliação das opções de resposta a risco.	X				
11. Apresentar ferramentas de fácil implementação computacional.	X				
12. Oferecer uma forma sistemática de transmissão de conhecimento, facilitando o processo de aprendizagem dos usuários do método.	X				

Quadro 28 – Avaliação feita pelo pesquisador
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os demais quatro critérios foram considerados plenamente satisfatórios, conforme descrito a seguir. O método permite a avaliação sob a perspectiva qualitativa, ao indicá-lo em relação a limiares de risco e a faixas de risco e sob a perspectiva quantitativa a apresentar um conjunto de probabilidades associadas a cada risco e ao risco geral. O método fornece subsídios para avaliar opções de resposta a risco, ao possibilitar ao usuário simular no artefato SISBAAR diferentes configurações para as variáveis do modelo. As ferramentas apresentadas foram facilmente implementadas no protótipo computacional, ao escolher um software de *Redes Bayesianas* que oferece vários recursos nesse sentido. Finalmente, em relação ao último requisito avaliado, o entendimento do pesquisador é que à medida que as avaliações dos projetos forem sendo efetivamente feitas e os resultados registrados de forma sistemática, conforme proposto no método, o conhecimento será transmitido e retido na organização.

A utilização do paradigma de Redes Bayesianas permitiu que fossem endereçados, de forma superior em relação a outros métodos, alguns aspectos muito importantes da análise de riscos em projetos, tais como: o uso de probabilidades subjetivas, a modelagem da relação entre variáveis através da dependência condicional entre elas e o aprendizado sobre os riscos desconhecidos a partir de evidências dos projetos finalizados. Essas características, conforme observado por Pourret, Naim e Marcot (2008), permitem que as Redes Bayesianas possam ser utilizadas como uma ferramenta de engenharia do conhecimento.

7 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na sequência, serão apresentadas as principais conclusões, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

7.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objetivo geral propor um método para avaliação de riscos operacionais associados a falhas epidêmicas em novos produtos eletrônicos. Através do método *Design Research*, foi desenvolvido um conjunto de artefatos, adicionalmente aos passos do método de avaliação de riscos em si. Os artefatos desenvolvidos foram os seguintes: DEFCON (definição dos construtos), PLANTPN (planilha de registro das TPNs), PLANHIST (planilha para registros do histórico de projetos), SOFTRB (modelo implementado em um software de Redes Bayesianas) e SISBAAR (aplicativo para facilitar o passo final do método). Os artefatos buscaram atender ao objetivo da pesquisa, contribuindo para o aperfeiçoamento do processo de Gestão de Riscos realizado no PDP.

Por se tratar de um objeto de pesquisa complexo, o desenvolvimento do método de avaliação de riscos gerou a necessidade de uma revisão da literatura sobre áreas correlatas, além de pesquisas de modelos contendo construtos relacionados ao tema em questão. Verificou-se, ao mesmo tempo em que tem aumentado a quantidade de publicações nessa área, assim como a relevância do tema para a indústria e a sociedade (tendo em vista o potencial impacto econômico de falhas epidêmicas), que ainda existem várias lacunas a serem preenchidas. Entre elas, as principais tratadas neste trabalho foram: a abordagem da incerteza durante os projetos, a integração entre variáveis técnicas e gerenciais, o aproveitamento do conhecimento subjetivo dos especialistas e a realimentação dos resultados de projetos para o processo de avaliação de riscos. A presente dissertação visa contribuir no aprofundamento da discussão do problema de pesquisa de forma pragmática ao acrescentar elementos que ajudem na elucidação de algumas questões.

O referencial teórico, conforme ilustrado na Figura 22 do Capítulo 2 mostrou-se adequado para cumprir os objetivos da pesquisa. A caracterização do contexto de aplicação do

método foi, sobretudo, realizada através da pesquisa dos processos de PDP, da indústria eletrônica e das demandas da gestão de riscos. Essa caracterização, reforçada pelas entrevistas realizadas com seis profissionais experientes, do Brasil e do exterior, permitiram estabelecer as configurações adequadas para desenvolver os construtos do método. A complexidade do objeto de pesquisa, assim como as tentativas de integração feitas entre os conceitos, indicou a importância de que o mesmo seja abordado através da articulação dos elementos existentes entre as disciplinas teóricas, visando permitir uma nova compreensão da realidade.

Um ponto importante que ficou evidente quanto ao risco de falhas do produto, conforme indicado por Wetzel, Taskinen e Cagan (2004), é a importância das decisões tomadas durante as fases do projeto, e principalmente as iniciais. Considerando o ambiente de crescentes incertezas no projeto de novos produtos, a utilização de métodos, como o proposto, pode ajudar para que as decisões tomadas sejam as que tenham maior probabilidade de sucesso. Direcionada ao escopo definido para esta dissertação, concluiu-se que as decisões durante o projeto de um novo produto estão fundamentalmente relacionadas ao processo de projeto, à gestão da cadeia de suprimentos, aos testes de verificação de validação do produto e às restrições do projeto.

O principal artefato proposto foi um modelo construído através da abordagem de Redes Bayesianas. O modelo permitiu associar o julgamento dos especialistas da empresa com alguns dados qualitativos, no sentido de avaliar riscos técnicos e gerenciais, os quais foram relacionados através de tabelas de probabilidades, gerando, por meio de um protótipo computacional e de um software, o índice geral de risco para o lançamento do produto. Para que o modelo pudesse ser utilizado na prática e em qualquer empresa que projeta produtos eletrônicos, propôs-se uma sequência lógica de passos, englobando a utilização de todos os artefatos.

A seguir as contribuições da presente pesquisa serão descritas utilizando como pano de fundo a análise de o quanto foram efetivamente atingidos o objetivo geral e os objetivos específicos estabelecidos no Capítulo 1.

O objetivo geral tratava do desenvolvimento do método em si, o que, entende-se, foi atendido e mostrou-se na instanciação como um método utilizável na prática das organizações. Naturalmente, a conclusão sobre a aplicabilidade do método em todas as empresas da indústria eletrônica necessitaria uma pesquisa mais extensa, envolvendo diversas empresas de segmentos diferentes, o que não estava no conjunto de objetivos do método. Conclui-se que a presente pesquisa tende a contribuir efetivamente ao apresentar uma

proposta de um novo método para avaliação de riscos operacionais na fase de projeto de produtos.

O primeiro objetivo específico tratou do desenvolvimento do modelo, que veio a ser o artefato mais importante do método. Considerando a pesquisa realizada para a construção do modelo, juntamente com o resultado positivo da avaliação do mesmo por um total de doze especialistas (seis após a construção do modelo e seis após a instanciação do método), conclui-se que o modelo é relevante para representar as principais variáveis técnicas e gerenciais, assim como a relação entre elas. A conclusão inicial sobre sua contribuição para a mensuração do impacto final dos riscos do projeto é que da mesma forma foi satisfatória, apesar de não ter sido possível acompanhar a finalização do projeto e o lançamento do produto.

O segundo objetivo específico foi o de avaliar a aplicabilidade do método em uma empresa da indústria eletrônica, refletindo sobre as vantagens e desvantagens em relação a outros utilizados na empresa. Esses objetivos foram parcialmente atingidos, visto que ocorreram limitações no momento da aplicação, as quais são apresentadas na seção 7.2. De qualquer maneira, estima-se que após pequenos ajustes em alguns artefatos, como previsto no *Design Research*, o método estará pronto para ser implementado com uma boa probabilidade de sucesso em empresas da indústria eletrônica. Finalmente, a avaliação indicou que com algumas adaptações, o método tem forte potencial de ser utilizado para avaliar os riscos em projetos de outros tipos de produto, como os da indústria automotiva.

O último objetivo específico foi a proposição de uma solução computacional para apoiar a utilização do método nas empresas. A busca pela solução indicou a necessidade de um software específico para rodar os algoritmos das Redes Bayesianas, juntamente com um aplicativo para simplificar a realização da análise de riscos pelos gerentes de projeto. Os resultados obtidos e as avaliações realizadas indicam que esse objetivo foi alcançado. A aplicação da solução computacional seguindo os passos do método pode contribuir para reforçar o processo de tomada de decisão durante os projetos. Além disso, os registros dos níveis das variáveis ao longo dos projetos, juntamente com as justificativas para as avaliações realizadas, constituem elementos que podem contribuir para o aprendizado da organização e o reforço de lições aprendidas.

7.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações deste trabalho estão relacionadas à execução da parte empírica, conforme exposto a seguir:

- O método não foi aplicado em todas as cinco fases do projeto do produto. Isso ocorreu porque o projeto, utilizado como base empírica do trabalho, não foi finalizado a tempo de avaliá-lo (o *lead time* do projeto é maior do que o *lead time* da confecção da parte empírica da dissertação). Por esse motivo, não foi possível avaliar o desempenho do método nas fases quatro e cinco do projeto. Além disso, as avaliações nas fases iniciais foram realizadas apenas durante a terceira fase do projeto.
- Foi realizada apenas uma tentativa de aplicação do método e em um único projeto. Esse fato restringe a generalização de conclusões quanto à aplicabilidade do método em projetos da indústria eletrônica.
- O primeiro passo do método foi realizado contando com o prévio envolvimento da direção da empresa, ou seja, não ocorreu em condições reais onde poderia não existir uma cultura prévia que facilitasse a instanciação do método. Isso resulta em uma necessidade de melhorar a aderência desse passo do método em outras organizações.

7.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se a seguir alguns avanços nesta pesquisa:

- Utilização de abordagens alternativas a que foi utilizada no processo de elicitação das Tabelas de Probabilidade de Nós (TPNs) do modelo, no sentido de minimizar os esforços necessários. O processo utilizado foi considerado a principal limitação do método. Uma das abordagens promissoras nessa área foi apresentada por Fenton, Neil e Caballero (2006).
- Reformulação das variáveis do modelo para viabilizar a quantificação da Confiabilidade do Produto (R) considerando aspectos subjetivos. Enquanto na presente pesquisa foi abordada a questão do risco de falhas epidêmicas através de um conjunto de probabilidades associadas a um risco, seria possível buscar avaliar o risco a partir da estimativa do nível de confiabilidade do produto. Essa última tem sido pesquisada por autores como Neil *et al.* (2001), os quais descreveram um

modelo para prever a confiabilidade de veículos. Nessa mesma linha, outra referência é o trabalho de Langseth (2002), que propôs uma metodologia para análise da confiabilidade de sistemas complexos.

- Inclusão de variáveis e métodos de cálculo que permitam aprofundar a visão econômica dos riscos operacionais. Isso poderá ajudar a viabilizar que o modelo simule as possíveis decisões a serem tomadas frente aos *trade-offs* existentes de uma maneira mais consistente, na qual a empresa estaria comparando as diferentes alternativas em uma base financeira sólida. Um exemplo de abordagem seria a adaptação da métrica CLV (*Customer Lifetime Value*), tendo em vista que ela apresenta conceitos que convergem com as demandas de cálculo descritas anteriormente. Segundo Berger *et al.* (2002), o cálculo da CLV requer que a empresa faça uma avaliação criteriosa dos custos e benefícios das alternativas de investimentos e despesas, e então determine a alocação ótima dos recursos a grupos homogêneos de clientes.
- Extensão da avaliação do método para diferentes tipos de negócio e diferentes tipos de produto, como automotivos e outros com elevado nível de complexidade.
- Expansão do método para que permita avaliar outras espécies de risco durante o projeto do produto, como, por exemplo, o risco de atrasos, o risco de que o preço objetivo não seja atingido e o risco de que as expectativas do mercado quanto aos volumes de venda não se confirmem.
- Adaptação do modelo para ser utilizado como meio de avaliação do programa de confiabilidade das organizações, conforme objetiva o *Scorecard* proposto por Sheppler e Welliver (2010). Uma abordagem similar a essa foi identificada na recente pesquisa de Houben (2010), na qual o autor apresenta uma proposta de uso de Redes Bayesianas para a Gestão da Confiabilidade.
- Integração completa entre o método de avaliação de riscos proposto com demais elementos de um sistema de Gestão de Riscos, tais como os propostos por Committee of Sponsoring Organizations (2004): Ambiente Interno, Fixação de Objetivos, Identificação de Eventos, Respostas a Risco, Atividades de Controle, Informações e Comunicações e Monitoramento.

REFERÊNCIAS

- AGENARISK. **Bayesian Network and Simulation Software for Risk Analysis and Decision Support**. Disponível em: <<http://www.agenarisk.com/>>. Acesso em: 23 set. 2010.
- AGUIRRE-ESPONDA, G. J. **Evaluation of Technical Systems at the Design Stage**. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia) - Cambridge University Engineering Department, Cambridge, U.K., 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). **Releases ABINEE: 2010**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/releases.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2010.
- _____. **Balança Comercial: 2011**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon10.htm>>. Acesso em: 5 fev.2011.
- AS/NZS 4360:2004. **Risk Management**. 3rd ed. Standards Australia/Standards New Zealand. 2004.
- AVEN, T. **How to approach risk and uncertainty to support decision making**. Risk Management: an International Journal, 6, 27-39, 2004.
- BACA, M. **The State of the semiconductor industry: DMSMS Trending**. Proceedings DMSMS Conference. 2007.
- BADCAPS. **What Causes this Disaster?**, Disponível em: <<http://www.badcaps.net/pages.php?vid=4>>. Acesso em: 30 jun. 2010.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: 70. ed., 226 p., 1997.
- BARNARD, R.W.A. **What is wrong with Reliability Engineering**. INCOSE, 2008. Disponível em: <http://www.hobbsengr.com/papers/What_is_Wrong_with_Reliabilty.pdf>. Acesso em 17 set. 2010.
- BARROS JÚNIOR, P.F.R. **Uma Metodologia para Análise de Disponibilidade de Sistemas Complexos via Hibridismo de Redes Bayesianas e Processos Markovianos**, Recife: UFPE, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Pernambuco, 2006.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: E. Blucher, 2000.
- BERGER, P. D. et al. **Marketing Actions and the Value of Customer Assets: A Framework for Customer Asset Management**. Journal of Service Research 5(1): 39-54, 2002.

