

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Ivo Rodrigues Montanha Junior

SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE
ENGENHARIA REVERSA DE SISTEMAS TÉCNICOS

Tese submetida ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Doutor em Engenharia Mecânica.

Orientador: André Ogliari, Dr. Eng.
Co-orientador: Nelson Back, Ph.D

Florianópolis
2011

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da Universidade Federal de Santa Catarina

M764s Montanha Junior, Ivo Rodrigues

Sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos [tese] / Ivo Rodrigues Montanha Junior ; orientador, André Ogliari, co-orientador, Nelson Back. – Florianópolis, SC, 2011.

194p.: il., tabs.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia mecânica. 2. Engenharia reversa. 3. Projeto conceitual. 4. Inovações tecnológicas. I. Ogliari, Andre. II. Back, Nelson. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título

CDU 621

Ivo Rodrigues Montanha Junior

SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE
ENGENHARIA REVERSA DE SISTEMAS TÉCNICOS

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Mecânica, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 10 de março de 2011.

Eduardo Alberto Fancello, D.Sc.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

André Ogliari, Dr. Eng.
Orientador

Nelson Back, Ph.D.
Coorientador

André Ogliari, Dr. Eng.
PPGEM/UFSC – Presidente

Carlos Cziulik, Ph.D.
PPGEM/UTFPR – Relator

Osmar Possamai, Dr.
PPGEP/UFSC

Acires Dias, Dr. Eng.
PPGEM/UFSC

Leonardo Nabaes Romano, Dr.Eng.
PPGEA/UFSC

Você acredita em Deus?

Se você nunca tivesse ouvido falar de Deus, a sua vida seria diferente do que ela é hoje?

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me Ama de forma incondicional, mesmo quando não estou totalmente com Ele. Deu o seu único Filho para nos Salvar. Agradeço ao grupo de Estudo Bíblico organizado pelo amigo Almir Pigari. Com vocês aprendi a ter um contato verdadeiro com Deus.

Aos meus orientadores, professores André Ogliari e Nelson Back, pela confiança e brilhante orientação ao longo desta pesquisa.

A professores Carlos Cziulik, Osmar Possamai, Acires Dias e Leonardo Romano pelas valiosas contribuições.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela excelência no ensino, em especial ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) e seus funcionários.

À Capes, pelo financiamento desta pesquisa.

Aos meus pais, Ivo (em memória) e Neura, meus irmãos, Rodrigo e Vanessa, e à minha namorada, Francieli, pelo amor, dedicação, compreensão e apoio, fundamentais para o êxito deste trabalho.

Agradeço aos colegas do Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos, NeDIP, pelo apoio e experiências sempre enriquecedoras. Ao técnico Roberto Andrade, pelas contribuições e amizade.

Aos demais professores e pesquisadores da UFSC, em especial às equipes SAE Baja, SAE Aerodesign e SAE Formula, e ao Laboratório de Inovação da UFSC.

Às empresas que participaram desta pesquisa, destacando a FIAT Automóveis S/A, pelo estágio concedido e pelas amizades.

À equipe do projeto Nugin, onde obtive experiência e valiosos contatos profissionais.

Ao SAPSI, Serviço de Atenção Psicológica da UFSC, em especial ao psicólogo Saulo Satoshi e à orientadora Olga, pelo apoio.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense (IFC), especialmente o Campus Videira/Luzerna, por terem me acolhido neste momento final da tese.

Aos meus verdadeiros amigos, que sempre estiveram comigo nos momentos de alegria e de dificuldade, seja nos encontros da galera do “Carpe Diem Floripa” ou do “Trilhas Floripa”. *Wish you all the Best!*

Também agradeço a todos que conheci neste período tão especial, onde mesmo que não os tenha citado, jamais serão esquecidos.

Permaneçam em Deus, Ele estará convosco!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Ivo Rodrigues Montanha Junior, 31 anos, é graduado em Engenharia de Produção Mecânica pela UNOESC (campus de Joaçaba) e Mestre em Engenharia Mecânica pela UFSC. Durante a graduação, trabalhou como projetista numa indústria de equipamentos para usinas hidrelétricas. Participou de alguns projetos de extensão em paralelo com o doutorado, onde auxiliou na elaboração de um livro de gestão da inovação, em parceria com o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) e FINEP. É professor no Curso Técnico em Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense (IFC), núcleo avançado de Luzerna-SC.

Mais informações podem ser obtidas no currículo Lattes do autor: <<http://lattes.cnpq.br/3617191074245833>>.

MONTANHA JUNIOR, Ivo Rodrigues. **Sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

RESUMO

Apesar da importância da análise de produtos da concorrência, as empresas geralmente observam as tecnologias dos sistemas técnicos (ST) concorrentes sem utilizar métodos formais de apoio. Isto tende a limitar a capacidade de compreender as soluções e de obter sugestões de inovação para novos produtos. Para suprir esta limitação, há proposições que formalizam o processo de estudo de ST concorrentes. Porém, nenhuma destas se apresenta de maneira abrangente e focam em aspectos específicos de estudo do produto. Nessa pesquisa, a engenharia reversa (ER) se apresenta como uma maneira sistematizada de aprender os fundamentos dos ST e, assim, reunir condições para a identificação e proposição de inovações em novos produtos. A sistemática apresentada é constituída de três fases: planejamento, obtenção e análise das informações, e recomendações de projeção. A fase de planejamento constitui-se de atividades voltadas ao gerenciamento do *projeto* de ER. A fase de obtenção e análise das informações visa obter as informações solicitadas a partir de um sistema técnico existente, para analisá-las considerando o mercado do sistema técnico, a interação usuário-ST (ergonomia), o desempenho do sistema e as soluções de projeto (funções, princípios de solução e características técnicas do sistema). A fase de recomendações de projeção visa propor sugestões de projeto para os novos sistemas, a partir dos resultados obtidos no projeto de engenharia reversa. Também foi proposta uma estrutura de base de dados para armazenar os resultados obtidos nos processos de engenharia reversa. A sistemática e a referida estrutura foram avaliadas pelos especialistas e potenciais usuários, a partir de exemplos de aplicação da sistemática num aparador de grama e em um compressor compacto, cujos resultados mostraram que a sistemática e a estrutura da base de dados são adequadas ao propósito apresentado.

Palavras-chave: engenharia reversa; projeto de produtos; projeto conceitual; inovação; sistemas técnicos.

MONTANHA JUNIOR, Ivo Rodrigues. **Sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos**. Thesis (Doctorate in Mechanical Engineering). Graduation Program in Mechanical Engineering of the Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2011.

Title translation: Systematization of the reverse engineering process of technical systems.

ABSTRACT

Despite the importance of analysis of competitors' products, companies generally observe the technologies of technical systems (TS) competitors without support of formal methods. This tends to limit the capability to understand the solutions and obtain suggestions for innovative products. To overcome this limitation, there are propositions that formalize the process of studying competitors' TS. However, none of these is broad enough and they focus on specific aspects of the studied product. In this research, reverse engineering (RE) is presented as a systematic approach to learn the fundamentals of the TS and thus meet the conditions for identifying and proposing innovations in new products. The proposed model consists of three phases: planning, obtaining and analyzing information, and recommendations for designing. The planning phase consists of activities related to project management of RE. The second phase aims at obtaining the requested information from an existing system, analyzing them considering the market for this technical system, the interaction between user-TS (ergonomics), the system performance and design solutions (functions, solution principles and technical characteristics of the system). In the phase of recommendations design suggestions are proposed for the new systems, from the results obtained in the reverse engineering project. A structure of a database was also proposed to store the results from the reverse engineering process. The model and structure were evaluated by experts and potential users, from the application of them in examples of a grass trimmer and a compact compressor. The results showed that the model and structure of the database are appropriate for the stated purpose.

Key-words: reverse engineering; product design; conceptual design; innovation; technical systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Modelo de desenvolvimento de produtos (Back <i>et alii.</i> 2008, p.70, baseado em Romano, 2003, p.116).	6
Figura 2.2. Principais atividades da fase de projeto conceitual.	7
Figura 2.3. Desdobramento da função global em funções mais simples (adaptado de Pahl e Beitz, 1988; e Pahl <i>et alii.</i> , 2005).....	8
Figura 2.4. Catálogo de soluções conceituais para operações básicas (adaptado de Back, 1983; Montanha Jr. <i>et alii.</i> , 2007a).....	8
Figura 2.5. Leiaute gráfico de um modelo FAST (Kaufman e Woodhead, 2006, p.68 e 72).....	9
Figura 2.6. Árvore de funções-meios para um ST de preparo de chá (Tjalve, 1979, p.9).....	11
Figura 2.7. O processo de ER como instrumento de auxílio ao desenvolvimento de soluções de projeto.	12
Figura 4.1. Visão conceitual da sistemática de ER.	27
Figura 4.2. Fases e atividades da sistemática de engenharia reversa.....	30
Figura 4.3. Atividades da fase 1: planejamento do projeto de ER.	31
Figura 4.4. Atividades da fase 2: análise do sistema técnico.	37
Figura 4.5. Atividades da fase 3: orientações para a projeção.....	55
Figura 5.1. Visão conceitual do procedimento de avaliação.	62
Figura 5.2. Análise da embalagem do compressor: grupo U3.....	70
Figura 5.3. Etapa de medições do compressor: grupo U3.....	70
Figura 5.4. Desmontagem do compressor: grupo U3. Detalhe do subsistema de compressão.....	71
Figura 5.5. Montagem do compressor: grupo U3.....	72
Figura 5.6. Teste prático do compressor: grupo U3.	72
Figura 5.7. Início da análise do compressor utilizando a sistemática de ER: grupo U3.	74
Figura 5.8. Análise das soluções de projeto do compressor utilizando a sistemática de ER: grupo U3.....	74
Figura A.1. Processo de modelagem (Lima, 2002, p.87).	92
Figura A.2. Criação da taxonomia do projeto conceitual.	104
Figura A.3. Taxonomia do projeto conceitual.....	105
Figura A.4. Principais entidades de uma taxonomia para a fase de projeto conceitual.	107
Figura A.5. Matriz de relacionamento entre as entidades.	108
Figura A.6. Identificação dos relacionamentos entre entidades.	109
Figura A.7. Diagrama de nível de entidade do projeto conceitual.	116
Figura C.1. Visão geral da estrutura integrada das análises de ER.	125
Figura C.2. Estrutura integrada das análises de ER.....	127

Figura E.1. Mapa preço-valor (MPV) dos aparadores de grama.....	147
Figura E.2. Imagens externas dos pontos de análise do ST A.....	148
Figura E.3. Simulação de uso dos ST A, E e J.....	153
Figura E.4. Identificação do centro de gravidade do conjunto “usuário + ST”.....	156
Figura E.5. Equipamentos de medição de rotação do motor.....	162
Figura E.6. Esquema de ligação dos equipamentos de medição de rotação do motor elétrico do ST A.....	163
Figura E.7. Resultados da medição de rotação do motor do aparador, obtida pelo acelerômetro.....	163
Figura E.8. Contaminação do compartimento do motor do aparador ao operar por dez minutos sem a capa inferior de proteção.....	164
Figura E.9. Vista explodida do ST A.....	169
Figura E.10. Exemplo de identificação do princípio de solução do componente AGD-001_023 (botão de acionamento).	170
Figura F.1. Vista explodida do compressor analisado.	189

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. Exemplo de planilha <i>SOP</i> (Otto e Wood, 2001, p.207). ...	20
Quadro 3.2. Principais atividades e proposições de ER.	25
Quadro 4.1. Meios citados na fase 1 da sistemática de ER.	32
Quadro 4.2. Estrutura da solicitação de ER (SER).	32
Quadro 4.3. Quadro de auxílio à seleção das análises de ER (ASA). ...	34
Quadro 4.4. Meios de apoio as atividades da fase 2.	39
Quadro 4.5. Quadro de representação dos ST candidatos (STC).	40
Quadro 4.6. Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU).	41
Quadro 4.7. Orientações para elaborar a matriz preço-valor (MPV). ...	42
Quadro 4.8. Lista de atributos básicos e do ciclo de vida do sistema (ABC), (adaptado de Fonseca, 2000, p.75 e 77).	43
Quadro 4.9. Quadro de análise das condições gerais de recebimento do ST (CRS).	45
Quadro 4.10. Caracterização do sistema técnico selecionado (CST). ...	46
Quadro 4.11. Estrutura de listagem de normas técnicas de operação de ST (NOS).	49
Quadro 4.12. Quadro de avaliação de desempenho do ST (ADS).	50
Quadro 4.13. Quadro de informações da desmontagem (SID).	52
Quadro 4.14. Tipos de efeitos físicos (adaptado de Pahl <i>et alii.</i> , 2007, p.94).	53
Quadro 4.15. Quadro de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST (AIP).	54
Quadro 4.16. Meios de apoio da fase 3.	56
Quadro 4.17. Recomendações típicas de projeção dos ST (RTP).	56
Quadro 4.18. Quadro com as especificações de projeto para os ST similares àquele analisado na ER (ESS).	58
Quadro 4.19. Quadro com recomendações de <i>projeto</i> dos ST (RPS). ..	58
Quadro 5.1. ST candidatos à análise física da sistemática de ER.	61
Quadro 5.2. Requisitos de modelagem da sistemática de ER.	63
Quadro 5.3. Questões de avaliação.	64
Quadro 5.4. Perfil dos especialistas que participaram da avaliação à distância.	66
Quadro 5.5. Perfil dos grupos de usuários participantes.	68
Quadro 5.6. Resultados das análises dos usuários (U) e especialistas (E).	76
Quadro A.1. Lista dos documentos-fonte selecionados.	93
Quadro A.2. Conceitos típicos da fase de projeto conceitual, com suas descrições e fontes.	94

Quadro A.3. Lista de candidatas à entidade, com seus respectivos números de ocorrências e a indicação das candidatas eliminadas ou agrupadas (baseado em Lima, 2002, p.91).....	101
Quadro A.4. Definição das relações entre as entidades.	110
Quadro A.5. Projeto de engenharia reversa.	117
Quadro A.6. Sistema técnico.....	118
Quadro A.7. Condições ambientais de uso do ST.....	118
Quadro A.8. Componente.	119
Quadro A.9. Função.....	120
Quadro A.10. Princípios de solução.....	120
Quadro B.1. Catálogo de efeitos do sistema SADEPRO para a função “isolar” (Fiod Neto, 1993, p.297).	123
Quadro B.2. Catálogo de efeitos do sistema SADEPRO para a função “agrupar” (Fiod Neto, 1993, p.297).	123
Quadro B.3. Catálogo de efeitos do sistema SADEPRO para a função “ligar” (Fiod Neto, 1993, p.301).	124
Quadro D.1. Planilha: projeto	130
Quadro D.2. Planilha: sistema técnico.	131
Quadro D.3. Planilha: condições ambientais de uso do ST.	132
Quadro D.4. Planilha: componentes.....	133
Quadro D.5. Planilha: funções.	135
Quadro D.6. Planilha: princípios de solução.....	137
Quadro E.1. Solicitação de informações – aparador de grama.	139
Quadro E.2. Equipamentos tradicionais para cortar grama em residências, antes dos aparadores.....	141
Quadro E.3. Quadro de representação dos ST candidatos (STC).	143
Quadro E.4. Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU) dos aparadores de grama.	145
Quadro E.5. Elementos para elaborar a matriz preço-valor (MPV)...	146
Quadro E.6. Quadro de análise das condições gerais de recebimento do ST A (CRS).....	149
Quadro E.7. Caracterização do sistema técnico selecionado (CST). ..	151
Quadro E.8. Variáveis selecionadas para as análises de ergonomia (VAE).	154
Quadro E.9. Plano das análises de ergonomia (PAE).	155
Quadro E.10. Análise OWAS (OWS) dos ST A, E e J.	157
Quadro E.11. Roteiro de testes de desempenho (RTD) do ST A.	160
Quadro E.12. Medições de temperatura do motor do aparador A.....	162
Quadro E.13. Quadro de avaliação de desempenho do ST A (ADS)..	165
Quadro E.14. Informações da desmontagem (SID) do ST A.....	167

Quadro E.15. Quadro de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST A (AIP).	172
Quadro E.16. Visão parcial da matriz morfológica do aparador avaliado (MMF).....	173
Quadro E.17. Recomendações de projeção dos ST (RTP), baseada na análise de ER do aparador A.	174
Quadro E.18. Quadro com as especificações de projeto para os ST similares àquele analisado na ER (ESS).	176
Quadro E.19. Quadro com recomendações de <i>projeto</i> dos ST (RPS).	177
Quadro F.1. Solicitação de ER (SER) do estudo do compressor.	179
Quadro F.2. Imagens externas do compressor.....	180
Quadro F.3. Quadro de análise das condições gerais de recebimento do compressor (CRS).	181
Quadro F.4. Caracterização do compressor selecionado (CST).	182
Quadro F.5. Quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID).	185
Quadro F.6. Estrutura de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST (AIP).	190
Quadro F.7. Visão parcial da matriz morfológica do compressor avaliado (MMF).	191
Quadro F.8. Recomendações de projeção dos ST (RTP), baseada na análise de ER do compressor.	192
Quadro F.9. Quadro com recomendações de <i>projeto</i> dos ST (RPS)... ..	193
Quadro G.1. Questionário de avaliação.....	195

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BD – Base de Dados

BOM – *Bill of Materials*, ou Lista de Materiais e de Peças

DFA – *Design for Assembly*, ou Projeto para a Montagem

EDT – Estrutura de Desdobramento do Trabalho

ER – Engenharia Reversa

FAST – *Function Analysis System Technique*, do inglês, Técnica de Análise das Funções do Sistema

IDEFIX – *Integration Definition for Information Modeling*, do inglês, Definição Integrada para a Modelagem de Informações

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

MER – Modelo Entidade-Relacionamento

NeDIP – Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos

NIST/EUA – *National Institute of Standards and Technology*, ou Instituto Nacional de Padronização e Tecnologia

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos

Projeto – Quando destacado em negrito e itálico, se refere ao “*Project*”, segundo os conceitos de gerenciamento de projetos. Quando não houver destaque, o termo se refere à projeção (*Design*) do ST

PS – Princípio de Solução

SOP – *Subtract and Operate Procedure*, do inglês, Procedimento de Subtrair e Operar

ST – Sistema Técnico

UML – *Universal Modelling Language*, ou Linguagem Universal de Modelagem

SUMÁRIO

Capítulo I. Introdução	1
1.1. Motivação da pesquisa.....	1
1.2. Objetivos da pesquisa	2
1.3. Contribuições da pesquisa	2
1.4. Metodologia de pesquisa	3
1.5. Delimitação da pesquisa	3
1.6. Conteúdo da tese.....	4
Capítulo II. Projeto conceitual de sistemas técnicos: revisão.....	5
2.1. Definição de sistemas técnicos	5
2.2. Processo de concepção de sistemas técnicos	5
2.3. Considerações	12
Capítulo III. Engenharia reversa: revisão.....	15
3.1. Definições de engenharia reversa	15
3.2. Processo de engenharia reversa	16
3.2.1. Análise física do sistema técnico	17
3.2.2. Análise de eventos.....	21
3.2.3. Análise de publicações	23
3.3. Considerações	25
Capítulo IV. Sistematização do processo de engenharia reversa	27
4.1. Introdução	27
4.2. Modelagem do processo de ER	28
4.3. Fase 1. Planejamento do <i>projeto</i> de ER.....	31
4.3.1. Atividade 1.1. Definir o escopo do <i>projeto</i> de ER	33
4.3.2. Atividade 1.2. Definir o cronograma do <i>projeto</i> de ER	35
4.3.3. Atividade 1.3. Definir o orçamento do <i>projeto</i> de ER	35
4.3.4. Atividade 1.4. Elaborar o plano do <i>projeto</i> de ER	36

4.4. Fase 2. Análise do sistema técnico	36
4.4.1. Atividade 2.1. Identificar os ST candidatos	40
4.4.2. Atividade 2.2. Selecionar e obter o ST a ser analisado	41
4.4.3. Atividade 2.3. Caracterizar o ST selecionado e obtido	44
4.4.4. Atividade 2.4. Caracterizar o mercado do ST	47
4.4.5. Atividade 2.5. Analisar as condições de interação usuário- ST	48
4.4.6. Atividade 2.6. Analisar o desempenho do ST	49
4.4.7. Atividade 2.7. Identificar as soluções de projeto	51
4.5. Fase 3. Orientações para a projeção.....	55
4.5.1. Atividade 3.1. Recomendações para a projeção dos ST .	56
4.5.2. Atividade 3.2. Encerrar o <i>projeto</i> de ER.....	59
4.6. Considerações.....	60
Capítulo V. Avaliação da pesquisa	61
5.1. Planejamento do processo de avaliação.....	62
5.2. Avaliação da sistemática de ER.....	64
5.2.1. Avaliação à distância dos especialistas no PDP.....	65
5.2.2. Avaliação presencial dos usuários	65
5.3. Análise dos resultados da avaliação	75
Capítulo VI. Conclusões e recomendações.....	79
6.1. Conclusões.....	79
6.2. Recomendações para trabalhos futuros	81
Referências bibliográficas.....	83
Apêndice A. estrutura da base de dados.....	91
A.1. Etapa 1.1. pesquisa de informações sobre o problema de modelagem	93

A.2. Etapa 1.2. Criação de uma taxonomia do projeto conceitual: classificação das informações	103
A.3. Etapa 1.3. Criação do modelo base	107
A.4. Estrutura dos campos de preenchimento da base de dados.....	117
A.5. Considerações finais	121
Apêndice B. Catálogo de efeitos	123
Apêndice C. Estrutura integrada de análises de engenharia reversa ...	125
Apêndice D. Exemplos de campos preenchidos da base de dados.....	129
Apêndice E. Análise física integral de ER: aparador de grama.....	139
E.1. Fase 1. Planejamento do <i>projeto</i> de ER.....	139
E.2. Fase 2. Análise do sistema técnico	141
E.3. Fase 3. Orientações para a projeção	174
Apêndice F. Análise física parcial de ER: compressor	179
F1. Fase 1. Planejamento do <i>projeto</i> de ER.....	179
F2. Fase 2. Análise do sistema técnico	180
F.3. Fase 3. Orientações para a projeção.....	192
Apêndice G. Questionário de avaliação	195

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a motivação da pesquisa, destacando a importância da inovação de produtos com apoio da engenharia reversa e os objetivos. Segue-se com as contribuições e o conteúdo da tese.

1.1. MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

Diante da competitividade das empresas originada pela globalização da economia, intensificaram-se os esforços para o desenvolvimento de novos produtos e processos, visando maximizar a produtividade e lucratividade da empresa. Apesar do crescimento da inovação, como apontado pela pesquisa PINTEC (IBGE, 2002; IBGE, 2005; IBGE, 2007), os valores de inovação das empresas brasileiras estão abaixo das de países como França, Reino Unido e Alemanha.