BLESSING, L.T.M.; CHAKRABARTI, A. **DRM: A Design Research Methodology**, Springer; 1st ed. 397 p., 2009.

BLISCHKE, W. R.; MURTHY, D. N. P. **Reliability: modeling, prediction, and optimization**. New York: Wiley, 2000.

BORNIA, A.C.; LORANDI, J.A. **O processo de desenvolvimento de produtos compartilhado na cadeia de suprimentos**. Revista da FAE, v. 11, p. 35-50, 2009.

BREWER, R. **Reliability terms and definitions based on conceptual relationship between reliability and quality**. Microelectronics and Reliability. Vol. 11, Issue 5, 1972.

CARBONE, T.A.; TIPPETT, D.D. **Project risk management using the Project risk FMEA**. Engineering Management Journal. v.16, n.4, p.28-35, 2004.

CHAPMAN, R. J. **Simple Tools and Techniques for Enterprise Risk Management**, J. Wiley & Sons, 466 p., 2006.

CHEN, M. et al. **Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing and Management**. International Federation for Information Processing (IFIP). Boston: Springer, p. 990-995, 2007.

CHIN, K.S. et al. **Assessing new product development project risk by Bayesian network with a systematic probability generation methodology**, Expert Systems with Applications – an International Journal. Elsevier, 2009.

COQUE JUNIOR, M.C. **Basiléia II: Uma abordagem sobre a aplicação de Estatística em Risco Operacional**, Worskhop do Conselho Regional de Estatística da 3ª Região, 2008.

COMITEE OF SPONSORING ORGANIZATIONS (COSO). **Enterprise Risk Management- Integrated Framework**, 2004.

COOPER, R. **Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch**, Cambridge: Perseus Books, 1993.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Portal de Periódicos da CAPES**. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 27 ago. 2010.

DAMODARAN, A. **Strategic Risk Taking: a Framework for Risk Management**. Wharton: School Publishing, 2008.

DE CICCIO, F. **Engenharia de confiabilidade e análise de riscos**, Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, 17(66): 26-33. abr.-jun., 1989.

_____. **Gestão de Riscos: Diretrizes para a Implementação da AS/NZS 4360:2004**. Coleção Risk Tecnologia. 2005.

DE LUCA, L.V. **Recomendações para a Implementação de Ensaios de Estresse Térmico Voltados à Confiabilidade de Hardwares Eletrônicos**. Florianópolis: UFSC, 2004.

Dissertação (Mestrado em Metrologia). Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

DECISION ETUDES & CONSEIL. **World Electronic Industries**, Disponível em: <http://www.decision.eu/doc/brochures/exec_wei_current.pdf>, 2009. Acesso em: 12 mar. 2010.

DORO, M.M.; DONATELLI, G.D.; SCHNEIDER, C.A. **Redes Bayesianas para dar suporte ao planejamento da inspeção na produção em pequenos lotes**, Produto & Produção, vol.10, n.2, p.28-43, jun. 2009.

DRUDZEL, M.J.; VAN DER GAAG, L.C. **Elicitation for Belief Networks: Combining Qualitative and Quantitative Information**, Proceedings of the 11th Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-95), Montreal, p. 141-148, 1995.

DUFFY, A. H. B.; ANDREASEN, M. M. **Enhancing the evolution of design science**; International Conference of Engineering & Design, 1995.

ECHEVESTE, M. E. S. **Uma Abordagem para Estruturação e Controle do Processo de Desenvolvimento de Produto**. 2003. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

ELSAYED, E.A. **Reliability Engineering**, Addison: Wesley Longman, 1996.

ENGELHARDT-NOWITZKI, C.; ZSIFKOVITS, H.E. **Complexity-Induced Supply Chain Risks – Interdependencies between Supply Chain Risk and Complexity Management**, Managing Risks in Supply Chains, Erich Schmidt Verlag, 2006.

ERICSON, C.A. II. **Hazard Analysis Techniques for System Safety**, John Wiley & Sons, 2005.

FEDERAL investigation clears Toyota electronics. **American Society for Quality**, 9 feb. 2011. Disponível em: <<http://asq.org/qualitynews/qnt/execute/displaySetup?newsID=10579>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **System Safety Handbook**, 2000. Disponível em: <<http://www.faa.gov>>. Acesso em: 18 jun. 2010.

FELDMAN, K.; SANDBORN, P. **Integrating technology obsolescence considerations into product design planning**. Las Vegas: Proceedings of the ASME 2007, 2007.

FENTON, N.; NEIL, M. **Making decisions: using Bayesian Nets and MCDA**, Knowledge-Based Systems, Vol. 14., Issue 7, nov. 2001.

_____. **Managing Risk in the Modern World: Applications of Bayesian Networks**, London: Mathematical Society, 2007.

FENTON, N.; NEIL, M.; CABALLERO, J.G. **Using Bayesian networks to predict**

software defects and reliability, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2006.

FENTON, N.; NEIL, M.; MARQUEZ, D. **Using Ranked Nodes to Model Qualitative Judgments in Bayesian Networks**, Department of Computer Science, Queen Mary, London, UK: University of London, 2008.

FERREIRA, V.V.; OGLIARI, A. **Guidelines for a risk management methodology for product design**, Product Management & Development, Vol.3, n.1, Aug. 2005.

FINANCIAL ACCOUNTING STANDARDS BOARD. Disponível em: <<http://www.fasb.org/summary/finsum45.shtml>>. Acesso em: 11 out. 2010.

FIRMINO, P.R.A. **Redes Bayesianas para a Parametrização da Confiabilidade em Sistemas Complexos**, Dissertação de Mestrado, UFPE, 2004.

FOGLIATTO, F.S.; RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**, Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FREITAS, M.A.; COLOSIMO, E. **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados**. Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1997.

GOLAFSHANI, N. **Understanding Reliability and Validity in Qualitative Research**, The Qualitative Report, Volume 8, Number 4, Dec. 2003.

GOMES, C.W. **Diagnose de Motores Diesel por meio de Redes Bayesianas**, Dissertação de Mestrado, Centro Universitário da FEI, Engenharia Elétrica, 130 p., 2008.

GRUBISIC, V.V.F. **Metodologia de Gerenciamento Integrado de Riscos Técnicos e Gerenciais para o Projeto de Produtos**, Tese de Doutorado, Engenharia Mecânica, UFSC, 2009.

GRUGINSKIE, L.A.S. **Proposta de Método para Configuração e Análise de Capacidade de Centrais de Atendimento Presenciais: uma Abordagem via Design Research**, Dissertação de mestrado apresentada na UNISINOS, 2008.

GUIMARAES, M.G. **Proposta de um Método para a Redução do Lead Time de Desenvolvimento da Indústria Calçadista: um Estudo de Caso**, Dissertação de mestrado apresentada na UNISINOS, 2009.

HAMADA, M.S. et al. **Bayesian Reliability**, Springer Series in Statistics, 428 p., 2008.

HAMMER, W. **Product Safety Management and Engineering**. Englewood Cliffs - NJ, USA: Prentice Hall, 2nd ed., 324 p. 1993.

HAUSER, G. et al. **A Indústria Eletrônica no Brasil e na China: um Estudo Comparativo e a Análise das Políticas Públicas de Estímulo a Capacidade Tecnológica do Setor**, Journal of Technology Management & Innovation, Vol.2, Issue 3, 2007.

HNATEK, E.R. **Practical Reliability of Electronic Equipment and Products**. Marcel Dekker, 442 p. 2003.

HOUBEN, M.J.H.A. **Using Bayesian Belief Networks for Reliability Management: Construction and Evaluation: a Step by Step Approach**. 2010. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven, Holanda, 2010.

HUBBARD, D. W. **The Failure of Risk Management: Why It's Broken And How To Fix It**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

HUGHES-CROMWICK, E. **Economic and Financial Climate Change: a Business Economist's Perspective**, Business Economics (2009) 44, 17–22, 2009.

HUGIN EXPERT. **The Leading decision support tool**, Disponível em: <<http://www.hugin.com/>>. Acesso em: 30 out. 2010.

IEC 60050-191. **International Electrotechnical Vocabulary**, Chapter 191: Dependability and quality of service, 1990.

IIVARI, J.; VENABLE, J. **Action Research and Design Science Research: Seemingly similar but decisively dissimilar**. Proceedings of the 2009 European Conference on Information Systems (ECIS 2009), 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/pib-vol-val_201003caderno.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2010.

INVENSYS. **Annual Report and Accounts**, Disponível em: <http://www.invensys.com/isys/docs/ar/2010/Invensys_AR_2010.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2010a.

INVENSYS. **Histórico da Invensys no Brasil**, Disponível em: <<http://www.invensysappliance.com.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2010b.

IRESON, W.G.; COOMBS JR; C.F.; MOSS, R.Y. **Handbook of Reliability Engineering and Management**, McGraw-Hill, 2nd ed. 1996.

JÄRVINEN, P. **Action research as an approach in design science**, Department of Computer Sciences, University of Tampere, 16 p., 2005. Disponível em: <<http://www.cs.uta.fi/reports/dsarja/D-2005-2.pdf>>. Acesso em: 8 mai. 2010.

_____. **Action Research is Similar to Design Science**. Quality and Quantity, vol. 41, No.1, 2007

JUNG, W. S.; YANG, J.; HA, J. **Development of measures to estimate truncation error in fault tree analysis**. Reliability Engineering and System Safety, v. 90, n. 1, p. 30-36, 2005.

KARCHER, C. **Redes Bayesianas aplicadas à análise do risco de crédito**, São Paulo, 103 p., 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia), USP.

KENNEDY, P. **A Guide to Econometrics**, the MIT Press, Massachusetts: Cambridge, 4.ed. 368 p., 1998.

KERZNER, H. **Project Management: a systems approach to planning, scheduling and controlling**. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 1180 p., 1998.

KHODAKARAMI, V. **Applying Bayesian Networks to model Uncertainty in Project Scheduling**, Queen Mary, University of London, 2009.

KJAERULFF, U.B.; MADSEN, A.L. **Bayesian Networks and Influence Diagrams: a Guide to Construction and Analysis**, Springer Science, 318 p., 2008

KLETZ, T. A. **Cheaper, Safer Plants, or Wealth and Safety at Work**, Institution of Chemical Engineers, 1984

KLEYNER, A.; SANDBORN, P. **Minimizing Life Cycle Cost by Managing Product Dependability via Validation Plan and Warranty Return Cost**, International Journal of Production Economics, Vol. 112, No. 2, p. 796-807, 2008

KLOMAN, H. F. **Milestones: 1900 to 1999, Risk Management Reports**, Seawrack Press, Volume 26, No. 12, 1999.

KUO, W.; ZUO, M. J. **Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

LAHOZ, C.H.N. **ELICERCE: O processo de Elicitação de Metas de Dependabilidade para Sistemas Computacionais Críticos: Estudo de Caso Aplicado à Área Espacial**, tese apresentada, Teste de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Ed. rev., São Paulo, 2009.

LAFRAIA, J.R.B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**, Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Fundamentos da metodologia científica**. S. Paulo: Atlas, 1990.

LANGSETH, H. **Bayesian Networks with Applications in Reliability Analysis**. Ph. D. thesis, Department of Mathematical Sciences, Norwegian University of Science and Technology. Doktor Ingeniør avhandling, 2002.

L'ASTORINA, H.C. **Usando redes Bayesianas para a previsão da rentabilidade de empresas**, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2009.

LG faz recall inédito de televisores de LCD. **Estado de São Paulo**, São Paulo, 14 jul. 2010. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/Economia+Geral,lg-faz-recall-inedito-de-televisores-de-lcd,not_27312.htm>. Acesso em: 21 jul. 2010.

LUNA, S.V. **Planejamento de pesquisa: uma introdução**. São Paulo: EDUC, 1997.

MACHADO, C. A.; FILIPAK.A. **Risk: Um Método para Identificar e Quantificar Risco de Prazo em Projetos de Desenvolvimento de Software**, Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências – PPGIA, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – CCET, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR), 2002.

MAGNIEZ, C.A.A. **Combining information flow and physics-of-failure in mechatronic products** – Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2007.

MALHOTRA, M.; TRIVEDI, K. **Power-Hierarchy of Dependability-Model Types**, IEEE Transactions on Reliability, Vol.43,No.3, 1994.

MANSON, N.J. **Is operations research really research?**, Operations Research Society of South Africa, Vol. 22, n.2, 2006.

MARCORIN, A.; ABACKERLI, A. **Estudo Exploratório sobre Áreas Potenciais de Aplicação de Técnicas de Confiabilidade**. Anais do XXI ENEGEP, 2001.

MATHISON, S. **Why triangulate?** Educational Researcher, 17(2), 13-17, 1988. Disponível em: <<http://edr.sagepub.com/content/17/2/13.short>>. Acesso em: 16 mai. 2010.

McKENNA, S. **Organizational Complexity and Perceptions of Risk**, Risk Management, Vol. 3, No. 2, p. 53-64., 201.

MEYER, M.A.; BOOKER, J.M. **Eliciting and Analyzing Expert Judgement: A Practical Guide**, London: Academic Press, 1991.

MODARRES, M. **What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis**, New York: Marcel Dekker, 1993.

MORETTI, S. L. A.; CAMPANÁRIO, M. A. **Para sair da zona de conforto: análise bibliométrica dos artigos sobre responsabilidade social empresarial – RSE na EnANPAD.XXXII Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação em Administração e Contabilidade – EnANPAD 2008**. Rio de Janeiro/RJ. 6 a 10 de set., 2008.

MORANO, C.A.R. **Aplicação das Técnicas de Análise de Risco em Projetos de Construção**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Engenharia Civil, 2003.

MOURA, M.J.C. **Processos Semi Markovianos e Redes Bayesianas para Avaliação de Indicadores de Desempenho de Confiabilidade de Sistemas Complexos Tolerantes à Falha**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco – Engenharia de Produção, 112 p., 2006

MOURA, M.J.C.; DROGUETT, E.L. **Inferência Bayesiana para estimação da taxa de falhas de bombas de um sistema de resfriamento de uma usina nuclear**, Anais do XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005

MULLER, J. Toyota Recall Isn't The Biggest—Yet. **Forbes**, Detroit, 02. apr. 2010. Disponível em: <<http://www.forbes.com/2010/02/04/toyota-prius-ford-gm-business-autos-recalls.html>>. Acesso em: 18 mai. 2010.

MURPHY, K. **Software Packages for Graphical Models / Bayesian**. Disponível em: <<http://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Bayes/bnsoft.html>>. Acesso em: 14 set. 2010.

MURTHY, D.N.P. **Product Reliability and Warranty: an overview and future research**, Revista Produção, v.17, n.3, p.426-434, 2007.

_____.; BLISCHKE, W.R. **Warranty Management and Product Manufacture**. New York: Springer Verlag, 2005.

_____. **Warranty Management and Product Manufacture**, New York: Springer Verlag, 2006.

MURTHY, D.N.P.; RAUSAND, M.; ØSTEARÅS, T. **Product Reliability: Specification and Performance**, Springer Verlag, p.284, 2008.

NEIL, M.; FENTON, N.; NIELSEN, L.M. **Building Large-Scale Bayesian Networks**, The Knowledge Engineering Review, 15(3): p. 257-284, 2000

NEIL M.; MARQUEZ D.; FENTON N. **Using Bayesian Networks to model operational risk to information technology infrastructure in financial institutions**, Cass-Capco Institute Paper series on risk - Journal Vol. 22, 2008.

NOVAK, J.D. **Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Map as Facilitative Tools in Schools and Corporations**, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1998.

NRI (The Noordwijk Risk Initiative Foundation). **MORT User's Manual: For use with the Management Oversight & Risk Tree analytical logic diagram**, 2nd ed, 2009. Disponível em: <<http://nri.eu.com/NRI1.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

OLIVA, G.M. et al. **Bayesian networks Applications on Dependability, Risk Analysis and Maintenance**, In: 2nd IFAC Workshop on Dependable Control of Discrete System, DCDS'09, Bari: Italy, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, W.O. **Estudo Comparativo Entre Modelos Lineares e Redes Neurais Artificiais como Tecnologias Geradoras de Previsões de Valores Financeiros**, Universidade Católica de Brasília, 2007.

ONECLE. **Sample Business Contracts from SEC Filings**. 2010. Disponível em: <<http://contracts.onecle.com/>>. Acesso em 27 set. 2010.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: a Systematic Approach**, 2nd ed. London: Springer, 1996.

PASSOS JUNIOR, A.A.; ANTUNES JUNIOR, J.A.V.; KLIPPEL, M. **Circuitos da Autonomia e os Fatores da Produção: implicações na gestão de empresas brasileiras**, In: Anais do XXV ENEGEP, 2005.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. (1976). **Econometrics models and economic forecasts**, 4. ed. Irwin McGraw-Hill, 634 p., 1997.

_____. (1995). **Microeconomia**, Tradução de Eleutério Prado, Thema Guimarães e Luciana do Amaral Teixeira, 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 647 p., 2010.

PIZZOLATO, M.; TEN CATEN, C.S; FOGLIATTO, F.S. **Definição do prazo de garantia de um produto otimizado experimentalmente**, Revista Gestão & Produção, vol. 12, n.2, 239-253, mai-ago, 2005.

PMI (Project Management Institute). **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide)**, Upper Darby, 2004.

POURRET, O.; NAIM, P.; MARCOT, B. **Bayesian Networks: a Practical Guide to Applications**, New York: John Wiley & Sons, 429 p., 2008.

PRIEST, G.L, A. **Theory of consumer product warranty**. Yale Law J., Vol. 90, 1981.

RAHMAN, A.; CHATTOPADHYAY, G. **Lifetime Warranty Policies: Complexities in Modelling and Potential for Industry Application (2004)**, Proceedings of the Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2004.

RAJEEV, S.; SANDBORN, P.; PECHT, M. **IEEE Trans. on Components and Packaging Technologies**. p.707-717., dec., 2000.

RAUSAND, M.; HØYLAND, A. **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications**. Wiley, Hoboken, 2nd ed., 2004.

RICHTER, P.E.; LOPES, L.F.D. **A Confiabilidade relacionada ao desenvolvimento de produtos e à gestão da qualidade total**. Anais do XXIV ENEGEP, 2004.

RODRIGUES, M.V.C. **Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUBIN, H. **Supply-Side / Manufacturing Outsourcing: Strategies and Negotiations**, Georgetown Journal of International Law, Vol. 38, 2007. Disponível em: <http://recruiting.ropesgrayhiring.com/files/Publication/8a6d7f6b-fa24-493a-a1a5-5c890906ff77/Presentation/PublicationAttachment/2dff863e-c424-4fc9-8250-619884e6fa33/Article_July2007_SupplySide_Rubin.pdf>. Acesso em: 5 out. 2010.

RUNDLE, P. **Root Cause Analysis – Where does it fit in the Reliability – Liability Context?**, International IEEE Conference on the Business of Electronic Product Reliability and Liability, Hong Kong & Shenzhen, 2003.

SALERNO, M.S. **Flexibilidade e organização produtiva**, In: A Máquina e o Equilibrista: inovações na indústria automobilística brasileira. Nádyá Araújo de Castro (Org.), Rio De Janeiro: Paz e Terra, p.53-83, 1995.

SALGADO, M.F.P. **Aplicação de Técnicas de Otimização à Engenharia de Confiabilidade**, dissertação apresentada no programa de Pós graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SANDBORN, P.; PRABHAKAR, V.; ERIKSSON, B. **The application of product platform design to the reuse of electronic components subject to long-term supply chain disruptions**, New York: Proceedings of the ASME 2008, 2008.

SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P.A.C. **Risk Management in the development of new products: A review and classification of the literature**. Product: Management & Development, Vol.6, n.1, 2008.

SHEPPLER, M.; WELLIVER, N. **New Army and DoD Reliability Scorecard**, In: The Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2010.

SILVA, E.L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

SIMÕES FILHO, S. **Análise de Árvore de Falhas Considerando Incertezas na Definição dos Eventos Básicos**, tese submetida ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

SMETS, L.P.M.; VAN HOUTUM, G.J.; LANGERAK, F. **Design for Availability: Creating Value for Manufacturers and Customers**, Research School for Operations Management and Logistics, 2010. Disponível em <http://cms.ieis.tue.nl/Beta/Files/WorkingPapers/wp_316.pdf>. Acesso em: 4 out. 2010.

SMITH, P.G.; REINERTSEN, D.G. **Developing Products in Half the Time: New Rules, New Tools**. New York: John Wiley & Sons, 298 p., 1998.

SOMERVILLE, I.; MROZ, J. E. **Novas competências para um mundo novo**. In: Hesselbein, F. et al. (org.). A organização do futuro. Peter Drucker Foundation, São Paulo: Futura, 1997.

SOUZA, M.C.M. **Quantificação das Incertezas na Avaliação de Projetos: O Modelo Utilizado na Agência de Fomento do Estado da Bahia**. 134 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em, Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TAKEDA H. et al. **Modeling design processes**. Artificial Intelligence Magazine, 11 (4), 1990.

TECHAGREEMENTS. **Master Supply Agreement**. 2007. Disponível em: <<http://www.techagreements.com/agreement-preview.aspx?num=337678&title=Synnex / Sun - Master Supply Agreement>>. Acesso em: 18 dez. 2010.

TIKU, S. **Reliability Capability Evaluation for Electronics Manufacturers**, University of Maryland, College Park, 2005. Tese de Doutorado.

USACE (USA ARMY CORP OF ENGINEERS). **TM 5-698-4 Technical Manual**, 2006.

VACCARO, G.L.R. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1997.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems**, Association for Information Systems, 2004, Disponível em: <<http://desrist.org/design-research-in-information-systems/>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

VAN AKEN, J.E. **Management Research based on the Paradigm of the Design Sciences: the Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules**, Journal of Management Studies, 41:2, Mar., 2004.

VANCE, A. Suit over Faulty Computers Highlights Dell's Decline. **The New York Times**, New York, 28 jun. 2010. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2010/06/29/technology/29dell.html?_r=1>. Acesso em 30 out. 2010.

VAUGHAN, E.J. **Risk Management**. New York: John Wiley&sons, 812 p, 1997.

VENTER, J.P.; VAN WAVEREN, C.C. **New Product Development with Dynamic Decision Support**, International Journal of Innovation and Technology Management (IJITM), vol. 6, issue 02: p.135-153, 2009.

WARRANTY WEEK. **Warranty Claims & Accruals in Financial Statements**, Warranty Week from SEC data, 2010. Disponível em: <<http://www.warrantyweek.com/archive/ww20100401.html>>. Acesso em: 17 jun. 2010.

WATTS, J. M.; JR.; CHAPMAN, R. E. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 3rd ed. p.93-104, 2002.

WETZEL, E.; TASKINEN, T.; CAGAN, J. **Utility of Chaos Theory in Product Development, Proceedings of the 5th International CINet Conference**, September 22-25, Sydney: University of Western Sydney, p.546 – 557, 2004.

WHEELRIGHT, S.; CLARK, K. **Revolutionizing Product Development, Quantum Leaps In Speed, Efficiency, And Quality**. New York: The Free Press, 1992.

WILKINSON, N. **Managerial economics: a problem-solving approach**, Cambridge: University Press, 533 p., 2005.

ZIO, E. **An Introduction to the Basics of Reliability and Risk Analysis**, World Scientific Publishing, 2007.

APÊNDICE A – MODELOS DE GESTÃO DE RISCOS

1. COSO (*Committee os Sponsoring Organization*)

O COSO desenvolveu um modelo contendo oito elementos principais para a gestão integrada de riscos:

- e) Ambiente Interno: cultura de controle que envolve a competência técnica e a integridade;
- f) Fixação de objetivos: definição de objetivos estratégicos e como atingí-los;
- g) Identificação de eventos: mapeamento dos riscos à organização;
- h) Avaliação dos riscos: identificação e análise dos riscos associados à operação, sob as perspectivas qualitativas e quantitativas;
- i) Resposta a risco: identificação e avaliação das opções de resposta a risco;
- j) Atividades de controle: atividades para a redução ou administração dos riscos;
- k) Informações e comunicações: fluxo de informações dentro da organização;
- l) Monitoramento: avaliação dos controles internos ao longo do tempo.



Figura A.1– Modelo de Gestão Integrada de Riscos
Fonte: Comitê de Sponsoring Organizations (2004)

2. Norma AS/NZS 4360:2004

Uma norma que serve de referência para as práticas de Gestão de Risco é a AS/NZS 4360:2004. A seguir será descrito um resumo dos elementos que constituem o modelo desta norma, representado na Figura A.2.

O elemento Comunicação e Consulta é parte integrante do processo de gestão de riscos e deve ser considerado de maneira explícita. Ele busca melhorar o entendimento que as pessoas têm dos riscos e do processo de gestão de riscos, garantir que as diversas visões envolvidas sejam levadas em consideração e garantir que todos os participantes estejam cientes de seus papéis e responsabilidades. Na prática, a comunicação e consulta é feita através do desenvolvimento de um processo, que inclui a identificação das partes envolvidas e um plano de comunicação e consulta.

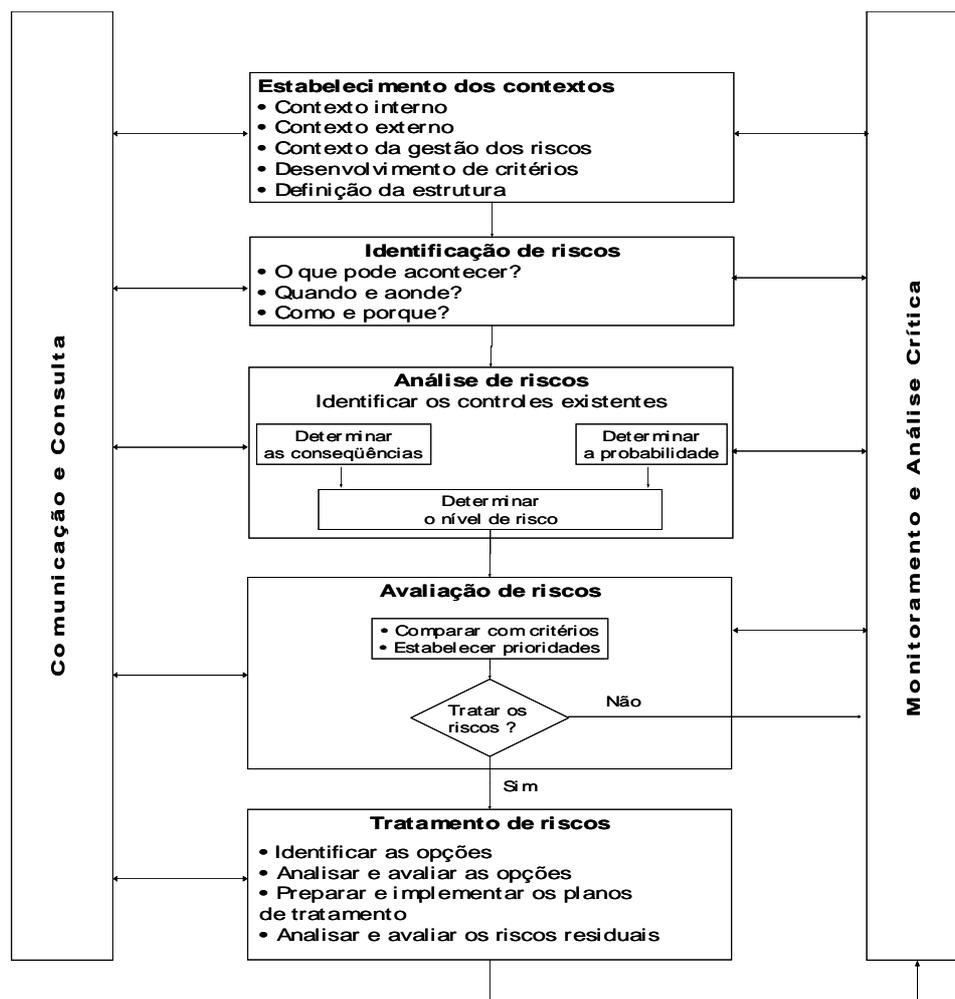


Figura A.2 - Detalhamento do processo de gestão de riscos
Fonte: AS/NZS 4360:2004 (2004). Adaptada pelo autor.