Também foi observado em IBGE (2007) que as principais fontes de informação para intensificar a inovação são: áreas internas, fornecedores, clientes ou consumidores, feiras e exposições, redes de informação informatizadas e concorrentes. Isso pode ser feito por meio do desenvolvimento de produtos ou processos juntos aos fornecedores e usuários, participação em feiras e exposições, consultas nas redes de informação (*Internet*), e análise de produtos concorrentes. Além disso, a análise da concorrência é um dos segredos da inovação corporativa (Useem, 2009, p.128), por mostrar novos usos para as coisas existentes (French, 1994, p.285).

No desenvolvimento de produtos, a geração de concepções é apontada como essencial à inovação. Porém, tal fase não é eficazmente realizada pelos projetistas, seja pela falta de capacitação, bem como falta de apoio ao processo. Os projetistas não têm sido devidamente estimulados ao processo de abstração que facilita a superação de barreiras ao processo criativo e estimula a busca de soluções em diferentes campos de conhecimento.

A engenharia reversa (ER), na forma de estudo e sistematização de conhecimento de produtos da concorrência, pode ajudar nesse processo com mecanismos para identificar e organizar informações de funções, princípios de solução e demais características dos produtos concorrentes. Entretanto, a ER tem sido realizada de maneira informal e esporádica, muito mais para copiar os ST concorrentes do que entender seus conceitos. Isto não contribui para a capacidade de inovação da empresa, nem no presente e muito menos para o futuro.

Pode ocorrer, mas não de forma estruturada e contínua, gerando dependência das empresas que inovam. Visando minimizar os efeitos dessa problemática e suportar o trabalho dos projetistas, apresenta-se a principal questão dessa pesquisa: como as equipes de projeto podem ser instrumentalizadas para realizar a engenharia reversa de sistemas técnicos e estruturar informações de apoio ao projeto conceitual?

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como objetivo geral sistematizar o processo de engenharia reversa de sistemas técnicos, que auxilie na obtenção, análise e disponibilização de informações para a geração de ST inovadores.

Para tal, estão sendo propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificação das proposições de ER que possam contribuir com a elaboração da sistemática de ER desta tese;
- b) Identificação das informações da fase de projeto conceitual a serem obtidas pelos processos de ER, as quais devem auxiliar nos novos processos de desenvolvimento de produtos (PDP);
- c) Processo sistematizado de ER de ST, visando auxiliar no desenvolvimento de soluções inovadoras para o PDP;
- d) Proposta de estrutura de Base de dados (BD) para armazenar o conteúdo desenvolvido no processo de ER.

1.3. CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

As principais contribuições deste trabalho são:

- a) Abordar a ER como forma sistematizada de compreender os fundamentos dos ST analisados, e identificar as inovações na projeção dos novos produtos, considerando as funções e os princípios de solução. Isto aumenta o potencial de inovação porque, expande o campo de busca de soluções em outras áreas. Serve para o aperfeiçoamento dos ST existentes e para o desenvolvimento de novos ST na organização;
- b) Disponibilizar aos profissionais da organização uma estrutura de base de dados que preserve os resultados obtidos nos *projetos*¹ de ER, e que possa auxiliar nas atividades do PDP (foco na fase de projeto conceitual, pelo escopo da tese).

¹ O termo projeto, destacado em itálico e negrito, se refere ao *Project*, de gerenciamento de projetos, segundo o enfoque do *PMBok* (PMI, 2004). Já o projeto, sem destaque, trata das fases de projeção do processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

1.4. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para elaborar a sistemática de ER, foram estudadas referências bibliográficas relacionadas aos processos de projeto de ST (foco na fase de projeto conceitual) e à engenharia reversa. Para tal, além da revisão, o procedimento de pesquisa se caracterizou numa investigação do tipo descritiva-analítica, de natureza qualitativa, segundo os conceitos de Marconi e Lakatos (2010).

Para elaborar a estrutura da base de dados, foram identificadas as informações principais da fase de projeto conceitual. Estas foram modeladas segundo o método *IDEFIX* (Kern, 2000) visando a padronização do referido procedimento.

Tendo a sistemática de ER e a estrutura da base de dados de apoio, foi prevista a avaliação da sistemática junto aos especialistas em projeto de produtos e ainda potenciais usuários da sistemática. Os especialistas receberam a sistemática e a estrutura da BD (campos vazios), avaliaram e preencheram um questionário semi estruturado. Os potenciais usuários também preencheram o questionário, após uma apresentação da sistemática e da estrutura da BD. A elaboração do questionário e a avaliação dos resultados foram baseados em Yin (2001) e em Montanha Jr. et. al (2005). Os resultados obtidos nas etapas da pesquisa foram avaliados e inseridos neste documento de pesquisa.

1.5. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O escopo dessa pesquisa considera a sistematização do processo de ER de sistemas técnicos, com foco na fase de projeto conceitual do PDP, incluindo a elaboração de uma estrutura de base de dados (BD) que permita a implementação de procedimentos para armazenagem e consultas aos resultados obtidos pelos processos de ER.

A escolha do foco na fase de projeto conceitual se deu porque nessa fase se encontram as maiores possibilidades de inovar em um ST, devido à abstração inerente às suas atividades. Isto amplia o campo de busca de princípios de soluções que gerem concepções inovadoras.

A limitação à estrutura da base de dados se deu em função da complexidade em implementar e testar a BD nessa pesquisa, ficando concentrada na identificação e organização de seus principais elementos para posterior implementação em pesquisas afins.

1.6. CONTEÚDO DA TESE

O conteúdo da tese foi estruturado em seis capítulos e sete apêndices. Como visto, o capítulo 1 abordou a motivação, os objetivos, as contribuições, a metodologia de pesquisa e o conteúdo da pesquisa. O segundo capítulo apresenta as principais proposições de geração de concepções de ST, na fase de projeto conceitual, com algumas ferramentas computacionais de apoio. O terceiro capítulo apresenta os métodos e ferramentas de engenharia reversa dedicadas principalmente ao projeto conceitual.

O quarto capítulo trata do processo de sistematização da ER, que resultou na sistemática de ER, onde foi considerada a análise física dos ST. O quinto capítulo mostra o processo de avaliação da sistemática de ER e da estrutura da base de dados, junto aos especialistas e potenciais usuários. Já, o sexto e último capítulo apresenta as conclusões e as recomendações para pesquisas futuras.

No apêndice A, foi elaborada a estrutura de informações da base de dados, pelo estudo das principais informações da fase de projeto conceitual. O apêndice B mostra o exemplo de alguns catálogos de efeitos que auxiliam na identificação dos princípios de solução do ST, e no apêndice C contém a estrutura integrada das análises de ER. O apêndice D mostra alguns campos da base de dados preenchidos.

Visando favorecer a compreensão sobre as atividades da sistemática de ER, no apêndice E é descrito o exemplo de aplicação do modelo de ER numa análise física completa de um aparador de grama. O apêndice F tem um exemplo parcial de análise física, enfatizando a análise das soluções de projeção de um compressor, para evidenciar ambas as possibilidades de uso da sistemática (integral ou parcial).

No apêndice G, é mostrado o questionário de avaliação da sistemática de ER e da estrutura da BD, junto aos especialistas em PDP e aos potenciais usuários da sistemática.

CAPÍTULO II. PROJETO CONCEITUAL DE SISTEMAS TÉCNICOS: REVISÃO

Este capítulo mostra uma revisão sobre o projeto conceitual de sistemas técnicos e definições relacionadas, visando orientar a identificação das atividades e informações que devem ser obtidas pela engenharia reversa, para auxiliar na proposição da sistemática de ER e da base de dados.

2.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMAS TÉCNICOS

Segundo Hubka e Eder (1988, p.6), nos anos 50 as máquinas começaram a ser modeladas como sistemas, os quais se dividem em naturais e artificiais. Nesta tese, serão considerados os sistemas artificiais, onde uma das ramificações trata dos sistemas técnicos (ST)²:

“Um conjunto de elementos físicos e suas interações, que recebem entradas e entregam efeitos, para conduzir um processo técnico. Categoria geral de sistemas determinísticos artificiais que realizam os efeitos necessários para a transformação dos operandos. Representa todos os elementos de máquinas, dispositivos, aparatos, equipamentos, plantas, etc., de qualquer ramo da engenharia.” (HUBKA, 1980 e 1987; HUBKA e EDER, 1988; PAHL *et alii.*, 2007). [SIC]

Essa definição irá nortear a elaboração desta tese, pois evidencia a importância de estudar as informações sobre as funções e os princípios de solução dos ST, além das características físicas do ST, a fim de potencializar a inovação em novos *projetos* nas organizações.

2.2. PROCESSO DE CONCEPÇÃO DE SISTEMAS TÉCNICOS

Para que um ST evolua de ideias iniciais abstratas para soluções concretas realizáveis, são necessárias atividades, métodos e ferramentas que, em geral, são estruturadas em modelos de referência do processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Há várias proposições com esta finalidade, de onde se destaca aquela da Fig. 2.1, que possui três macro-fases: planejamento; elaboração do projeto do produto (fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado); e implementação.

² Nesta pesquisa, o termo sistema técnico (ST) foi utilizado para designar os produtos finais.

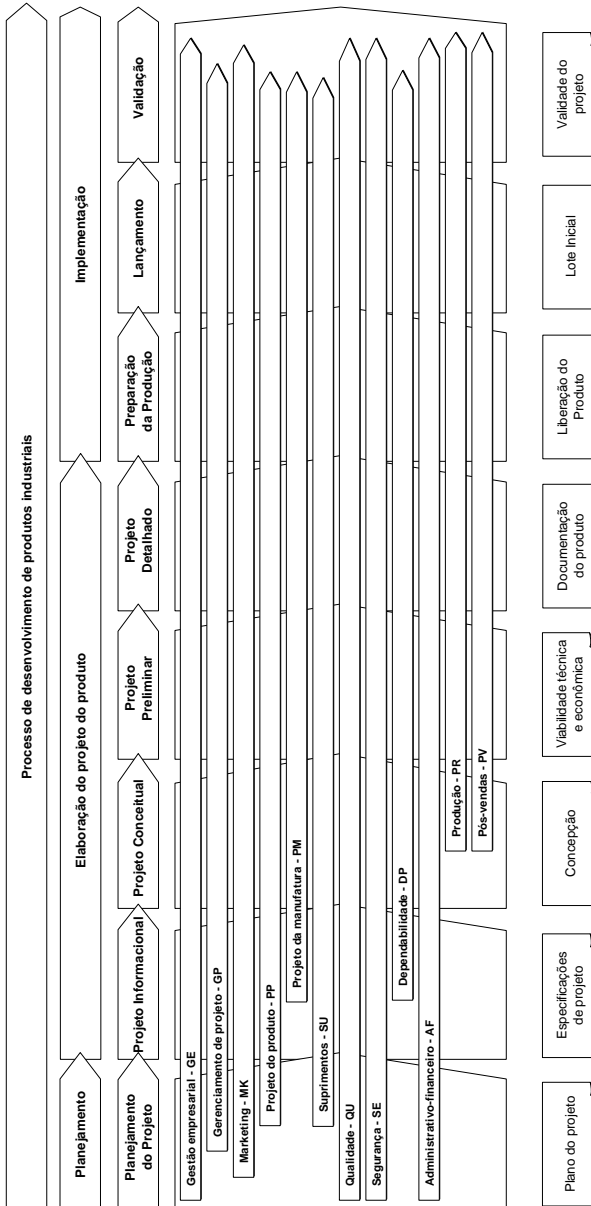


Figura 2.1. Modelo de desenvolvimento de produtos (Back et alii. 2008, p.70, baseado em Romano, 2003, p.116).

Nesta tese será enfatizada a fase de projeto conceitual, na qual o problema de projeto é abstraído na forma de funções, potencializando a busca de princípios de solução em diferentes campos de conhecimento, favorecendo a inovação de produtos.

Rodenacker (1970), citado por Pahl e Beitz (1988), introduz o projeto funcional de produtos, sob a premissa de que todo ST deve satisfazer certas funções, pela transformação de grandezas físicas do tipo energia, material e sinal. Tal proposição tem sido estudada e desenvolvida por vários pesquisadores até o presente.

Em linhas gerais, o projeto conceitual é realizado conforme as atividades mostradas na Fig. 2.2.

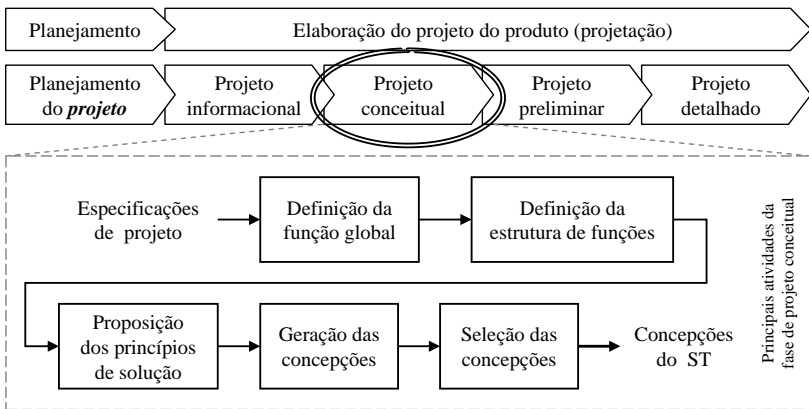


Figura 2.2. Principais atividades da fase de projeto conceitual.

No início, é definido o problema de projeto (finalidade do ST), ou seja, a definição da função global. Parte-se para o desdobramento da função global em funções de menor complexidade, a fim de facilitar a busca de soluções para a função global. Este desdobramento consiste em definir a estrutura de funções que representa as especificações de projeto do ST. A Fig. 2.3 mostra a natureza do desdobramento das funções, representada por meio de blocos interligados de acordo com os fluxos de energia, material e sinal.

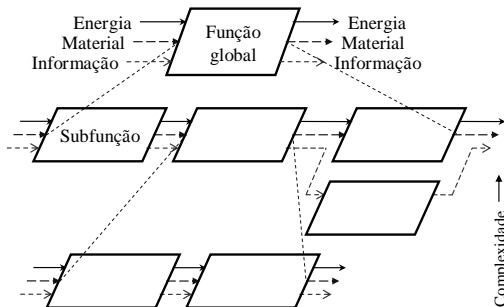


Figura 2.3. Desdobramento da função global em funções mais simples (adaptado de Pahl e Beitz, 1988; e Pahl *et alii.*, 2005).

Na atividade de definição da estrutura de funções do ST, as funções elementares, ou seja, aquelas do último nível da Figura 2.3, podem ainda ser convertidas em operações básicas (Back, 1983), conforme ilustrado na Fig. 2.4.



Catálogo de Projeto				
Operações Básicas	Elétrica	Hidráulica	Mecânica	Ótica
Ampliar	 Transformador	 Cilindro	 Par de Engrenagens	 Orifício
Transformar	 Motor Elétrico	 Bomba	 Motor de Combustão	 Foto célula

Figura 2.4. Catálogo de soluções conceituais para operações básicas (adaptado de Back, 1983; Montanha Jr. *et alii.*, 2007a).

A modelagem por meio de operações básicas é considerada uma forma essencial de favorecer a inovação na fase conceitual, devido ao alto grau de abstração com o qual o problema de projeto é representado. Dessa maneira, o projetista concentra o raciocínio em tarefas genéricas (p. ex., transformar, conduzir, guiar), ampliando o campo de busca e as chances de inovar. Porém, a abstração inerente a essa atividade não é usual aos projetistas e tem sido uma barreira ao processo.

Outra forma de auxiliar a definição da estrutura de funções do ST é por meio da *FAST – Function Analysis System Technique* (do inglês, Técnica de Análise das Funções do Sistema), que orienta a modelagem das funções do ST pelas dependências funcionais (sequência lógica), conforme ilustrado na Fig. 2.5.

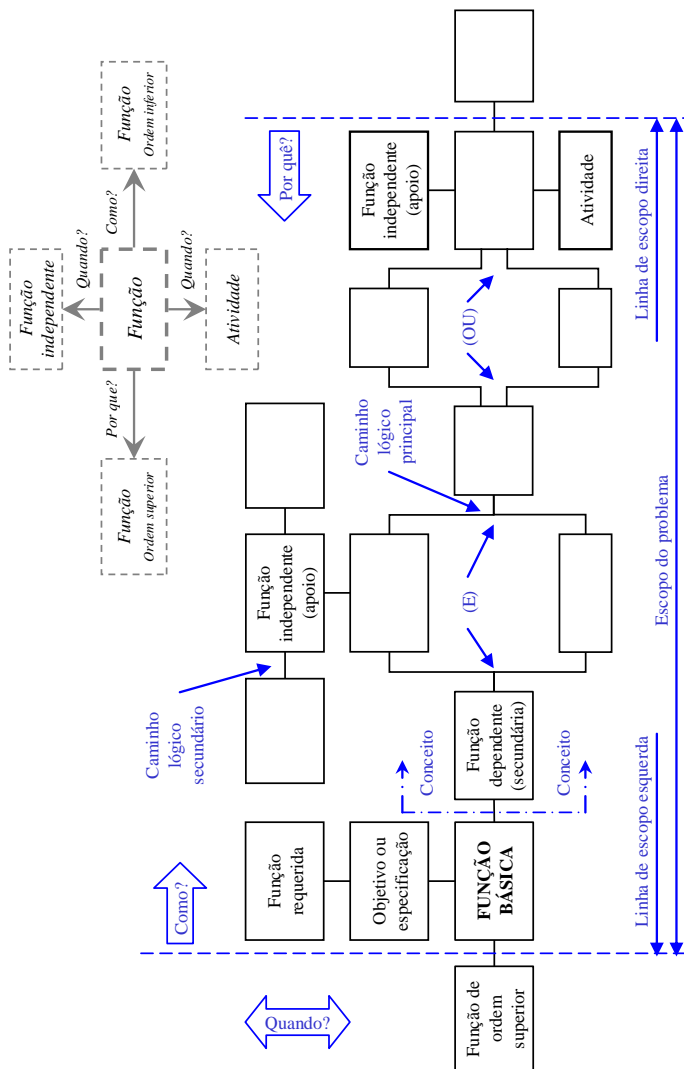


Figura 2.5. Leiaute gráfico de um modelo FAST (Kaufman e Woodhead, 2006, p.68 e 72).

Na Fig. 2.5, nota-se que um modelo da *FAST* é composto por linhas de escopo (fronteiras), função básica (global), funções de ordem superior³, funções de ordem inferior ou dependentes (à direita de uma função, representam “por que” a função à esquerda deve existir), funções independentes (apoio) e as atividades.

Para elaborar um modelo de funções pela *FAST*, é definida inicialmente a função básica e identificadas as funções do ST numa sequência lógica, com a aplicação da questão “como” cada função será realizada (sentido da esquerda para direita). Por serem logicamente dependentes, as funções são validadas de maneira iterativa, pela questão “por que” a função é necessária (sentido da direita para esquerda). Paralelamente, são agregadas funções independentes àquelas do caminho lógico (acima destas), bem como atividades de apoio (abaixo), identificadas pela questão “quando”.

As funções de um mesmo ST podem ser modeladas pela *FAST* ou pela modelagem por operações básicas, apesar da diferença de nomenclatura e de representação da estrutura de funções. Na *FAST*, o desdobramento é realizado pela sequência lógica das funções, e não pelo fluxo de grandezas (modelagem por operações básicas). Devido à dependência lógica das funções, se uma função for alterada na *FAST*, suas funções dependentes podem sofrer alterações e serem substituídas. As funções independentes (apoio) são posicionadas na vertical em algumas funções dos caminhos lógicos, sendo consideradas secundárias em escopo e natureza do problema.

Além da modelagem por operações básicas e *FAST*, pode ser utilizada a modelagem de funções baseada na Lei de Funções-Meios (do inglês, *Function-Means Law*), proposta por Tjalve (1979, p.9), Hubka (1980), Hansen e Andreasen (2002, p.99). Conforme mostrado na Fig. 2.6, esta proposição é baseada no princípio da causalidade vertical sob o qual a decomposição das funções é realizada quando os meios (soluções do problema) são selecionados para executarem cada função.

³ Segundo Kaufman e Woodhead, 2006, p.69), as funções de ordem superior estão à esquerda das funções na *FAST*, que respondem “por que?” a função existe no ST. Por ex., duas funções de um isqueiro são: “produzir a chama” e “inflamar o combustível”. A função “produzir a chama” é superior à função “inflamar o combustível”, pois mostra a utilidade dela (sendo esta uma função de ordem inferior), tanto no caminho lógico principal ou secundário.

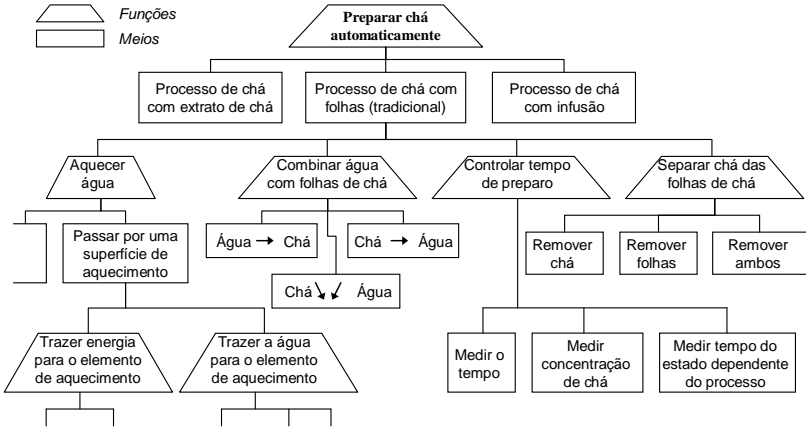


Figura 2.6. Árvore de funções-meios para um ST de preparo de chá (Tjalve, 1979, p.9).

A árvore de funções-meios é detalhada até que os meios sejam soluções técnicas que não mais necessitam de desdobramentos para a solução do problema. Nesse caso, porém, a busca de alternativas fica limitada pela tecnologia selecionada em cada nível, sendo necessário elaborar várias árvores para avaliar alternativas.

Independente da forma de modelagem de funções adotada, cada função da estrutura pode ser realizada por vários princípios de solução (PS). Os PS são sugeridos na atividade de proposição dos princípios de solução (Fig. 2.2), pela experiência dos profissionais e com apoio de métodos de criatividade⁴. Segundo um dos propósitos desta pesquisa, os PS também podem ser sugeridos por processos de ER, mediante a identificação dos PS dos ST existentes, conforme visto no capítulo 4.

Na proposição dos PS, as funções da estrutura de funções são geralmente alocadas numa matriz morfológica, para sistematizar o “campo de soluções” do problema. Para cada função do ST, são propostas alternativas de PS na respectiva linha na matriz.

Assim, é iniciada a geração das concepções do ST (Fig. 2.2). Em cada concepção são combinados os PS compatíveis (um PS de cada função por vez) baseado na experiência dos projetistas. Para auxiliar nesse processo foram encontradas algumas proposições de *software*,

⁴ A seleção do método de criatividade mais adequado depende do problema em questão, dos recursos da equipe de projeto e do tipo das soluções a serem identificadas. Além disso, podem ser utilizados vários métodos de criatividade simultaneamente, dependendo da necessidade. Vários métodos são mostrados em Baxter (2000), Carvalho (1999) e Carvalho (2007).

dentre os quais se destacam: SADEPRO (Fiod Neto, 1993; Silva, 1995); *LiberSolutio* (Cziulik, 1998); SACPRO (Ogliari, 1999); e *Schemebuilder* (Silva, 1998; Bracewell, 2002).