O estabelecimento dos contextos significa entender o histórico da organização e seus riscos, definir o escopo das atividades de gestão de riscos que serão realizadas e desenvolver a estrutura de tarefas de gestão de riscos que serão realizadas. Através desta etapa, é possível estabelecer uma visão abrangente de todos os fatores que podem influenciar na capacidade de organização em atingir os resultados esperados.

Na etapa de identificação de riscos, busca-se desenvolver uma lista abrangente de fontes de riscos ou eventos que podem ter um impacto na execução de cada um dos objetivos identificados nos contextos. A obtenção de informações relevantes é importante na etapa de identificação de riscos. Alguns exemplos incluem: opinião de especialistas, entrevistas estruturadas, discussões dirigidas em grupo e relatórios de ações corretivas.

A etapa de análise de riscos, foco desta dissertação, busca promover o entendimento do nível de risco e de sua natureza. Além do nível absoluto de risco, a análise ajudará a definir prioridades e opções de tratamento dos riscos. A determinação do nível de risco é feita pela combinação das consequências e da probabilidade de ocorrência. As escalas e métodos adequados para tal combinação devem ser compatíveis com os critérios definidos quando os contextos foram estabelecidos. Para uma análise mais técnica, a natureza dos dados e a saída esperada determinam os métodos de análise requeridos. O momento em que a análise é feita pode variar, desde o início de um novo projeto, como parte de gestão contínua ou como um estudo do que pode ocorrer após os riscos terem sido tratados. A norma AS/NZS 4360:2004 apresenta alguns exemplos de escalas de probabilidades e consequências.

Na avaliação de riscos, o objetivo é decidir, a partir da etapa anterior, se o risco necessita tratamento, se alguma determinada atividade deverá ser realizada e quais as prioridades para o tratamento dos riscos. Embora a natureza das decisões que necessitam ser tomadas, assim como os critérios utilizados são definidos ainda na definição do contexto, eles precisam ser revistos nesta etapa, uma vez que agora já se tem mais conhecimento sobre os riscos.

O tratamento de riscos significa identificar uma série de opções para o tratamento desses riscos, avaliar cada uma das opções, elaborar planos para o tratamento dos riscos e implementá-los. O tratamento de riscos individuais raramente ocorrerá isoladamente e deve ser parte de uma estratégia de tratamento global. A compreensão clara da estratégia de tratamento como um todo é importante para garantir que as dependências e ligações críticas não sejam comprometidas. Uma das estratégias para o tratamento do risco é o seu compartilhamento. Compartilhar riscos significa dividir com outra organização, ou mesmo transferir para outra organização o risco, normalmente mediante um contrato. As formas mais comuns de compartilhar riscos são a subcontratação, a terceirização e o seguro.

O monitoramento visa o acompanhamento rotineiro do desempenho real, para que possa ser comparado ao desempenho esperado ou requerido. Já a análise crítica envolve a investigação periódica da situação atual, normalmente com um foco específico.

3. Modelo da FAA (*Federal Aviation Administration*)

Um terceiro modelo pesquisado para a gestão de riscos, específico para riscos operacionais é o modelo prescrito pela FAA (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2000), o qual define como gestão de riscos operacionais uma ferramenta para tomada de decisão que ajuda a identificar os riscos e benefícios de forma sistemática, assim como determinar as melhores ações para uma determinada situação. As fases são similares às definidas pelos modelos anteriores e são descritas a seguir:

- a) Identificar o perigo: um perigo (do inglês, *hazard*) é definido como qualquer situação real ou potencial que pode causar degradação, doenças, morte ou danos a um equipamento ou propriedade (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2000). Basicamente, nesta fase são identificados todos os possíveis riscos.
- b) Avaliar o risco: nesta fase o método prevê a aplicação de medidas qualitativas e quantitativas para determinar qual o risco associado a perigos específicos. Nesta fase então é definido a probabilidade e severidade.
- c) Analisar as medidas de controle do risco: nesta fase são investigadas estratégias e ferramentas específicas para reduzir, mitigar ou eliminar o risco. Todos os riscos possuem três componentes: probabilidade de ocorrência, severidade e o nível de exposição a pessoas e equipamentos aos riscos. A análise feita nesta etapa deve levar em conta os custos totais e os benefícios previstos, oferecendo alternativas para escolha.
- d) Decidir sobre os controles: após identificar o tomador de decisão, ele deverá escolher o melhor controle ou a melhor combinação de controles sobre o risco, de acordo com a análise feita na etapa anterior.
- e) Implementar os controles de risco: planejar e implementar os controles que foram selecionados, provendo os meios necessários.
- f) Supervisionar e revisar: uma vez que os controles estão estabelecidos, o processo deve ser periodicamente reavaliado para garantir a sua eficácia.

APÊNDICE B – FUNÇÕES E ENSAIOS DE CONFIABILIDADE

A) As Funções de Confiabilidade

A partir do comportamento da taxa de falhas de um determinado tipo de sistema pode-se associar distribuições de probabilidades para seu tempo de sobrevivência (VACCARO, 1997).

A função $R(t)$ é a função Confiabilidade, sendo que a letra R é originária do inglês Reliability, que significa Confiabilidade. Como define Vaccaro (1997), a Confiabilidade é uma função que depende de várias variáveis e que associa a cada combinação de seus valores um número, o qual indica a proximidade do estado de funcionamento do produto ao estado de funcionamento real. O autor explica que é comumente aceito, que, em determinadas faixas de condições ambientais e operacionais, a Confiabilidade pode ser expressa apenas como uma função do tempo de operação.

Para uma representação matemática desta função, seja n_0 a quantidade total de produtos, $n_f(t)$ a quantidade de produtos que falharam ao final de cada instante t , e $n_s(t)$ a quantidade de produtos que sobreviveram às condições de operação ao final de cada instante t . Sendo a Confiabilidade o percentual acumulado de produtos que sobreviveram durante certo tempo em relação ao total de produtos, obtém-se a seguinte expressão matemática para a função Confiabilidade:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_0}, \quad t \geq 0$$

Esta função pode ser representada através da Figura B.1.

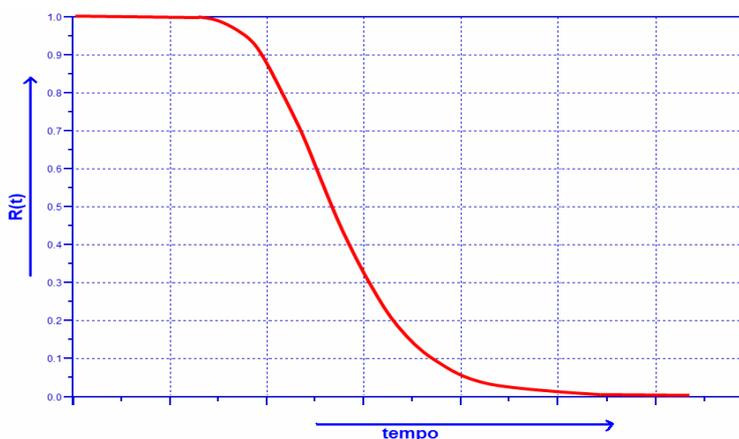


Figura B.1 – Função Confiabilidade
Fonte: Elaborada pelo autor.

A expressão anterior pode ser re-escrita, uma vez que a soma de unidades operacionais e que falharam é sempre constante (VACCARO, 1997):

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_o} = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t) + n_f(t) - n_f(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = 1 - \frac{n_f(t)}{n_o}, \quad t \geq 0$$

Já o percentual acumulado de falhas é chamado de Função Distribuição Acumulada de Falhas, $F(t)$ é dado por:

$$F(t) = \frac{n_f(t)}{n_o}, \quad t \geq 0$$

Combinando as expressões anteriores obtém-se:

$$R(t) = 1 - F(t), \quad t \geq 0$$

$$f(t) = \frac{dF}{dt}(t), \quad t \geq 0$$

B) Distribuições Probabilísticas de Tempos até Falha

Uma distribuição estatística representa um modelo probabilístico para algum acontecimento físico que se repete na natureza (VACCARO, 1997). Fogliatto e Ribeiro (2009), citam que existem quatro distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até falha de componentes e sistemas: exponencial, Weibull, Gama e Lognormal. Os mesmos autores mencionam que a distribuição normal, possui pouca aplicabilidade em estudos de confiabilidade.

Considerando que a distribuição de Weibull é versátil a ponto de poder representar a distribuição exponencial, que a distribuição Gama é uma generalização da distribuição de Weibull e que a distribuição lognormal é mais aplicável para produtos reparáveis (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009), e também considerando o foco deste trabalho, decidiu-se optar em descrever apenas a distribuição de Weibull, conforme a seguir.

A distribuição de Weibull consegue modelar sistemas com taxas de falha decrescentes, constantes e crescentes, dependendo do valor do parâmetro de forma ou escala chamado de Beta (β):

- a) $\beta < 1$: se o parâmetro Beta for menor que 1 a taxa de falha será decrescente. O que modela produtos na região de mortalidade infantil;
- b) $\beta = 1$: se o parâmetro Beta for igual a 1 a taxa de falha será constante. A distribuição será de acordo com a exponencial;
- c) $\beta > 1$: se o parâmetro Beta for maior que 1 a taxa de falha será crescente. O que modela produtos na região de falhas por degradação.

Pela sua flexibilidade, a distribuição de Weibull é a mais famosa das distribuições, porém nem sempre ela será o melhor modelo. Por exemplo, se quisermos modelar um sistema que possui as três características de taxa de falha, possuindo uma curva de taxa de falha realmente parecida com uma banheira, a distribuição de Weibull, como a conhecemos, não poderá modelar esse sistema adequadamente. Uma solução para essa situação é utilizar a chamada Weibull mista. As dificuldades práticas em modelar um sistema utilizando a distribuição Weibull, e ainda mais a Weibull mista, tem sido bastante eliminadas nos últimos anos pela utilização de softwares de confiabilidade.

A função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull é dada em função da variável aleatória t e dos parâmetros β e η ,

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, \text{ onde :}$$

$\beta = \text{Fator de Forma}$

$\eta = \text{Fator de Escala}$

C) Ensaios de Demonstração da Confiabilidade

Durante o projeto de um novo produto, uma prática bastante comum é a realização de ensaios de verificação e validação, ou também chamados de ensaios de demonstração da confiabilidade (HNATEK, 2003).

Ensaios de demonstração da confiabilidade são os testes utilizados para comprovar que o produto apresenta um determinado nível mínimo de Confiabilidade “R”. São utilizados para a aprovação de novos produtos, para a aprovação de modificações em produtos e também como ensaios de homologação periódica. Em todos os casos, os cálculos apresentados neste item são deduzidos a partir da premissa de que não ocorreu nenhuma falha durante o teste.

Os seguintes parâmetros devem ser definidos para a determinação do ensaio:

R: nível de Confiabilidade mínimo que o ensaio deverá garantir;

C: nível de confiança estatística;

n: quantidade de amostras do ensaio;

Além desses parâmetros, pode ser bastante útil conhecer a distribuição prevista de defeitos, caso já existam dados suficientes de falhas dos produtos a partir de ensaios feitos anteriormente. A distribuição de Weibull é a mais utilizada, tendo em vista a sua versatilidade. Esses parâmetros adicionais poderão auxiliar na determinação de condições alternativas de teste, como a redução do número de amostras de acordo com a disponibilidade de equipamento.

O objetivo do ensaio de homologação inicial do produto é demonstrar (comprovar estatisticamente) que ele atende determinado requisito de Confiabilidade. Basicamente, são submetidos a um determinado teste, n produtos, por um tempo t . A quantidade k de falhas determina o nível de Confiabilidade mínimo R do produto.

A distribuição estatística utilizada para modelar a probabilidade de encontrar falhas em algum dos produtos amostrados é a distribuição binomial, conforme a seguir:

$$f(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k} \quad (1)$$

p = taxa estimada de falhas no lote, onde:

$f(k)$ = probabilidade de se encontrar k peças defeituosas e $(n-k)$ peças sem defeitos;

n =quantidade de amostras;

Uma vez que a Confiabilidade R do produto é dada por $R=1-p$, então:

$$f(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} (1-R)^k (R)^{n-k} \quad (2)$$

Para os ensaios onde através de nenhuma falha encontrada pretende-se demonstrar a Confiabilidade do produto:

$$k=0, \text{ então: } f(0) = R^n$$

Uma vez que o nível de confiança C é dado por $1 - f(k)$, então:

$$C = 1 - R^n$$

$$1 - C = R^n$$

$$\ln(1 - C) = \ln(R^n)$$

$$n = \frac{\ln(1 - C)}{\ln R}$$

Então, a partir da equação anterior, define-se a quantidade de amostras necessária para demonstrar a confiabilidade R com um nível de confiança C (se nenhuma peça falhar no teste).