Com as concepções geradas, é iniciada a seleção das concepções finais, considerando o momento atual e versões futuras do mesmo ST, utilizando os métodos de Back (1983), Pugh (1991), Back *et alii.* (2008, p.373), entre outros, além da experiência dos projetistas. A seleção das concepções encerra o projeto conceitual e inicia a fase de projeto preliminar do ST.

2.3. CONSIDERAÇÕES

Foi notado que, num cenário típico de projeção (Fig. 2.7), as atividades da fase de projeto conceitual são baseadas na experiência dos profissionais e em métodos de criatividade. Além disso, são poucas as organizações que executam estas atividades de maneira sistematizada, sendo em parte devido à abstração inerente nestas atividades, sendo necessário suportar o trabalho dos projetistas nos processos criativos.

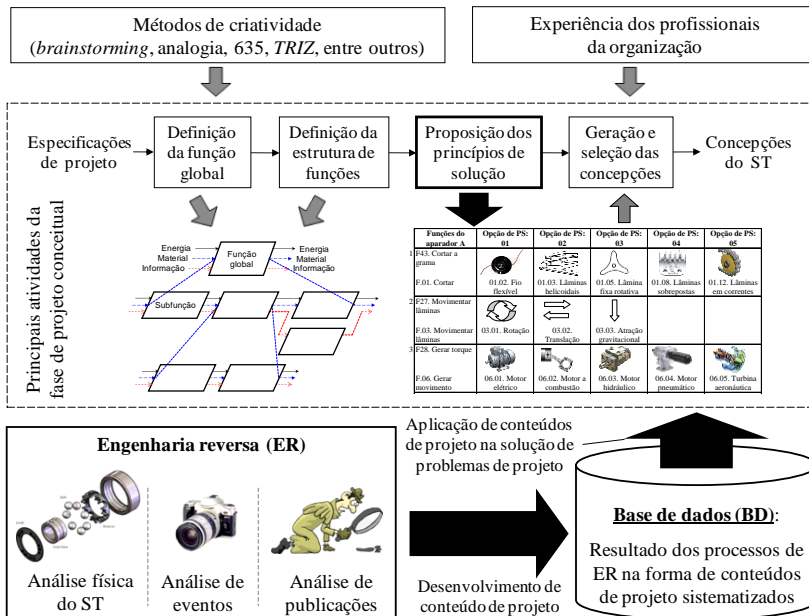


Figura 2.7. O processo de ER como instrumento de auxílio ao desenvolvimento de soluções de projeto.

Conforme mostra a Fig. 2.7, nesta tese considera-se que a ER pode suportar a proposição de soluções na matriz morfológica, atuando de forma complementar aos métodos de criatividade e à experiência dos profissionais. Pela ER, são obtidas e analisadas informações dos ST concorrentes ou inspiradores⁵, de qualquer área de conhecimento, para favorecer a compreensão sobre o contexto de aplicação das soluções analisadas, e assim auxiliar na elaboração de ST inovadores. Tais informações são inseridas numa base de dados (BD), para serem consultadas pelos profissionais durante a projeção.

Nesse sentido (ver no Apêndice A), foi modelada a estrutura de um banco de dados com as informações essenciais da fase de projeto conceitual, para direcionar os esforços de implementação de auxílio para essa fase. Finalizando, foram definidos alguns requisitos para a elaboração da sistemática de ER, que são:

- a) Desenvolver maneiras para que, durante o processo de ER, seja auxiliada a identificação e descrição das funções e dos princípios de solução dos ST existentes;
- b) Viabilizar a comparação dos ST similares, bem como a inserção de funções e de princípios de solução de diversas áreas de conhecimento (ver as diretrizes da sistemática de ER em Montanha Jr., Ogliari e Back, 2007b);
- c) Apesar do foco na fase de projeto conceitual, o modelo de ER e a base de dados devem considerar a necessidade de cada empresa, mediante a possibilidade de inserir informações das outras fases do PDP, ou realizar a adequação da fase de projeto conceitual, se for necessário.

⁵ Os ST “inspiradores” são aqueles que apresentam características inovadoras de interesse da organização, e podem ser avaliados pela engenharia reversa de maneira integral ou parcial.

CAPÍTULO III. ENGENHARIA REVERSA: REVISÃO

Neste capítulo é apresentada a revisão sobre o tema Engenharia Reversa, a fim de formar uma base conceitual para a compreensão do conteúdo e auxiliar a sistematização de um processo de ER voltado à fase de projeto conceitual.

Para tal, serão apresentadas algumas definições e proposições de ER, junto com alguns métodos de apoio. Ao final, são expostas as considerações do capítulo e os requisitos para a elaboração da sistemática, com base nos temas abordados.

3.1. DEFINIÇÕES DE ENGENHARIA REVERSA

A análise dos sistemas técnicos concorrentes é comum nas empresas, principalmente na área de *software*. Visa identificar os elementos constituintes que geram atratividade ao consumidor, bem como suas deficiências (Baxter, 2000, p.131), onde são aproveitados os pontos fortes, e corrigidas as deficiências. Em muitos casos, os ST são obtidos para que sejam copiadas⁶ as soluções bem sucedidas, a fim de reduzir o tempo de desenvolvimento dos novos ST. Tal processo é erroneamente denominado de engenharia reversa.

Por definição, o processo de ER é “um fórum de aprendizado, experimentação e vivência do projeto do produto” (Otto e Wood (2001, p.48). Ou, ainda, uma forma de “extrair o conhecimento de projeto a partir de qualquer coisa feita pelo homem” (Eilam, 2005, p.3). Além disso, a ER geralmente possibilita “extrair características do produto e elaborar abstrações sobre o sistema” (Chikofsky e Cross II, 1990, p.15).

Para Raja e Fernandes (2008, p.2), a ER é “a transcrição de objetos físicos existentes para modelos virtuais e informações técnicas, utilizando prototipagem rápida. Também, é o processo de duplicar uma peça existente, submontagem, ou produto, sem desenhos, documentação ou modelo computacional. É ainda o processo de obtenção de um modelo geométrico em *CAD* a partir de pontos adquiridos pelo escaneamento e a digitalização de peças ou produtos existentes”.

⁶ A cópia tende reduzir o tempo e o custo de desenvolvimento de ST, o que a torna atrativa. Mas é uma prática prejudicial, pois a organização se torna dependente daqueles que oferecem os ST originais. Além disso, a cópia fragiliza a estrutura organizacional, pois os profissionais dificilmente terão domínio de todas as tecnologias dos ST (apenas parte destas), uma vez que o conceito principal – domínio das tecnologias envolvidas nos ST e nos processos produtivos da organização, segundo o conceito de competência essencial de Prahalad e Hamel (1990) – é dominado pelo fabricante do ST ou pelos fornecedores dos elementos analisados no ST.

Nesta pesquisa a ER é entendida como:

“Processo de obtenção e análise de informações oriundas de ST existentes, visando auxiliar no desenvolvimento de novos sistemas técnicos e processos de manufatura.”

Nas próximas seções, será apresentado o processo de ER, junto com os principais métodos de apoio, visando obter subsídios para a sistematização do processo de ER, que é a finalidade desta tese.

3.2. PROCESSO DE ENGENHARIA REVERSA

Para obter informações relevantes e comparáveis de um ST, o processo de ER deve ser sistemático, considerando as principais etapas do ciclo de vida do ST, bem como os aspectos legais⁷ e do ambiente comercial. Isto auxilia no entendimento do contexto de aplicação das tecnologias dos ST analisados, pois muitas organizações que realizam análises de ER se limitam à desmontagem técnica, de maneira informal e pontual, para resolver problemas específicos dos ST próprios.

Pela ER, são analisadas informações que podem suprir todas as fases do processo de desenvolvimento de produto (PDP). Neste aspecto, foi observado que, em geral, o processo de ER pode ser realizado por três tipos de análises: análise física do ST, análise de eventos especializados nos temas de interesse, e análise de publicações. A análise física apresenta-se como uma das principais fontes de informação por ser mais completa (o ST passa por diversas análises), sendo as demais complementares.

Na análise de eventos, são selecionados eventos relacionados ao mercado pretendido, para identificar os ST de referência e elementos de inovação para os ST e os processos produtivos da organização, bem como identificar potenciais ST a serem avaliados na análise física. Já a análise de publicações é um processo contínuo de monitoramento de informações pré-selecionadas e patentes, que mantém os profissionais atualizados em relação às características e tendências do mercado onde pretendem atuar. Disto, podem ser planejadas ações para evitar os riscos ao negócio, tais como: atuar num novo mercado, desenvolver novos ST, aperfeiçoar os ST existentes ou descontinuar um ST.

⁷ Devem ser considerados os aspectos legais de uso das tecnologias e conhecimentos de terceiros, caso estejam protegidos (evitando a apropriação indevida por plágios e falsificações) mediante a consulta de marcas e patentes.

Todas as três formas de análise de ER serão abordadas na revisão. Contudo, serão priorizadas as proposições e métodos de apoio que possam apoiar a fase de projeto conceitual. Além disso, a análise física terá maior detalhamento, pois é realizada por muitas empresas, de maneira informal e pontual, onde a pesquisa espera contribuir pela proposição de conceitos e métodos apropriados. As análises de eventos e de publicações serão apresentadas como análises complementares.

3.2.1. Análise física do sistema técnico

A análise física do ST é a mais abrangente dentre as três formas de análise de ER, pois pode envolver vários tipos de análise, segundo o escopo do *projeto* de ER. Logo, não deve ser fundamentada somente na desmontagem técnica dos ST, como é visto em muitas empresas.

Assim, a proposição de Abe e Starr (2003) se apresenta como a mais representativa dentre as demais estudadas, sendo aqui adotada como referência. Tal proposição possui seis fases para o processo de ER, enfocando a análise física:

1. Especificações iniciais;
2. Observações e prática;
3. *Teardown* (desmontagem técnica);
4. Identificar as variáveis de projeto;
5. *Benchmarking* (análise comparativa);
6. Reprojeto.

A fase de especificações iniciais – também proposta pelas abordagens de Otto e Wood (1996a; 1996b; 2001), Dhillon (2002) e US ARMY (2006) – avalia a solicitação da organização quanto às análises de ER e seus aspectos legais. Também são discutidas as especificações de projeto para avaliar o que será realizado na ER.

Na segunda fase, de observações e prática, as características do ST são identificadas. Estas são classificadas segundo os requisitos de desempenho, de manufatura, operacionais, de padronização e de descarte. É ainda elaborado o esboço e a descrição do mecanismo (solução) que fornece a função primária. Noutro momento, o ST é operado, onde são descritos os pontos fortes e pontos fracos de sua utilização, a fim de caracterizar elementos a serem valorizados e otimizados, bem como as deficiências a serem resolvidas. Esta fase de observações também foi sugerida por Otto e Wood (1996a; 2001), e denominada de “investigação, predição e hipóteses”.

A partir da fase de observações, é iniciada a fase de desmontagem técnica do ST, ou *teardown*. Nesta fase, o ST é desmontado para descobrir como cada componente se combina para satisfazer a função global e as suas especificações. As atividades sugeridas são: propor a sequência de etapas de desmontagem; desmontar o produto seguindo tais etapas; e registrar as informações em formulários.