Em algumas situações a confiabilidade do produto já foi modelada por Weibull, conhecendo-se o fator de forma β e o fator de escala η . Nesses casos, é possível determinar a quantidade de amostras n, a partir do tempo t que se deseja testar.

A partir da função de confiabilidade de dois parâmetros de Weibull:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Onde t=tempo de uso, β = fator de forma, η = fator de escala, então:

$$n(t) = \frac{\ln(1 - C)}{\ln\left(e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}\right)}$$

$$n(t) = \frac{\ln(1 - C)}{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]}$$

onde nesse caso t é o tempo de teste.

Nos casos onde os fatores de forma e de escala não são conhecidos, mas existe conhecimento sobre o número de amostras n e o tempo t para determinação de confiabilidade, é possível encontrar novos valores de n para novos valores de t . Isso permite adaptar o tempo de teste à quantidade de amostras que for viável submeter a teste.

Se n_1 = quantidade de amostras utilizada para o ensaio em tempo t_1 , e n_2 = quantidade de amostras utilizada para o ensaio em tempo t_2 :

$$n_1 = \frac{\ln(1-C)}{\left[-\left(\frac{t_1}{\eta}\right)^\beta\right]}; \quad n_2 = \frac{\ln(1-C)}{\left[-\left(\frac{t_2}{\eta}\right)^\beta\right]};$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\left[-\left(\frac{t_1}{\eta}\right)^\beta\right]}{\left[-\left(\frac{t_2}{\eta}\right)^\beta\right]} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^\beta;$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^\beta$$

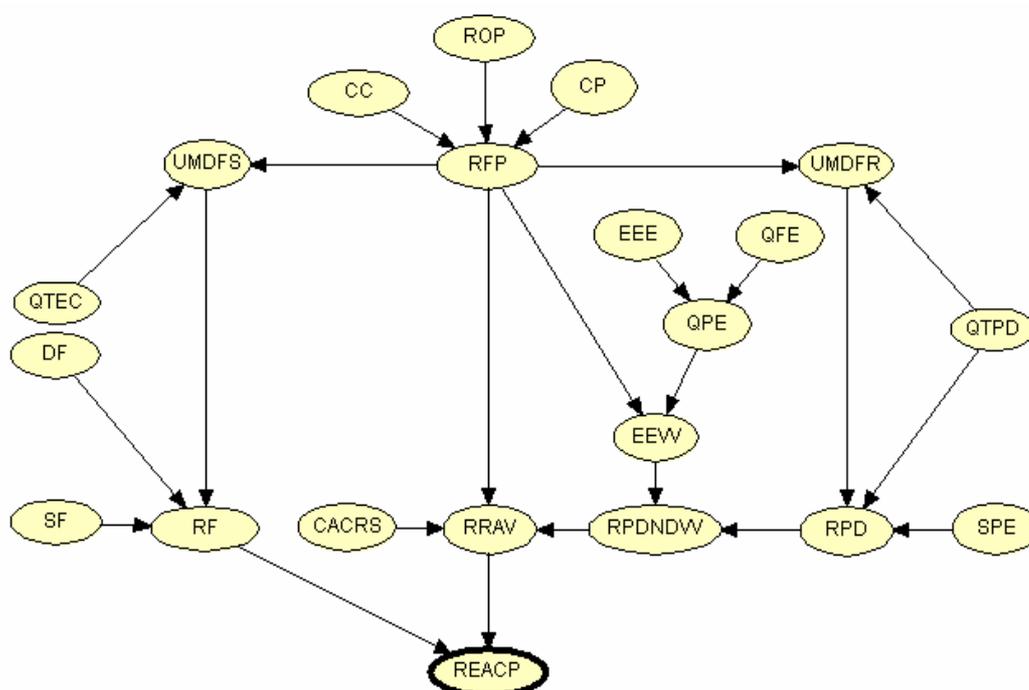
Essa é a conhecida *Lipson Equality* (Kleyner; Sandborn, 2008), válida quando o número k de falhas do teste é nulo.

APÊNDICE D– RESUMO DO MODELO

Modelo para Avaliação de Riscos no Projeto de Novos Produtos Eletrônicos – rev.0

Visão Geral

- Este documento apresenta um modelo inicial contendo as principais variáveis relacionadas com a ocorrência de falhas epidêmicas no campo em produtos eletrônicos. O foco é as atividades com maior impacto durante a fase de projeto do produto.
- Este modelo contém as principais relações de causa e efeito entre as variáveis e foi construído baseando-se em pesquisas similares e entrevistas com especialistas da indústria eletrônica. A idéia é que esse modelo seja parte de uma ferramenta para verificar se o nível de risco está acima do limite previamente estabelecido para a fase PDP correspondente.
- No escopo: projeto do produto, testes de verificação e validação, engenharia de componentes e definição de fornecedores.
- Fora do escopo: falhas relacionadas à manufatura, falhas causadas pelo uso inadequado do produto na aplicação.



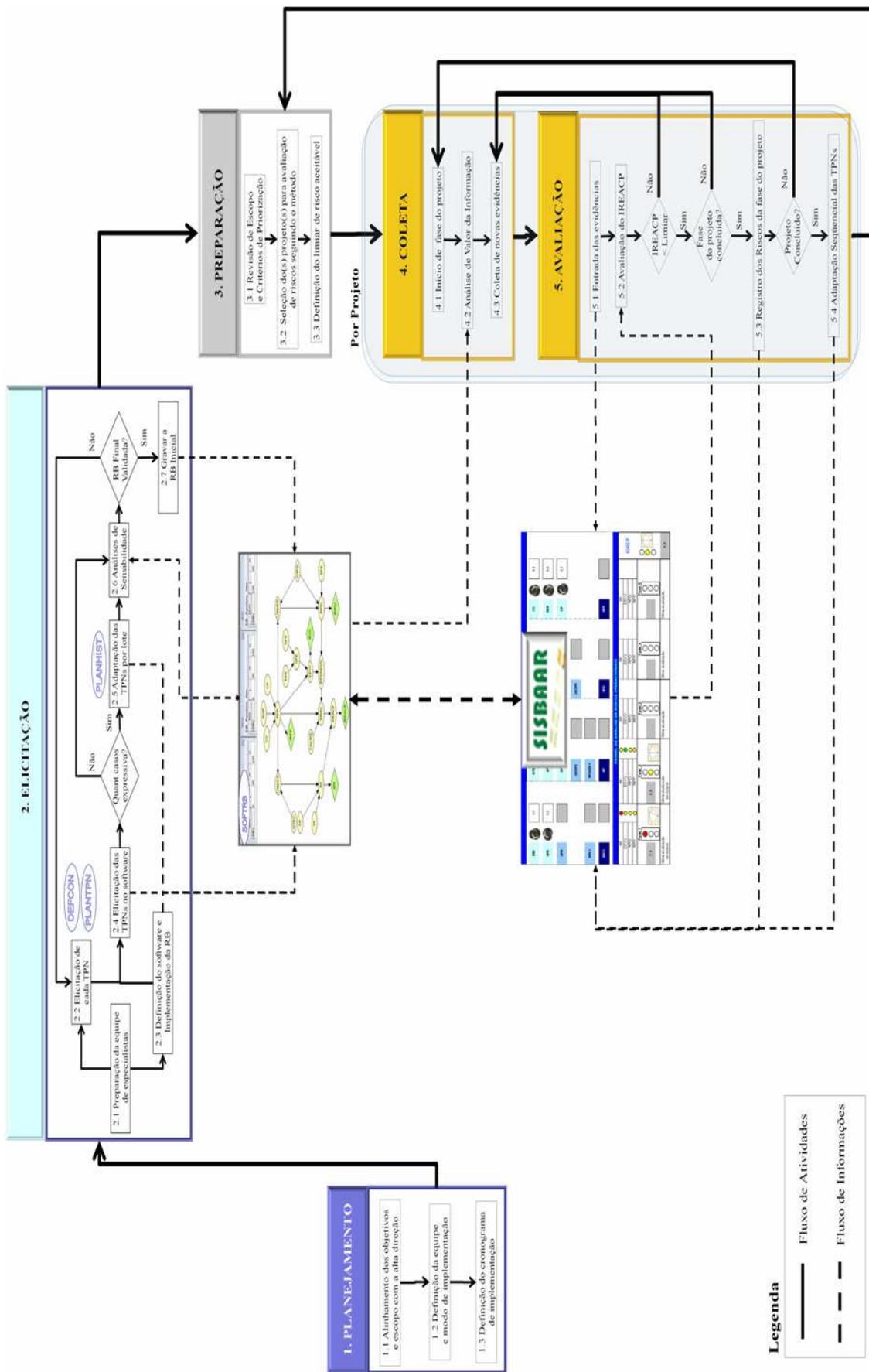
Na figura anterior é mostrada a relação entre as variáveis do modelo. Os nós são as variáveis e os arcos representam as relações causais (exemplo: REACP é causado por RF e RRAV).

Na próxima página todas as variáveis estão listas, juntamente com uma breve descrição dela e os “nós causais” de acordo com a figura.

LISTA DE VARIÁVEIS DO MODELO

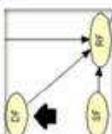
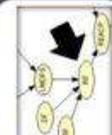
Sigla	Breve descrição	Nós Causais		
REACP	Risco de falhas epidêmicas em campo	RF	RRAV	-
RF	Risco de Fornecimento – falhas causadas pelo fornecimento	SF	DF	UMDFS
SF	Similaridade de fornecimento dos componentes que estão previstos para o projeto em relação a componentes já fornecidos.	-	-	-
DF	Desempenho dos fornecedores em fornecerem componentes com o nível de confiabilidade especificado.	-	-	-
UMDFS	Utilização de métodos de “Design for Supply”, como a definição de mais de uma fonte de fornecimento, atividades de engenharia de componentes, etc.	QTEC	RFP	
QTEC	Qualidade do time de engenharia de componentes e compras (profissionais que executam tarefas relacionadas com a engenharia de componentes)	-	-	-
RFP	Restrições durante a fase de projeto	CC	ROP	CP
CC	Compressão do cronograma	-	-	-
ROP	Restrições do orçamento	-	-	-
CP	Complexidade do produto	-	-	-
RRAV	Riscos remanescentes após a validação do produto	CACRS	RPDNDVV	RFP
CACRS	Capacidade da organização em realizar análises de causa-raiz e solucionar problemas.	-	-	-
RPDNDVV	Riscos relacionados a um projeto de produto não adequado e que não é detectado em ensaios de validação.	EEVV	RPD	-
EEVV	Eficácia dos ensaios de verificação e validação	QPE	RFP	-
QPE	Qualidade dos processos de verificação e validação	EEE	QFE	-
EEE	Experiência e conhecimento do time de verificação e validação de produto	-	-	-
QFE	Qualidade dos processos de verificação e validação de produto	-	-	-
RPD	Riscos relacionados a um produto mal projetado	UMDFR	QTPD	SPE
UMDFR	Utilização de métodos de “Design for Reliability”	QTPD	RFP	-
QTPD	Experiência e conhecimentos do time de projeto do produto	-	-	-
SPE	Similaridade entre o produto em desenvolvimento com produtos existentes	-	-	-

APÊNDICE E – FLUXOGRAMA DO MÉTODO PROPOSTO



APÊNDICE F – DETALHAMENTO DO ARTEFATO DEFCON

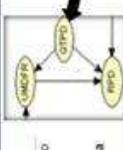
• Construtos DF e RF

DF	RF
<p>DESEMPENHO DOS FORNECEDORES</p> <p>Representa a probabilidade de que os componentes fornecidos para o produto atendam os requisitos de desempenho em campo. Está relacionado com a capacidade do fornecedor em enviar componentes de acordo com as especificações relacionadas com a confiabilidade do produto.</p> <p>Exceção: componentes cuja falha poderá resultar em epidemias.</p> 	<p>RISCO DE FORNECIMENTO</p> <p>Indica o nível de risco associado a falhas epidêmicas no produto, originárias de queda no desempenho dos componentes, em relação ao que foi especificado. Além de depender dos fornecedores após o lançamento do projeto, depende de decisões durante o projeto.</p> <p>Exceção: componentes cuja falha poderá resultar em epidemias.</p> 
Fase do Projeto	
<p>1 Evidência não é possível. Alto nível de incertezas na avaliação.</p>	<p>1 O resultado dessa variável é definido pelas suas entradas: SF, DF e UMDPFS. Não deve ser assinalado um nível. Na Fase 1 do projeto o nível de risco é o <i>default</i> para todos os projetos.</p>
<p>2 É possível assinalar um nível, caso já existam evidências de quais fornecedores serão utilizados no projeto.</p>	<p>2 O resultado dessa variável é definido pelas suas entradas: SF, DF e UMDPFS. Não deve ser assinalado um nível.</p>
<p>3 É possível assinalar um nível, caso já existam evidências de quais fornecedores serão utilizados no projeto.</p>	<p>3 O resultado dessa variável é definido pelas suas entradas: SF, DF e UMDPFS. Não deve ser assinalado um nível.</p>
<p>4 Deve ser assinalado um nível, a partir da definição dos fornecedores previstos para a BOM do produto. Revisar frente a modificações no projeto desde a Fase 3.</p>	<p>4 O resultado dessa variável é definido pelas suas entradas: SF, DF e UMDPFS. Não deve ser assinalado um nível.</p>
<p>5 Deve ser assinalado um nível, a partir da definição dos fornecedores previstos para a BOM do produto. Revisar frente a modificações no projeto desde a Fase 3.</p>	<p>5 O resultado dessa variável é definido pelas suas entradas: SF, DF e UMDPFS. Não deve ser assinalado um nível.</p>
Nível	
<p>H</p> <p>De acordo com as definições atuais do projeto, todos os fornecedores escolhidos possuem alta capacidade em fornecer componentes que atendam os requisitos de confiabilidade do produto, baseando-se no histórico dos projetos anteriores. Não são previstos utilizar fornecedores que possuam histórico dividido. Os fornecedores possuem Sistema de Qualidade que atendem bem os requisitos da empresa. No caso de ter sido realizada uma auditoria no fornecedor, o último resultado deve ser satisfatório.</p>	<p>De acordo com as definições atuais do projeto, existe um alto risco de falhas epidêmicas levando em conta os fornecedores previstos para cada componente do projeto.</p>
<p>M</p> <p>De acordo com as definições atuais do projeto, os fornecedores escolhidos possuem média capacidade em fornecer componentes que atendam os requisitos de confiabilidade do produto, baseando-se no histórico dos projetos anteriores. Podem ser utilizados fornecedores que possuam histórico ruim, desde que as ações tomadas tenham se mostrado eficazes. Os fornecedores possuem Sistema de Qualidade que atendem os requisitos mínimos da empresa. No caso de ter sido realizada uma auditoria no fornecedor, o último resultado deve ser satisfatório, ou caso insatisfatório, as não-conformidades verificadas não foram críticas.</p>	<p>De acordo com as definições atuais do projeto, existe um médio risco de falhas epidêmicas levando em conta os fornecedores previstos para cada componente do projeto.</p>
<p>L</p> <p>De acordo com as definições atuais do projeto, existe pelo menos um fornecedor escolhido com baixa capacidade em fornecer componentes que atendam os requisitos de confiabilidade do produto, baseando-se no histórico dos projetos anteriores ou mesmo por ser um fornecedor novo e com reputação desconhecida. O histórico e/ou reputação de pelo menos um fornecedor é ruim. O Sistema de Qualidade de pelo menos um fornecedor não atende os requisitos mínimos da empresa. Pelo menos um fornecedor teve histórico ruim em auditorias, e existem ações ainda em aberto que colocam em risco o desempenho do produto.</p>	<p>De acordo com as definições atuais do projeto, existe um baixo risco de falhas epidêmicas levando em conta os fornecedores previstos para cada componente do projeto.</p>