De maneira complementar, Otto e Wood (2001, p.198-203) sugeriram as seguintes subatividades de *teardown*:

- a) Listar características (assuntos de *projeto*) a explorar: esta listagem auxilia a enfocar a atividade no “que”, antes de “como”, e assim pode auxiliar na formação de indicadores para o processo de *teardown*. Os fatores geralmente listados são: quantidade de peças por unidade de ST; dimensões; massa; material; cor e acabamento superficial; processo de manufatura; geometria; tolerâncias; funções essenciais; custo de cada componente ou subconjunto, entre outros;
- b) Preparação para o *teardown*: depois de identificar os assuntos a serem analisados, devem ser identificadas todas as ferramentas necessárias para realizar o *teardown*, incluindo os sensores e equipamentos de teste necessários às medições;
- c) Avaliar a distribuição e a instalação do ST: também devem ser analisados aspectos logísticos do ST, em termos de como adquirir peças, embalar, transportar, distribuir, e vender o ST. Pode ser que o ST tenha boa qualidade técnica, mas seja deficiente em termos comerciais e logísticos;
- d) Desmontar, medir e analisar dados: o ST é fotografado e medido antes de ser desmontado. Deve-se: (i) analisar a montagem; (ii) fotografar o ST desmontado em vista explodida (simula a ordem de montagem); (iii) realizar medições nos componentes e montagens para completar as planilhas de dados. Devem ser evitados testes destrutivos, para garantir que o ST continue funcionando;
- e) Formar uma lista de materiais: também chamada *BOM (Bill of Materials)*, consiste em completar uma lista sobre detalhes técnicos do ST. As informações são registradas nesta lista e/ou numa base de dados para auxiliar nos novos *projetos*.

Na preparação da desmontagem técnica (atividades “a”, “b” e “c” sugeridas por Otto e Wood, 2001) – devem ser realizadas avaliações iniciais sobre as características gerais do ST, bem como preparar o ambiente onde ocorrerá tal processo. Também, definir os profissionais e

equipamentos necessários à desmontagem do ST, conforme sugerem Sato e Kaufman (2005, p.67-80) e Colli (2006).

Entre os meios para avaliar os componentes desmontados, destaca-se o *SOP* – *Subtract and Operate Procedure* (do inglês, Procedimento de Subtrair e Operar – Otto e Wood, 2001, p.161). O *SOP* visa analisar a interdependência dos componentes, identificar suas funções e verificar o que acontece caso sejam removidos do ST: identifica componentes desnecessários a serem combinados ou removidos. Otto e Wood (2001, p.205) sugerem seis etapas para o *SOP*:

- a) Desmontar (subtrair) um componente do ST, em qualquer ordem. Pode ser necessário remover outros componentes para obter o componente desejado para a análise (pré-requisitos). Estes componentes “pré-requisitos” devem ser montados novamente no ST, se possível, antes de operar o ST;
- b) Operar o ST plenamente (só falta o componente em análise), o qual deve ser testado quanto aos requisitos dos usuários, para verificar os efeitos da remoção do tal componente;
- c) Analisar o efeito. É geralmente complementado por uma análise visual. Porém, pode ser necessário utilizar um dispositivo de teste se o efeito da remoção não for óbvio;
- d) Deduzir a subfunção do componente faltante. A partir do terceiro passo, deve ser deduzida a subfunção do componente faltante, onde o maior foco deste passo são as mudanças durante a operação. Tal mudança é crítica na determinação da funcionalidade do ST;
- e) Substituir o componente e repetir o procedimento. Substituir o componente e repetir o procedimento “N” vezes, onde N é o número de componentes do sistema (ou subsistema) do ST em análise. Os resultados devem ser documentados em uma tabela e o componente deve ser novamente montado. Em alguns casos, pode ser necessário analisar um ST, de acordo com as sub montagens e componentes;
- f) Organizar as funções do ST numa árvore de funções, pelo agrupamento das funções identificadas no quinto passo, em grupos afins. Cada grupo se torna um nó de descrição funcional de maior nível.

Terminado o *SOP* de um componente, este é novamente montado no ST e o ciclo do *SOP* reinicia para outro componente. As funções de cada componente são identificadas a partir da observação da operação do ST sem o componente. Por isso, o *SOP* deve ser executado por uma

equipe multidisciplinar que represente os setores da organização. As informações obtidas são inseridas numa planilha conforme exemplo mostrado no Quadro 3.1.

Ao final do *SOP*, o ST é todo desmontado e os seus componentes são posicionados de forma a gerar a imagem de “vista explodida”.

Número da peça/ montagem	Descrição da peça	Efeito da remoção	Dedução da subfunção e necessidades dos consumidores
A-1	Montagem do eixo	-	-
A-1.1	Flange superior	Liberdade de giro 360°	Permite regular a movimentação
A-1.2	Eixo rotativo	Não transfere torque	Transmite torque
A-2	Montagem do braço	-	-
...

Quadro 3.1. Exemplo de planilha *SOP* (Otto e Wood, 2001, p.207).

A quarta fase proposta por Abe e Starr (2003), identificação das variáveis de projeto, é composta de seis atividades:

- a) Criar uma lista de materiais (*BOM*) com funções associadas. É elaborada uma lista de materiais com os componentes individuais, são identificadas submontagens nesta lista, e é produzida uma descrição sobre as funções dos componentes;
- b) Analisar os mecanismos e sua estrutura. São identificadas funções gerais e parciais (árvore de funções), os mecanismos que satisfazem cada função (princípios de solução), e o diagrama de fluxo de força e movimento;
- c) Analisar a integridade estrutural. Analisar as interconexões que permitem a realização da função global, representando as interfaces de união entre o usuário e o ST, entre partes e montagens, e entre o ST e seu ambiente de aplicação;
- d) Analisar os requisitos de desempenho. Define as relações entre mecanismos, estruturas e o desempenho do ST;
- e) Gerar as variáveis de projeto. Identificar as variáveis de projeto e as unidades delas, para controlar o desempenho das funções; e
- f) Analisar as variáveis de projeto. São criadas especificações técnicas para o ST, com os valores das variáveis de projeto.

Na fase de *benchmarking*, segundo Abe e Starr (2003), é realizada a análise comparativa das informações obtidas de um ST com outros ST analisados. Visa identificar elementos de projeto que possam ser aproveitados no *projeto* do ST da organização, bem como deficiências a serem resolvidas. No *benchmarking*, são comparadas as características e especificações dos ST analisados, sem abranger diretamente os aspectos gerenciais. São destacados os pontos fortes e as deficiências dos ST, para priorizar o esforço de desenvolvimento nos elementos do ST com maior valor agregado, pois terão maiores chances de aumentar a atratividade do ST no mercado, perante os concorrentes.

A partir das comparações e da identificação dos pontos fortes e deficiências do ST, é encerrada a fase de *benchmarking*, para iniciar a última fase de *reprojeto do ST*, conforme sugerido por Abe e Starr (2003). Nesta fase são criadas variações (concepções alternativas) do ST que realizem a mesma função global, para projetos novos e aperfeiçoamentos. Para tal, são realizadas as atividades típicas de projeto: desenvolver as especificações do ST; desenvolver, selecionar e descrever concepções do ST; realizar o projeto preliminar e detalhado.

Otto e Wood (2001) sugerem três tipos de reprojeto: paramétrico (modificar os parâmetros ou dados técnicos do ST), adaptativo (adaptar algumas soluções técnicas às funções do ST atual), e reprojeto original (são consideradas novas funções e soluções ao ST). Todas estas três formas podem ser auxiliadas pelas informações obtidas na ER que podem suprir todos os projetos da organização, seja projeto original ou reprojeto (de qualquer forma).

Assim encerra-se o processo geral de ER de Abe e Starr (2003), cuja ênfase é na análise física do ST. Boa parte deste processo foi visto pelo pesquisador numa visita técnica de 40h num fabricante automotivo brasileiro, o qual é devidamente apresentado em Colli (2006) e em Montanha Jr., Ogliari e Back (2007b).

Nas seções seguintes, serão apresentadas as análises de eventos e de publicações, complementares à análise física.

3.2.2. Análise de eventos

De maneira complementar à análise física, pode ser realizada a análise de eventos que apresentam os principais ST dos mercados onde a organização pretende atuar. Giacaglia (2008, p.7) cita os benefícios que os eventos trazem às organizações: estreitamento de relações com os clientes; apresentação de produtos/serviços da empresa para seu mercado-alvo; ganho de novos clientes e geração de uma lista de

contatos (*mailing*) de prospecção; obtenção de informações sobre o mercado e os concorrentes; venda ou transmissão de informações ao canal de vendas; atualização profissional técnica; alavancagem da imagem institucional; estabelecimento de novos contatos comerciais; e o lançamento de novos produtos.

Em termos mais técnicos, nestes eventos são realizados contatos com os principais e potenciais clientes dos ST em desenvolvimento: usuários; fornecedores de equipamentos e de serviços terceirizados de manufatura necessários à fabricação dos ST (vide Costa, 2002, p.58, 82); e fornecedores de componentes. Também são apresentados os novos ST da organização para permitir uma avaliação inicial da aceitação dos novos ST. São ainda identificados os concorrentes e seus ST no mercado, de onde podem ser sugeridos elementos de inovação e os processos da organização, bem como identificar potenciais ST a serem avaliados na análise física.

Em termos de procedimentos, foram identificadas três etapas para a análise de eventos, com base em Colli (2006), Giacaglia (2008) e Montanha Jr. *et alii.* (2008). São elas: (i) planejamento; (ii) participação no evento; e (iii) análise dos resultados obtidos.

Na primeira etapa, é planejada⁸ a participação no evento e o preparo dos recursos necessários à análise do evento. Inicialmente é selecionado o evento e definido o objetivo da participação no mesmo. É então obtido o mapa do evento, onde são destacados os locais das organizações e os ST a serem analisados. Disto, é definida a equipe de análise e é elaborada a rota de cada equipe (sequência de organizações e dos ST a serem avaliados), bem como o plano de obtenção das imagens padronizadas dos ST, e ainda das informações comerciais e técnicas.

A equipe de ER executa o plano do evento e, ao final, retorna para a organização com os materiais e imagens obtidas. Disto, a equipe de ER inicia a análise dos resultados, onde inicialmente são agrupados por segmentos de atuação afins os materiais publicitários e técnicos, os contatos profissionais, bem como as fotografias padronizadas dos ST analisados. Também podem ser elaboradas apresentações direcionadas aos temas de interesse da organização, para favorecer a análise comparativa dos ST e o registro dos resultados em relatórios e bases.

Equipes multidisciplinares comparam as informações dos ST do mesmo segmento que possam ser potenciais concorrentes do ST a ser desenvolvido. São assim geralmente identificados elementos comuns e

⁸ Giacaglia (2008, p.69) sugere 22 passos para o planejamento da participação em feiras, do ponto de vista da exposição da organização em estandes.

inovações que podem delinear alguns conceitos do novo ST, bem como apresentar, de forma preliminar, parâmetros básicos de projeto. Noutro aspecto, a análise comparativa dos ST pode indicar um ST de referência do mercado, que possa ser obtido para a realização da análise física, caso seja solicitado pela organização.

De forma complementar, Giacaglia (2008, p.216, 243) apresenta maneiras de avaliar os resultados do evento, de forma institucional e comercial, considerando as análises quantitativas e qualitativas. São considerados: as características técnicas e mercadológicas de novos lançamentos da concorrência, faixas de preço praticados pelo mercado para produtos e serviços similares aos da empresa, material de propaganda e publicidade da concorrência, qualidade dos profissionais de venda do mercado em comparação com os da empresa, segmentos de atuação dos concorrentes e ainda as necessidades não atendidas pelo mercado e manifestadas pelos visitantes da feira, entre outros. Ao final das análises, é elaborado um relatório com todas as etapas do evento.