• Construtos SF e UMDFS

SF	UMDFS
<p>SIMILARIDADE DE FORNECIMENTO</p> <p>Indica, o quanto os componentes previstos no projeto são similares aos atualmente fornecidos para a empresa e pelos fornecedores previamente definidos.</p> <p>Escopo: componentes cuja falha poderá resultar em epidemias.</p>	<p>UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE DESIGN FOR SUPPLY</p> <p>Representa o quanto de fato as boas práticas de Design for Supply são utilizadas no projeto.</p> <p>Escopo: componentes cuja falha poderá resultar em epidemias.</p>
<p>Fase do Projeto</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="470 577 534 750">Evidência não é possível. Alto nível de incertezas na avaliação. <li data-bbox="534 577 598 750">É possível assinalar um nível, caso já existam evidências de quais componentes serão utilizados no projeto. <li data-bbox="598 577 662 750">A partir dessa fase deve ser assinalado um nível, a partir da definição da BOM do prevista para o produto. <li data-bbox="662 577 726 750">Deve ser assinalado um nível, a partir da definição da BOM do prevista para o produto. Revisar frente a modificações no projeto desde a Fase 3. <li data-bbox="726 577 790 750">Deve ser assinalado um nível, a partir da definição da BOM do prevista para o produto. Revisar frente a modificações no projeto desde a Fase 3. <p>Nível</p> <p>H</p> <p>M</p> <p>L</p>	<p>Fase do Projeto</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="470 577 534 750">O resultado dessa variável é definido pelas suas entradas QTEC e RFP. Não deve ser assinalado um nível. Na Fase 1 do projeto o nível de risco pode ser impactado apenas pela variável RFP. <li data-bbox="534 577 598 750">O resultado dessa variável é definido pelas suas entradas QTEC E RFP. Não deve ser assinalado um nível. <li data-bbox="598 577 662 750">Pode ser assinalado um nível, caso existam fortes evidências sobre a utilização de técnicas de DFS. <li data-bbox="662 577 726 750">Pode ser assinalado um nível, caso existam fortes evidências sobre a utilização de técnicas de DFS. <li data-bbox="726 577 790 750">Pode ser assinalado um nível, caso existam fortes evidências sobre a utilização de técnicas de DFS. <p>Nível</p> <p>H</p> <p>M</p> <p>L</p>
<p>De acordo com as definições atuais do projeto, existe um alto grau de similaridade entre os componentes que serão utilizados no projeto e os já utilizados para outros produtos. Além disso, caso já sejam conhecidos os fornecedores previstos, todos já possuem experiência no fornecimento dos itens previstos. Não é previsto utilizar componentes eletrônicos de novas tecnologias, nem componentes que não alcançaram maturidade na aplicação (mais de 3 anos de histórico de aplicação).</p>	<p>De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe que define os partnumbers e fornecedores é faz intenso uso de métodos de DFS, utilizando nem sempre técnicas de Design for Sourcing, nem sempre buscando escolher partnumbers com menor chance de vir em a ficar obsoletos em pouco tempo, definindo mais do que uma opção de fornecimento pelo menos para os itens mais críticos, demonstrando alto conhecimento sobre a cadeia de suprimentos.</p>
<p>De acordo com as definições atuais do projeto, existe um médio grau de similaridade entre os componentes que serão utilizados no projeto e os já utilizados para outros produtos, ou, caso já sejam conhecidos os fornecedores previstos, algum deles não possui experiência no fornecimento dos itens previstos. Existe a previsão de utilizar pelo menos um componente eletrônico de novas tecnologias, ou pelo menos um componente que não alcançou maturidade razoável na aplicação (menos de 1 ano de histórico de aplicação).</p>	<p>De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe que define os partnumbers e fornecedores faz médio uso métodos de DFS, utilizando nem sempre técnicas de Design for Sourcing, nem sempre buscando escolher partnumbers com menor chance de vir em a ficar obsoletos em pouco tempo, poucas vezes ou nunca definindo mais do que uma opção de fornecimento pelo menos para os itens mais críticos, demonstrando baixo conhecimento sobre a cadeia de suprimentos.</p>
<p>De acordo com as definições atuais do projeto, existe um baixo grau de similaridade entre os componentes que serão utilizados no projeto e os já utilizados para outros produtos, ou, caso já sejam conhecidos os fornecedores previstos, algum deles não possui experiência no fornecimento dos itens previstos. Existe a previsão de utilizar pelo menos um componente eletrônico de novas tecnologias, ou pelo menos um componente que não alcançou maturidade razoável na aplicação (menos de 1 ano de histórico de aplicação).</p>	<p>De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe que define os partnumbers e fornecedores faz baixo uso métodos de DFS, poucas vezes ou nunca utilizando técnicas de Design for Sourcing, poucas vezes ou nunca buscando escolher partnumbers com menor chance de vir em a ficar obsoletos em pouco tempo, poucas vezes ou nunca definindo mais do que uma opção de fornecimento pelo menos para os itens mais críticos, demonstrando baixo conhecimento sobre a cadeia de suprimentos.</p>

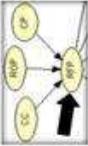
• Construtos QTEC e QTPD

<p>QTEC</p> <p>QUALIDADE DO TIME DE ENG. COMPONENTES E COMPRAS Representa a capacidade técnica dos responsáveis pela definição de quais <i>partnumbers</i> específicos e quais fornecedores de componentes devem ser utilizados para o projeto. Escopo: componentes cuja falha poderá resultar em epidemias.</p> 	<p>QTPD</p> <p>QUALIDADE DO TIME DE P&D Representa o nível de qualidade da equipe responsável pelo Design do produto. Escopo: funções do produto alguma relação no desempenho do mesmo na aplicação.</p> 
Fase do Projeto	
<p>1 Evidência não é possível. Alto nível de incertezas na avaliação.</p>	<p>1 Evidência não é possível. Alto nível de incertezas na avaliação.</p>
<p>2 É possível assinalar um nível, caso já tenha sido designada a equipe que irá trabalhar nas definições.</p>	<p>2 É possível assinalar um nível, caso já existam evidências de quais engenheiros irão desenvolver o produto.</p>
<p>3 A partir dessa fase deve ser assinalado um nível, a partir da avaliação da equipe designada para a definição dos <i>partnumbers</i> e fornecedores.</p>	<p>3 Deve ser assinalado um nível, a partir da definição de quais engenheiros estão desenvolvendo o produto.</p>
<p>4 Deve ser assinalado um nível, a partir da definição das fases anteriores ou caso tenha sido modificada a equipe designada para a definição dos <i>partnumbers</i> e fornecedores.</p>	<p>4 Deve ser assinalado um nível, a partir da definição de quais engenheiros estão desenvolvendo o produto.</p>
<p>5 Deve ser assinalado um nível, a partir da definição das fases anteriores.</p>	<p>5 Deve ser assinalado um nível, a partir da definição de quais engenheiros desenvolveram o produto.</p>
Nível	
<p>H De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe que define os <i>partnumbers</i> e fornecedores é altamente capacitada. Sabendo utilizar técnicas de <i>Design for Sourcing</i>, sabendo escolher <i>partnumbers</i> com menor chance de serem a ficar obsoletos em pouco tempo, sabendo definir mais do que uma opção de fornecimento pelo menos para os itens mais críticos e demonstrando alto conhecimento sobre a cadeia de suprimentos.</p>	<p>H De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe de P&D possui alto nível de qualidade, demonstrando grande experiência e conhecimento nos tipos de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> projetados. O histórico de produtos lançados nos quais a equipe de P&D participou, no que dependeu da capacidade técnica deles, não resultou em problemas de projeto.</p>
<p>M De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe que define os <i>partnumbers</i> e fornecedores tem média capacidade. Demonstrando saber usar razoavelmente as técnicas de <i>Design for Sourcing</i>, nem sempre buscando escolher <i>partnumbers</i> com menor chance de serem a ficar obsoletos em pouco tempo, nem sempre definindo mais do que uma opção de fornecimento pelo menos para os itens mais críticos e demonstrando médio conhecimento sobre a cadeia de suprimentos.</p>	<p>M De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe de P&D possui médio nível de qualidade, demonstrando razoável experiência e conhecimento nos tipos de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> projetados. O histórico de produtos lançados nos quais a equipe de P&D participou, no que dependeu da capacidade técnica deles, não resultou em problemas de projeto ou teve poucos problemas.</p>
<p>L De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe que define os <i>partnumbers</i> e fornecedores tem baixo nível de capacidade, demonstrando não conhecer técnicas de <i>Design for Sourcing</i>, poucas vezes ou nunca buscando escolher <i>partnumbers</i> com menor chance de serem a ficar obsoletos em pouco tempo, poucas vezes ou nunca definindo mais do que uma opção de fornecimento pelo menos para os itens mais críticos e demonstrando baixo conhecimento sobre a cadeia de suprimentos.</p>	<p>L De acordo com as definições atuais do projeto, a equipe de P&D possui baixo nível de qualidade, demonstrando pouca experiência e conhecimento nos tipos de <i>softwares</i> e <i>hardwares</i> projetados. O histórico de produtos lançados nos quais a equipe de P&D participou, no que dependeu da capacidade técnica deles, resultou em problemas de projeto.</p>

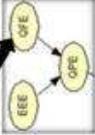
• Construtos CC e CP

<p>COMPLEXIDADE DO PRODUTO</p> <p>nível de complexidade do produto, do ponto de vista da quantidade de funções exigidas e da quantidade de componentes.</p> 	<p>Fase do Projeto</p>	<p>o nível, porém com cautela. Para assinalar um nível nessa fase é necessária uma avaliação das técnicas do cliente e ficar bem claras as demandas de software e hardware.</p>	<p>deve ser assinalado um nível, a partir da análise, pela Engenharia de Produto, das demandas e determinação das demandas de software e hardware.</p>	<p>deve ser assinalado um nível, a partir da análise, pela Engenharia de Produto, das demandas e determinação das demandas de software e hardware.</p>	<p>o nível, a partir da revisão, pela Engenharia de Produto, das especificações do produto e das demandas de software e hardware.</p>	<p>o nível, a partir da revisão, pela Engenharia de Produto, das especificações do produto e das demandas de software e hardware.</p>	<p>Nível</p>	<p>especificações atuais do projeto, existe um alto nível de complexidade do produto. Existe uma quantidade elevada de funções exigidas, comparativamente com outros produtos projetados anteriormente, com uma quantidade elevada de componentes no produto. Além disso, pode ser necessário que o projeto tenha muitas linhas de código, comparativamente com projetos anteriores.</p>	<p>especificações atuais do projeto, existe um médio nível de complexidade do produto. Existe uma quantidade similar de funções exigidas, comparativamente com outros produtos projetados anteriormente, com uma quantidade média de componentes no produto. Além disso, o software deverá ter muitas linhas de código, comparativamente com projetos anteriores.</p>	<p>especificações atuais do projeto, existe um baixo nível de complexidade do produto. Existe uma quantidade baixa de funções exigidas, comparativamente com outros produtos projetados anteriormente, com uma quantidade baixa de componentes no produto. Além disso, o software deverá ter poucas linhas de código, comparativamente com projetos anteriores.</p>
--	-------------------------------	---	--	--	---	---	---------------------	---	--	--