3.2.3. Análise de publicações

De maneira complementar à análise física, a análise de publicações também visa gerar subsídios para analisar a concorrência, pelo monitoramento das publicações com temas de interesse. Para tal, são designados profissionais internos, que podem utilizar sistemas de apoio⁹ ou terceirizar o serviço junto às empresas especializadas em clipagem¹⁰. Muitas organizações preferem realizar o monitoramento internamente, por ser uma atividade estratégica, onde costumam omitir a prática e os assuntos monitorados.

As publicações são de natureza física (teses, dissertações, patentes, revistas, catálogos, *folders*, jornais, artigos) e eletrônica (sítios de busca, sítios das organizações concorrentes e fornecedores, bases de patentes, portais de comércio eletrônico, fóruns sobre os temas de interesse, redes de relacionamento, entre outras fontes). Muitas organizações priorizam as mídias eletrônicas, principalmente os sítios de busca e dos concorrentes, por serem de fácil e rápido acesso.

⁹ Como sistemas de apoio ao monitoramento de publicações, podem ser utilizadas planilhas com as palavras-chave a serem inseridas nos sítios de busca (exemplo: *Google*), de onde serão coletadas as informações solicitadas para posterior análise. Também podem ser utilizados sistemas específicos para monitoramento de informações que capturem informações de *feeds* ou atualizações em tecnologia RSS (*Really Simple Syndication*) e perfis do *Twitter*.

¹⁰ Exemplos de empresas que fornecem o *clipping*: Centro de Informação Metal-Mecânica (www.cimm.ufsc.br) e Top Clip Monitoramento e Informação (www.topclip.com.br/).

Porém, apesar de serem pouco exploradas, as bases de patentes¹¹ contém informações relevantes de conceitos patenteados aplicáveis, na descrição do princípio de funcionamento. Tal descrição favorece o entendimento destes conceitos, que podem inspirar a proposição de princípios de solução inovadores, para aplicações em outras áreas de conhecimento. Há ainda a possibilidade de uso da patente mediante licença ou aquisição.

Além da pesquisa na base de dados de patentes, podem ser acessados e encomendados estudos setoriais realizados pelo Centro de Divulgação, Documentação e Informação Tecnológica (CEDIN) do INPI (2010)¹². São oferecidos quatro tipos de estudos, que são:

- a) Prospecção tecnológica: tendências tecnológicas em setores industriais, utilizando principalmente informações contidas em documentos de patente de bases nacionais (banco de patentes e bases em *CD-ROM*) e internacionais (On-Line), e outras de ordem econômica e mercadológica;
- b) Monitoramento tecnológico: mostram a evolução de uma tecnologia ao longo do tempo, com base nas informações contidas em documentação de patentes disponíveis no CEDIN e em bases de dados internacionais;
- c) Disseminação tecnológica: publicação em síntese do estado da técnica de uma determinada tecnologia, pela folha de rosto de documento de patente, acrescida de informações contidas em bases de dados de documentos de patente disponíveis em *CD-ROM* no CEDIN;
- d) Radiografia tecnológica: estudo detalhado de uma tecnologia num determinado período, pela seleção dos documentos de patentes brasileiros mais relevantes, possibilitando o diagnóstico do estado da arte no país.

Os estudos setoriais podem ser encomendados ao INPI, junto com outras análises, tais como: busca de patentes realizada por profissionais do CEDIN; busca de família de patentes sobre um dado assunto; busca estatística em documentos de patente brasileiros; e o PROFINT, programa de fornecimento automático de informação tecnológica baseado em documentos de patentes nacionais e internacionais.

¹¹ É sugerida a consulta às bases do *Google Patents* (<www.google.com/patents>), *USPTO* (<www.uspto.gov/>), *EPO* (<<http://ep.espacenet.com/>>) e *INPI* (<www.inpi.gov.br>).

¹² Sítio: <www6.inpi.gov.br/informacao_tecnologica/estudos/estudos.htm#prospeccao>. Acesso em: 27 de outubro de 2010.

Contudo, nota-se que o monitoramento das publicações pode ocorrer internamente, por uma equipe que tenha familiaridade com os assuntos abordados e uma lista das fontes e assuntos, ou externamente, por profissionais especializados na clipagem, conforme já citado. Em ambos os casos, devem ser disponibilizados à organização os dados dos ST (especificações, preços, materiais, entre outras), que podem ser inseridos na base de dados, e relatórios relevantes com as informações obtidas e analisadas a partir das publicações.

3.3. CONSIDERAÇÕES

Nesse capítulo foram estudadas as proposições de ER mais adequadas ao apoio à fase de projeto conceitual considerado no escopo da tese. Algumas proposições foram mostradas de forma mais detalhada, por apresentarem mais subsídios ao processo de ER, onde outras foram citadas em atividades específicas, complementando as proposições mais abrangentes. Do estudo das proposições, foram identificadas atividades comuns de ER, para auxiliar na sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos, conforme o Quadro 3.2.

Principais atividades do processo de engenharia reversa	Caracterizar o mercado do ST	Analisar a interação usuário-ST	Avaliar o desempenho do ST	Caracterizar os componentes	Avaliar os aspectos de desmontagem	Identificar as funções dos componentes	Identificar os princípios de solução	Análise de valor das funções	Análise comparativa das soluções	Análise de eventos	Análise de publicações
Abe e Starr (2003)		O	X	X	X	X	X		X		
Otto e Wood (1996a; 1996b; 2001)	O	O	X	X	X	X	X				
Sato e Kaufman (2005)				X	X	X		X	X		
Kaufman e Woodhead (2006)				X	X	X		X	X		
Colli (2006)	O	O	X	X	X	O	O	X	X	X	X
Giacaglia (2008)	O									X	

Legenda: X – muito utilizado O – pouco utilizado

Quadro 3.2. Principais atividades e proposições de ER.

Apesar da escassez de proposições das análises complementares de eventos e de publicações, sob o enfoque da engenharia reversa, ambas não serão consideradas na sistemática de ER, pois grande parte dos resultados de engenharia reversa provém das análises físicas do ST.

Estas compreendem a avaliação do desempenho do ST, das condições de interação usuário-ST (ergonomia), e das soluções internas do ST (caracterizar os componentes, avaliar os aspectos de desmontagem, e identificar as funções e os princípios de solução dos componentes).

Muitas vezes as análises não consideram o contexto da aplicação, principalmente nas organizações e são superficiais. A compreensão dos resultados obtidos depende da experiência dos profissionais, o que fragiliza as análises. Em parte, tal situação reflete a cultura das organizações, que procuram não expor seus métodos (o que prejudica as pesquisas nesta área), tampouco buscar auxílio em métodos formais de ER, tanto desenvolvidos internamente quanto aqueles da literatura.

As organizações deixam então de aproveitar os resultados das análises sistemáticas e abrangentes de ER sobre os ST concorrentes, que podem auxiliar no processo de geração de soluções inovadoras do PDP, sobretudo na fase de projeto conceitual (em paralelo com os métodos de criatividade e a experiência dos profissionais).

Assim, a partir das abordagens deste capítulo, foram propostos alguns requisitos de apoio à sistematização do processo de ER:

- a) O processo de ER deve considerar as principais atividades comuns sugeridas nas abordagens de ER deste capítulo e citadas no Quadro 3.2, as quais devem ser avaliadas quanto à adequação ao contexto da fase de projeto conceitual¹³;
- b) A sistematização do processo de ER deve considerar formas padronizadas de modelagem de informações da literatura, para facilitar a realização de modificações futuras no modelo de ER e na base de dados (BD). As mudanças podem ser necessárias para adequar o modelo de ER à realidade das organizações, em termos das fases do PDP, das atividades da sistemática de ER e dos meios de apoio.

Tais requisitos irão auxiliar no processo de avaliação da sistemática de ER e da estrutura da base de dados propostos, os quais são mostrados no quinto capítulo. No quarto capítulo, seguinte, é vista a sistematização do processo de ER, junto com a sistemática de ER.

¹³ Conforme citado no final do segundo capítulo desta tese, o processo de ER deve considerar aspectos do processo de projeção dos ST, tais como as funções e princípios de solução, para auxiliar os projetistas durante a execução das atividades da fase de projeto conceitual.

CAPÍTULO IV. SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ENGENHARIA REVERSA

Neste capítulo, é apresentada a sistematização do processo de engenharia reversa de sistemas técnicos, que resultou no modelo de ER. Inicia-se com a introdução sobre a importância e o papel da engenharia reversa como instrumento de auxílio ao processo de desenvolvimento de produtos, passando para os procedimentos de elaboração da sistemática e finalizando com a apresentação de seu conteúdo.

4.1. INTRODUÇÃO

Na revisão do PDP, foi notada a necessidade de propor soluções que potencializem a inovação nos ST. Nisto, conforme ilustra a Fig. 2.7, a ER se propõe ao auxílio no desenvolvimento de soluções de projeto, com foco no projeto conceitual, mediante a obtenção e análise de informações dos ST existentes. Assim, ampliando aquela visão, é proposta a sistematização do processo de ER, para auxiliar na resposta aos típicos problemas que se apresentam ao longo do PDP, conforme mostrado na Fig. 4.1.

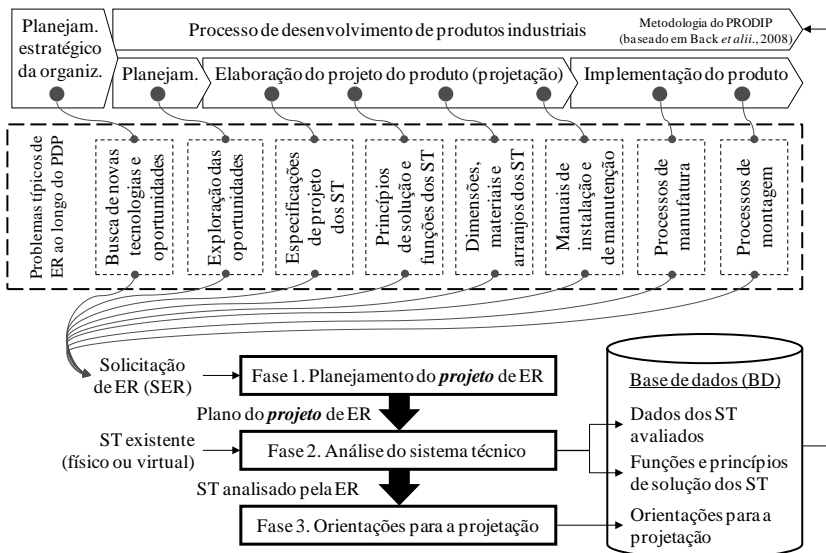


Figura 4.1. Visão conceitual da sistemática de ER.

Conforme ilustrado na Fig. 4.1, um ou mais problemas típicos de ER, identificados pelos profissionais da organização ao longo do PDP, podem originar uma Solicitação de Engenharia Reversa (SER). Esta é um pedido de obtenção e análise de informações dos ST existentes, mediante a execução de um **projeto** de ER, cujos resultados serão utilizados nas atividades do PDP.

Por exemplo, numa busca por novas tecnologias e oportunidades, o **projeto** de ER possivelmente será direcionado para a identificação das características do mercado pretendido: perfil dos usuários potenciais do novo ST, bem como as características dos ST concorrentes e inspiradores (tem as características desejadas para um novo ST, independente do mercado selecionado pela organização). Já, um problema de ER relacionado a necessidade de identificar princípios de solução e funções dos ST requisita um estudo de ER voltado à análise das soluções de algum ST de referência, a partir da desmontagem do ST.