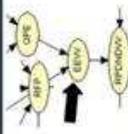
• Construtos ROP e RFP

<p>FASES NAS FASES DO PROJETO</p> <p>No nível de restrições durante as fases do projeto, que impactam diretamente na execução das atividades.</p> <p>atividades críticas do projeto, com alguma relação com o produto na aplicação.</p> 
<p>Fase do Projeto</p>
<p>Nível é definido pelas suas entradas: CC, ROP e CF. Não deve ser assinalado um nível. O nível de risco é o default para todos os projetos.</p>
<p>Nível é definido pelas suas entradas: CC, ROP e CC. Não deve ser assinalado um nível.</p>
<p>Nível é definido pelas suas entradas: CC, ROP e CC. Não deve ser assinalado um nível.</p>
<p>Nível é definido pelas suas entradas: CC, ROP e CC. Não deve ser assinalado um nível.</p>
<p>Nível é definido pelas suas entradas: CC, ROP e CC. Não deve ser assinalado um nível.</p>
<p>Nível</p>
<p>Definições atuais do projeto, existe um alto nível de restrições na respectiva fase do projeto, por nível de execução das atividades do projeto.</p>
<p>Definições atuais do projeto, existe um nível médio de restrições na respectiva fase do projeto, por nível de execução das atividades do projeto.</p>
<p>Definições atuais do projeto, existe um nível baixo de restrições na respectiva fase do projeto, por nível de execução das atividades do projeto.</p>

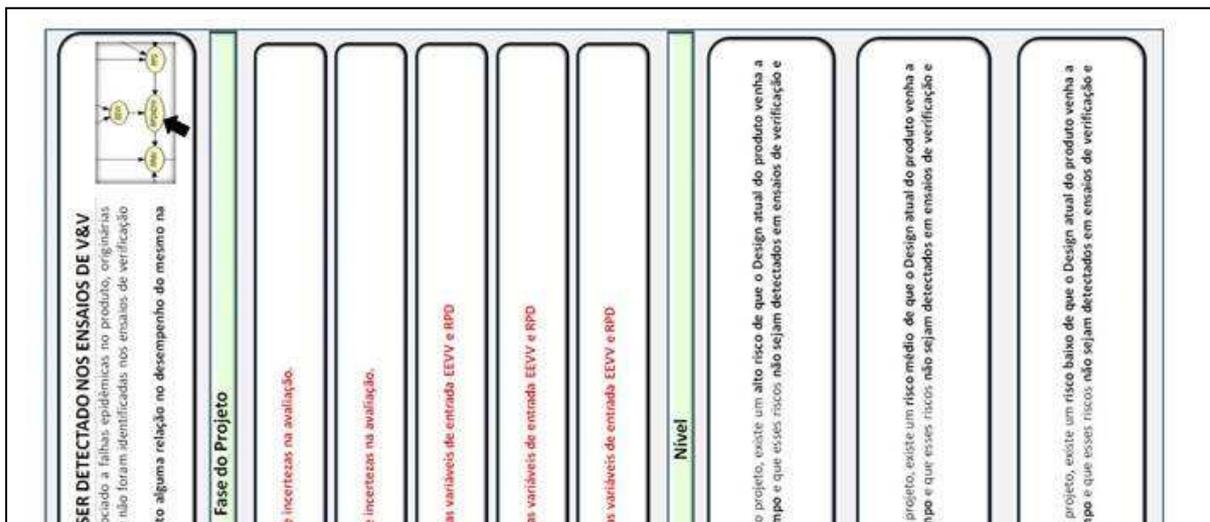
- Construtos EEE e QFE

<p>DAS FERRAMENTAS DE ENSAIO</p> <p>qualidade dos equipamentos e dispositivos utilizados para calibração e validação dos produtos.</p> 
<p>Fase do Projeto</p>
<p><i>ncia. Alto nível de incertezas na avaliação.</i></p>
<p><i>ncia. Alto nível de incertezas na avaliação.</i></p>
<p>vel), a partir da definição de quais equipamentos serão utilizados para verificar o</p>
<p>vel), a partir da definição de quais equipamentos serão utilizados para validar o</p>
<p>vel), a partir da definição de quais equipamentos foram utilizados para verificar e</p>
<p>Nível</p>
<p>os atuais do projeto, os equipamentos, dispositivos e instalações utilizadas possuem. Os laboratórios utilizados são certificados (ou certificados) pela norma ISO 17025, e laboratório. Os ensaios possuem o monitoramento constante do desempenho do equipamento e registrar qualquer anomalia. Os equipamentos utilizados são devidamente especificações do ensaio.</p>
<p>os atuais do projeto, os equipamentos, dispositivos e instalações utilizadas possuem. Os laboratórios utilizados atendem várias boas práticas de laboratório. Os ensaios possuem o monitoramento constante do desempenho do produto. Os equipamentos utilizados para cumprir as especificações do ensaio.</p>
<p>os atuais do projeto, os equipamentos, dispositivos e instalações utilizadas possuem. Os laboratórios utilizados atendem poucas boas práticas de laboratório. Os ensaios possuem o monitoramento do produto. Os equipamentos utilizados são mantidos de acordo com as especificações do ensaio.</p>

• Construtos QPE e EEVV

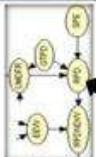
<p>TESTES DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO</p>  <p>Os resultados dos ensaios de verificação e validação em detectar falhas podem variar e resultar em falhas epidémicas.</p>
<p>Fase do Projeto</p>
<p>Nível de incertezas na avaliação.</p>
<p>Nível de incertezas na avaliação.</p>
<p>Nível de incertezas na avaliação.</p>
<p>Partir de cálculos dos parâmetros de ensaio de validação utilizados.</p>
<p>Partir de cálculos dos parâmetros de ensaio de validação utilizados.</p>
<p>Nível</p>
<p>Para o projeto, a verificação e validação do projeto possui nível de eficácia alto, que podem vir a representar epidemia em campo, possuem uma alta quantidade de amostras, tempo de ensaio, fator de aceleração, etc)</p>
<p>Para o projeto, a verificação e validação do projeto possui nível médio de eficácia médio, que podem vir a representar epidemia em campo, possuem uma quantidade de amostras, tempo de ensaio, fator de aceleração, etc)</p>
<p>Para o projeto, a verificação e validação do projeto possui nível baixo de eficácia baixo, que podem vir a representar epidemia em campo, possuem uma quantidade de amostras, tempo de ensaio, fator de aceleração, etc)</p>

- Construtos CACRS e RPDNDVV

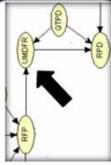


]

• **Construtos SPE e RPD**

 <p>a falhas epistêmicas no produto, originárias das especificações, uma relação no desempenho do mesmo na</p>	<p>do Projeto</p>	<p>tezas na avaliação.</p>	<p>tezas na avaliação.</p>	<p>evidência clara de problemas técnicos no Design do produto.</p>	<p>evidência clara de problemas técnicos no Design do produto.</p>	<p>evidência clara de problemas técnicos no Design do produto.</p>	<p>Nível</p>	<p>to, existe um alto risco de que o Design atual do produto venha a 2. DEMEA, ou EMECA, caso existentes, indicam pelo menos um modo de falha que não seja falhas em campo.</p>	<p>to, existe um risco médio de que o Design atual do produto venha a 2. DEMEA, ou EMECA, caso existentes, indica pelo menos um modo de falha, cuja implicação pode ser falhas em campo.</p>	<p>to, existe um risco baixo de que o Design atual do produto venha a 2. DEMEA, ou EMECA, caso existentes, indica todos modos de falha</p>
---	--------------------------	----------------------------	----------------------------	--	--	--	---------------------	---	--	--

• **Construtos RRAV e UMDFR**

 <p>MÉTODOS DE DESIGN FOR RELIABILITY de projeto de fato considerou boas práticas de DFR uto alguma relação no desempenho do mesmo na</p>	<p>Fase do Projeto</p>	<p>de incertezas na avaliação.</p>	<p>pelas suas entradas RFP e QTPD. Não deve ser assinalado um nível.</p>	<p>existam fortes evidências sobre a utilização de técnicas de DFR.</p>	<p>existam fortes evidências sobre a utilização de técnicas de DFR.</p>	<p>existam fortes evidências sobre a utilização de técnicas de DFR.</p>	<p>Nível</p>	<p>do projeto, a equipe de projeto faz intenso uso de métodos de DFR, com o ndo aplicável), cálculos de stress x strength e uso de técnicas de derating de</p>	<p>mais do projeto, a equipe de projeto faz médio de métodos de DFR, putacional quando aplicável), cálculos de stress x strength e uso de técnicas</p>	<p>do projeto, a equipe de projeto faz baixo ou nenhum uso de métodos de nal), cálculos de stress x strength e uso de técnicas de derating de</p>
---	-------------------------------	------------------------------------	--	---	---	---	---------------------	---	---	--

APÊNDICE H – ARTEFATO PLANHIST

Nome do Projeto / Data de Conclusão			
Construto	Nível (selecionar 1 deles no caso de evidência)	Justificativa	
REACP	L		
	M		
	H		
1. RF	L		
	M		
	H		
1.1 DF	L		
	M		
	H		
1.2 SF	L		
	M		
	H		
	L		
	M		
	H		

APÊNDICE I – DESCRIÇÃO DO ARTEFATO SISBAAR

O **SISBAAR** (SIStema **BA**yesiano de Análise de **R**iscos) trata-se de um protótipo computacional desenvolvido para Análise de Riscos através de Redes Bayesianas (RB), possuindo os seguintes elementos, conforme figura e descrição a seguir:

- **1. Browser:** ambiente Web para comunicação com o usuário. O acesso é permitido através da digitação de usuário e senha cadastrados previamente pelo próprio aplicativo. Através do *browser*, o usuário dá entrada nas evidências e nas justificativas para as evidências, consulta informações sobre as variáveis (construtos) e sobre os níveis de risco calculados pelos algoritmos de RB.
- **2. Programas:** são constituídos pelo software Hugin, o modelo em RB, os valores *default* de cada variável (TPNs) e os códigos contendo os programas do aplicativo. Estes ficam armazenados em um servidor Web. As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento foram as seguintes:
 - a) Servidor Web: jboss - 4.05.GA
 - b) Linguagens de programação: Java, Jsp, Servlet e Jdbc
 - c) Script: Java
- **3. Banco de Dados:** contém os valores atribuídos a cada variável do modelo, os valores calculados para cada variável após o registro das evidências, os nomes dos projetos, os nomes dos usuários e as senhas de acesso aos usuários. Cada variável do modelo é relacionada a um projeto específico e uma fase do projeto específica. A tecnologia utilizada para o banco de dados foi a My SQL 5.0.

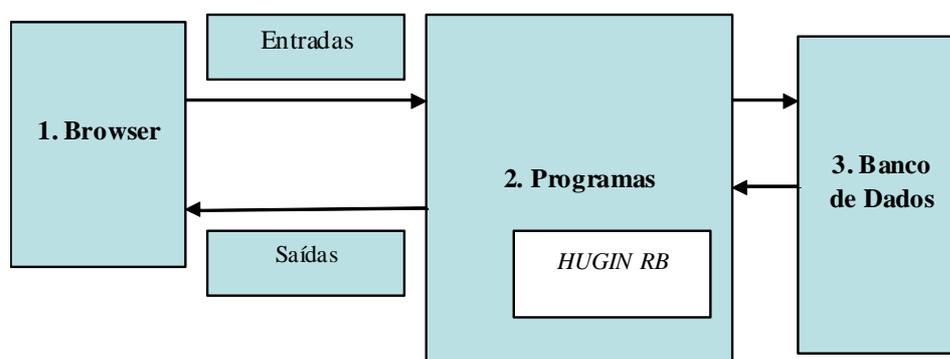


Figura K.1 - Estrutura do Aplicativo SISBAAR

Fonte: autor

As seguintes funções foram desenvolvidas no protótipo computacional SISBAAR (versão β , de fev.2011):

- **A) Autorização de Acesso através de usuário e**

Home SISBAAR • Sistema Brasileiro de Análise de Riscos



Sign In

User Name*

Password*

senha

- **B) Escolha do Projeto e Fase do Projeto**

Welcome Usuário #1 | Asses Risk | Logout | Home SISBAAR • Sistema Brasileiro de Análise de Riscos

Project Name

- Select a Project
- Andurane electronic thermostat
- Everest global control

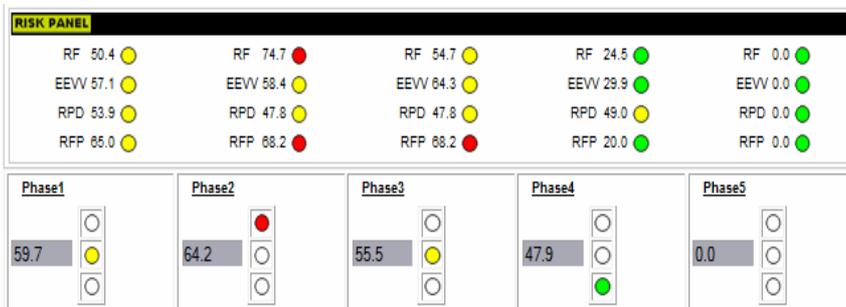
Phase

- **C) Avaliação de Cenários (Riscos de acordo com os valores atribuídos às variáveis)**

Project Name Phase

EVIDENCES			
EEE	<input type="text" value="9.0"/>	QTEC	<input type="text" value="9.0"/>
QFE	<input type="text" value="9.0"/>	SF	<input type="text" value="9.0"/>
QPE	<input type="text"/>	DF	<input type="text" value="9.0"/>
RRAV	<input type="text"/>	UMDFS	<input type="text"/>
EEVW	<input type="text"/>	RPDNDVW	<input type="text"/>
		RF	<input type="text"/>
		QTPD	<input type="text"/>
		SPE	<input type="text"/>
		CACRS	<input type="text"/>
		UMDFR	<input type="text"/>
		CC	<input type="text" value="3.0"/>
		ROP	<input type="text" value="3.0"/>
		CP	<input type="text" value="3.0"/>
		RPD	<input type="text"/>
		RFP	<input type="text"/>

- **D) Verificação dos Níveis de Risco por Fase de cada Projeto**



- **E) Consulta das definições dos Construtos e Escolha dos Níveis**

RESTRICÕES NO ORÇAMENTO DO PROJETO
 Indica o quanto o orçamento do projeto está restrito, impactando na execução de algumas atividades que demandam recursos financeiros.
 Escopo: atividades críticas do projeto, com alguma relação com o desempenho do produto na aplicação.

Fase do Projeto

1 É possível assinalar um nível, caso já existam evidências de que o projeto já iniciou com o orçamento muito apertado.

- **F) Registro de Justificativa para Escolha dos Níveis**

Previous Comments:

- Updated Date:23-02-11: Não foi possível aprovar um aumento do orçamento. O projeto já está com margem pequena. R.B.
- Updated Date:21-02-11: teste 20/fev

Enter

Orçamento mantido. R.B.

Comments:

Save Cancel

APÊNDICE K – TPNS DA INSTANCIÇÃO DO MÉTODO

QTPD	QTEC	CACRS	EEE	QFE																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.352502</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.411784</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.235715</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>17.0022</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.352502	M	0.411784	H	0.235715	Experience	17.0022	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.666667</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.277778</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.055556</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>18</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.666667	M	0.277778	H	0.055556	Experience	18	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>0</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.2	M	0.6	H	0.2	Experience	0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.470445</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.411862</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.117693</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>17.0013</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.470445	M	0.411862	H	0.117693	Experience	17.0013	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.646869</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.176539</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.176592</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>16.9964</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.646869	M	0.176539	H	0.176592	Experience	16.9964																																																																																												
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.352502																																																																																																																																																	
M	0.411784																																																																																																																																																	
H	0.235715																																																																																																																																																	
Experience	17.0022																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.666667																																																																																																																																																	
M	0.277778																																																																																																																																																	
H	0.055556																																																																																																																																																	
Experience	18																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.2																																																																																																																																																	
M	0.6																																																																																																																																																	
H	0.2																																																																																																																																																	
Experience	0																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.470445																																																																																																																																																	
M	0.411862																																																																																																																																																	
H	0.117693																																																																																																																																																	
Experience	17.0013																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.646869																																																																																																																																																	
M	0.176539																																																																																																																																																	
H	0.176592																																																																																																																																																	
Experience	16.9964																																																																																																																																																	
UMDFS	RPDNDVV																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="11">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>QTEC</th><th colspan="3">L</th><th colspan="3">M</th><th colspan="4">H</th></tr> <tr><th>RFP</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>H</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.636364</td><td>0.133333</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td></td></tr> <tr><td>M</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.181818</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td></td></tr> <tr><td>H</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.181818</td><td>0.666667</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td></td></tr> </table>	Edit Functions View											QTEC	L			M			H				RFP	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H	L	0.4	0.6	0.636364	0.133333	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3		M	0.4	0.3	0.181818	0.2	0.5	0.5	0.2	0.3	0.4		H	0.2	0.1	0.181818	0.666667	0.3	0.2	0.7	0.5	0.3		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="11">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>RPD</th><th colspan="3">L</th><th colspan="3">M</th><th colspan="4">H</th></tr> <tr><th>EEVW</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>H</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.7</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.1</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td></td></tr> </table>				Edit Functions View											RPD	L			M			H				EEVW	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H	L	0.4	0.5	0.7	0.2	0.3	0.6	0.2	0.5	0.2	0.2	M	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	H	0.3	0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.7	0.6	0.5											
Edit Functions View																																																																																																																																																		
QTEC	L			M			H																																																																																																																																											
RFP	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H																																																																																																																																								
L	0.4	0.6	0.636364	0.133333	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3																																																																																																																																									
M	0.4	0.3	0.181818	0.2	0.5	0.5	0.2	0.3	0.4																																																																																																																																									
H	0.2	0.1	0.181818	0.666667	0.3	0.2	0.7	0.5	0.3																																																																																																																																									
Edit Functions View																																																																																																																																																		
RPD	L			M			H																																																																																																																																											
EEVW	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H																																																																																																																																								
L	0.4	0.5	0.7	0.2	0.3	0.6	0.2	0.5	0.2	0.2																																																																																																																																								
M	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3																																																																																																																																								
H	0.3	0.2	0.1	0.4	0.3	0.1	0.7	0.6	0.5																																																																																																																																									
RF																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="23">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>UMDFS</th><th colspan="6">L</th><th colspan="6">M</th><th colspan="6">H</th><th colspan="5">M</th></tr> <tr><th>SF</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>M</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.7</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.7</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.1</td></tr> </table>					Edit Functions View																							UMDFS	L						M						H						M					SF	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M	L	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	M	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5	0.7	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	0.7	H	0.7	0.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.6	0.3	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.2	0.6	0.2	0.3	0.6	0.1
Edit Functions View																																																																																																																																																		
UMDFS	L						M						H						M																																																																																																																															
SF	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M																																																																																																																												
L	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2																																																																																																																											
M	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5	0.7	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	0.7																																																																																																																											
H	0.7	0.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.6	0.3	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.2	0.6	0.2	0.3	0.6	0.1																																																																																																																											
CC	ROP	CP	DF	SF																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.141829</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.213895</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.644276</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>14.0352</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.141829	M	0.213895	H	0.644276	Experience	14.0352	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>0</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.1	M	0.6	H	0.3	Experience	0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.388889</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.388889</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.222222</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>18</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.388889	M	0.388889	H	0.222222	Experience	18	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.111111</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.555556</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.333333</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>18</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.111111	M	0.555556	H	0.333333	Experience	18	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.333333</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.277778</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.388889</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>18</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.333333	M	0.277778	H	0.388889	Experience	18																																																																																												
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.141829																																																																																																																																																	
M	0.213895																																																																																																																																																	
H	0.644276																																																																																																																																																	
Experience	14.0352																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.1																																																																																																																																																	
M	0.6																																																																																																																																																	
H	0.3																																																																																																																																																	
Experience	0																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.388889																																																																																																																																																	
M	0.388889																																																																																																																																																	
H	0.222222																																																																																																																																																	
Experience	18																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.111111																																																																																																																																																	
M	0.555556																																																																																																																																																	
H	0.333333																																																																																																																																																	
Experience	18																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.333333																																																																																																																																																	
M	0.277778																																																																																																																																																	
H	0.388889																																																																																																																																																	
Experience	18																																																																																																																																																	
SPE	UMDFR																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">Edit Functions View</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.235051</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.176353</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.588595</td></tr> <tr><td>Experience</td><td>17.0094</td></tr> </table>	Edit Functions View		L	0.235051	M	0.176353	H	0.588595	Experience	17.0094	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="11">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>QTPD</th><th colspan="3">L</th><th colspan="3">M</th><th colspan="4">H</th></tr> <tr><th>RFP</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>H</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.7</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>				Edit Functions View											QTPD	L			M			H				RFP	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H	L	0.4	0.5	0.7	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	M	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	H	0.3	0.2	0.1	0.5	0.3	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2																																																																		
Edit Functions View																																																																																																																																																		
L	0.235051																																																																																																																																																	
M	0.176353																																																																																																																																																	
H	0.588595																																																																																																																																																	
Experience	17.0094																																																																																																																																																	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
QTPD	L			M			H																																																																																																																																											
RFP	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H																																																																																																																																								
L	0.4	0.5	0.7	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4																																																																																																																																								
M	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4																																																																																																																																								
H	0.3	0.2	0.1	0.5	0.3	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2																																																																																																																																								
RF																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="23">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>UMDFS</th><th colspan="6">L</th><th colspan="6">M</th><th colspan="6">H</th><th colspan="5">M</th></tr> <tr><th>SF</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>M</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.7</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.7</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.6</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.1</td></tr> </table>					Edit Functions View																							UMDFS	L						M						H						M					SF	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M	L	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	M	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5	0.7	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	0.7	H	0.7	0.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.6	0.3	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.2	0.6	0.2	0.3	0.6	0.1
Edit Functions View																																																																																																																																																		
UMDFS	L						M						H						M																																																																																																																															
SF	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M																																																																																																																												
L	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2																																																																																																																											
M	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5	0.7	0.2	0.2	0.6	0.2	0.2	0.7																																																																																																																											
H	0.7	0.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.6	0.3	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.2	0.6	0.2	0.3	0.6	0.1																																																																																																																											
RPD																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="23">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>QTPD</th><th colspan="6">L</th><th colspan="6">M</th><th colspan="6">H</th><th colspan="5">M</th></tr> <tr><th>UMDFR</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>M</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.4</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.8</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.2</td></tr> </table>					Edit Functions View																							QTPD	L						M						H						M					UMDFR	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M	L	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	M	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	H	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2
Edit Functions View																																																																																																																																																		
QTPD	L						M						H						M																																																																																																																															
UMDFR	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M																																																																																																																												
L	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4																																																																																																																											
M	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4																																																																																																																											
H	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2																																																																																																																											
RRAV																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="23">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>CACRS</th><th colspan="6">L</th><th colspan="6">M</th><th colspan="6">H</th><th colspan="5">M</th></tr> <tr><th>RPDNDVV</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>M</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.6</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.8</td><td>0.75</td><td>0.65</td><td>0.45</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.15</td><td>0.15</td><td>0.25</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td></td></tr> <tr><td>H</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.8</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.05</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.05</td><td>0.05</td></tr> </table>					Edit Functions View																							CACRS	L						M						H						M					RPDNDVV	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M	L	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.75	0.65	0.45	0.35	M	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.25	0.5	0.6		H	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.5	0.6	0.7	0.05	0.1	0.1	0.05	0.05	
Edit Functions View																																																																																																																																																		
CACRS	L						M						H						M																																																																																																																															
RPDNDVV	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M																																																																																																																												
L	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.75	0.65	0.45	0.35																																																																																																																											
M	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4	0.3	0.2	0.15	0.15	0.25	0.5	0.6																																																																																																																													
H	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.5	0.6	0.7	0.05	0.1	0.1	0.05	0.05																																																																																																																											
RFP																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="23">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>CP</th><th colspan="6">L</th><th colspan="6">M</th><th colspan="6">H</th><th colspan="5">M</th></tr> <tr><th>ROP</th><th>M</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>M</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.3</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.181818</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>M</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.8</td><td>0.7</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.5</td><td>0.5</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.272727</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>H</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.545455</td><td>0.6</td><td>0.7</td><td>0.8</td><td></td></tr> </table>					Edit Functions View																							CP	L						M						H						M					ROP	M	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M	L	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.181818	0.2	0.1	0.1	M	0.6	0.7	0.8	0.7	0.3	0.2	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.272727	0.2	0.2	0.1	H	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.545455	0.6	0.7	0.8			
Edit Functions View																																																																																																																																																		
CP	L						M						H						M																																																																																																																															
ROP	M	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	M																																																																																																																												
L	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.181818	0.2	0.1	0.1																																																																																																																											
M	0.6	0.7	0.8	0.7	0.3	0.2	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.272727	0.2	0.2	0.1																																																																																																																												
H	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.545455	0.6	0.7	0.8																																																																																																																													
QPE																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="11">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>EEE</th><th colspan="3">L</th><th colspan="3">M</th><th colspan="4">H</th></tr> <tr><th>QFE</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>H</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.1</td><td>0.3</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td></td></tr> <tr><td>M</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>0.1</td><td></td></tr> <tr><td>H</td><td>0.1</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.5</td><td>0.3</td><td>0.6</td><td>0.8</td><td></td></tr> </table>					Edit Functions View											EEE	L			M			H				QFE	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H	L	0.7	0.5	0.3	0.5	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1		M	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.1		H	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	0.3	0.6	0.8																																																																													
Edit Functions View																																																																																																																																																		
EEE	L			M			H																																																																																																																																											
QFE	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H																																																																																																																																								
L	0.7	0.5	0.3	0.5	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1																																																																																																																																									
M	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.1																																																																																																																																									
H	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	0.3	0.6	0.8																																																																																																																																									
REACP																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="11">Edit Functions View</th></tr> <tr><th>RF</th><th colspan="3">L</th><th colspan="3">M</th><th colspan="4">H</th></tr> <tr><th>RRAV</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>L</th><th>M</th><th>H</th><th>H</th></tr> <tr><td>L</td><td>0.711893</td><td>0.408829</td><td>0.100686</td><td>0.500213</td><td>0.243671</td><td>0.082973</td><td>0.269997</td><td>0.181917</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td>M</td><td>0.190457</td><td>0.393821</td><td>0.191011</td><td>0.268032</td><td>0.468481</td><td>0.077891</td><td>0.400377</td><td>0.49701</td><td>0.086917</td><td></td></tr> <tr><td>H</td><td>0.097651</td><td>0.197351</td><td>0.708304</td><td>0.231754</td><td>0.287848</td><td>0.839135</td><td>0.329626</td><td>0.321073</td><td>0.913083</td><td></td></tr> </table>					Edit Functions View											RF	L			M			H				RRAV	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H	L	0.711893	0.408829	0.100686	0.500213	0.243671	0.082973	0.269997	0.181917	0		M	0.190457	0.393821	0.191011	0.268032	0.468481	0.077891	0.400377	0.49701	0.086917		H	0.097651	0.197351	0.708304	0.231754	0.287848	0.839135	0.329626	0.321073	0.913083																																																																													
Edit Functions View																																																																																																																																																		
RF	L			M			H																																																																																																																																											
RRAV	L	M	H	L	M	H	L	M	H	H																																																																																																																																								
L	0.711893	0.408829	0.100686	0.500213	0.243671	0.082973	0.269997	0.181917	0																																																																																																																																									
M	0.190457	0.393821	0.191011	0.268032	0.468481	0.077891	0.400377	0.49701	0.086917																																																																																																																																									
H	0.097651	0.197351	0.708304	0.231754	0.287848	0.839135	0.329626	0.321073	0.913083																																																																																																																																									