A partir da SER, inicia-se então um processo de ER, composto de três fases. Na primeira, planejamento do **projeto** de ER, são abordados os aspectos gerenciais do **projeto**, segundo o *PMBoK* (PMI, 2004). Na segunda fase, o sistema técnico é submetido à análise física, considerando as características comerciais e técnicas, bem como as funções e os princípios de solução, para auxiliar na busca de inovações para os novos ST. Na terceira, são propostas recomendações de projeto a partir dos resultados obtidos na análise física.

A base de dados (BD) na Figura 4.1 tem a função de armazenar e disponibilizar as informações obtidas no processo de ER, incluindo dados dos ST e orientações de projeção.

4.2. MODELAGEM DO PROCESSO DE ER

Para sistematizar o processo de ER e orientar a elaboração da BD, foram considerados os requisitos citados no final do segundo e terceiro capítulos da tese. Partindo dos requisitos, foram adotados os principais passos de modelagem de processos, citados em Romano (2003, p.107):

- a) Definição da estrutura para a representação do modelo de referência: na modelagem das informações, foram utilizados fluxogramas baseados no *IDEFIX* (Presley, 1997, p.41; Kern, 2000) e, na representação da sistemática, as estruturas de Romano (2003) e Back *et alii.* (2008);
- b) Definição das fases e as atividades de cada fase: baseado nos processos de obtenção e análise de informações da ER;

- c) Definição das saídas desejadas para cada fase: tais saídas são as informações utilizadas no PDP, principalmente aquelas da fase de projeto conceitual, conforme mostrado na estrutura da base de dados (Fig. A.7);
- d) Verificação da consistência do modelo de referência: pela aplicação da sistemática de ER em exemplos. Vide os exemplos de análise física nos Apêndices F e G;
- e) Avaliação do modelo de referência: avaliação realizada por especialistas e usuários típicos (quinto capítulo da tese).

Foram então propostas as atividades do processo de ER, a partir da lista de atividades comuns de ER, mostradas no Quadro 3.2, a qual se baseou nos subsídios dos capítulos de revisão, no estudo do processo de ER numa organização (Colli, 2006), junto com a experiência da equipe de pesquisa. Já, a estruturação das atividades da sistemática ocorreu pela análise lógica dos fluxos de entrada e saída de cada atividade.

Assim, foram elaborados exemplos de análise física, para avaliar a consistência da sistemática e da estrutura da BD, para os passos “d” e “e”: um estudo integral (aparelho de grama) e um parcial (compressor). A Fig. 4.2 mostra uma visão geral da sistemática de ER, com as fases:

- Fase 1. Planejamento do projeto de ER: visa definir os aspectos gerenciais do **projeto** de ER;
- Fase 2. Análise do sistema técnico: executa as análises de ER, conforme a solicitação de ER e o escopo do **projeto** de ER;
- Fase 3. Orientações para a projeção: propõe orientações para a projeção dos novos ST, a partir dos resultados da ER.

As atividades da sistemática de ER podem ser modificadas pelas organizações, conforme a necessidade: quantidade de atividades (inserir ou remover), nível de detalhamento da atividade, e os meios de apoio (específicos para a organização). Todas as fases são mostradas a seguir.

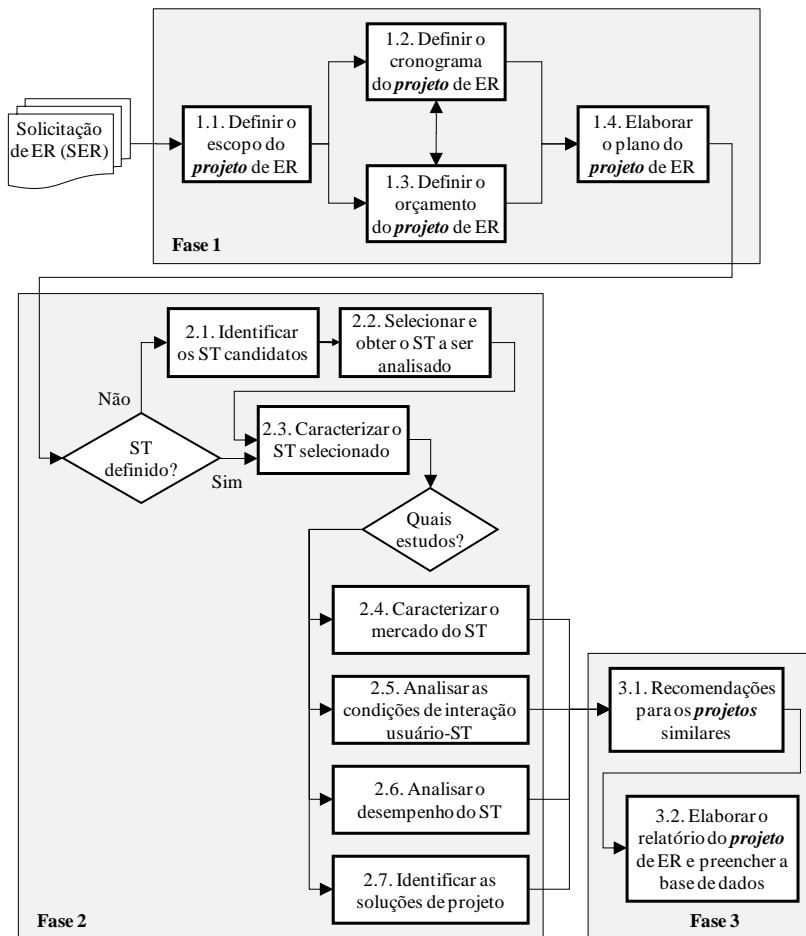


Figura 4.2. Fases e atividades da sistemática de engenharia reversa.

Todas as fases, atividades e meios de apoio propostos na sistemática de ER foram representadas numa estrutura integrada de ER, mostrada no Apêndice C. Esta tem como finalidade orientar os profissionais da equipe de ER quanto à execução das análises de ER previstas no escopo do *projeto* de ER. Ao longo das próximas seções será visto o detalhamento das fases e atividades de ER propostas, mostradas na Fig. 4.2 e no Apêndice C.

4.3. FASE 1. PLANEJAMENTO DO PROJETO DE ER

Na primeira fase, mostrada na Fig. 4.3, são definidos os aspectos gerenciais do *projeto* de ER, a partir da solicitação de ER. Visa avaliar a necessidade dos estudos e programar os recursos.

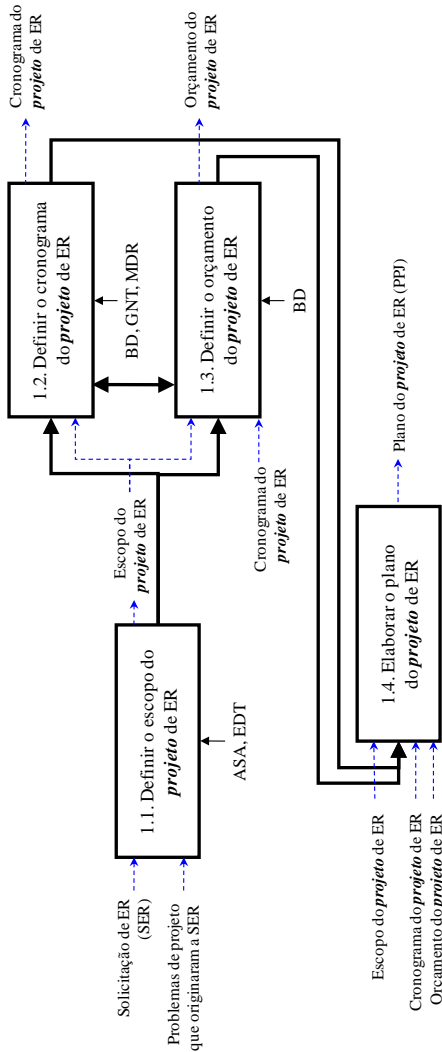


Figura 4.3. Atividades da fase 1: planejamento do *projeto* de ER.

Os meios citados nas atividades da fase 1 estão no Quadro 4.1.

Sigla	Meio	Origem	Atividades vinculadas
ASA	Quadro de auxílio à seleção das análises de ER	<i>Proposto nesta tese</i>	1.1
BD	Base de dados de <i>projetos</i>	<i>Apêndice A desta tese</i>	1.2, 1.3, 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 3.1
EDT	Estrutura de desdobramento do trabalho (<i>WBS</i>)	Back <i>et alii.</i> (2008, p.127)	1.1
GNT	Gráfico de <i>Gantt</i>	Back <i>et alii.</i> (2008, p.143)	1.2
MDR	Matriz de designação de responsabilidades	Coral, Ogiari e Abreu (2008, p.168)	1.2

Quadro 4.1. Meios citados na fase 1 da sistemática de ER.

Conforme mostram as Fig. 4.2 e 4.3, a solicitação de engenharia reversa (SER) inicia a fase 1. Esta pode ser originada de qualquer fase e momento do processo de desenvolvimento de produtos (Fig. 4.1), de acordo com as necessidades do *projeto*. A SER é vista no Quadro 4.2.

Nome da organização	Projeto:
<i>Nome do solicitante:</i>	<i>Matrícula:</i>
<i>Setor:</i>	<i>Telefone:</i>
<i>E-mail:</i>	<i>Data:</i>
<i>Descrição e justificativa da solicitação de ER</i>	
<u>Descrição e justificativa da solicitação:</u>	
<u>Origem da solicitação</u> (setor, atividade do PDP):	
<u>Nicho(s) de mercado de interesse:</u>	
<u>Projeto(s) relacionado(s):</u>	

Quadro 4.2. Estrutura da solicitação de ER (SER).

Essa solicitação visa contribuir com a sistematização das informações do processo de ER. Nela, o profissional que elaborou a solicitação se identifica, descreve e justifica o pedido e deve citar a origem da solicitação (setor, atividade do PDP), o nicho de mercado de

interesse (caso haja algum, indicando os prováveis ST vinculados ao estudo) e os *projetos* da organização relacionados à SER, visando favorecer a busca de informações sobre os ST analisados.

Tendo sido preenchida, a SER é então avaliada previamente por coordenadores, em termos da importância e da viabilidade financeira. Se for aprovada, inicia-se o *projeto* de ER, propriamente dito.

4.3.1. Atividade 1.1. Definir o escopo do projeto de ER

Da solicitação de ER aprovada é definido o escopo do *projeto*. Inicialmente, avalia-se a abrangência (análise física integral ou parcial):

- a) Análise física integral: todo o ST é avaliado por todas as análises propostas no modelo de ER. São realizadas todas as atividades das fases 2 e 3 da sistemática. Essa é realizada quando se solicita informações de vários aspectos de um ST, visando entender os conceitos utilizados para lançar um novo ou aperfeiçoar algum ST interno;
- b) Análise física parcial: é uma análise parcial de ER, em termos da quantidade de componentes e dos tipos de análises requisitadas. Podem ser executadas todas as atividades das fases 2 e 3 da sistemática, ou algumas delas, somente nos subsistemas ou componentes de interesse. Feita quando são solicitadas informações que não precisam ser muito detalhadas de algum ST ou uma parte deste. Ainda podem ser solicitadas análises específicas, porém detalhadas, de algum subconjunto do mesmo.

Nas análises integrais de ER, são selecionadas todas as atividades da sistemática de ER. Para definir as atividades das análises parciais de ER, pode ser utilizado o quadro de auxílio à seleção das análises de ER (ASA), visto no Quadro 4.3. Nele, a solicitação é avaliada em relação aos problemas típicos de ER ao longo do PDP (Fig. 4.1) que a originaram, bem como às solicitações de informações especificadas.

Atividades do <i>projeto</i> de ER	Problemas típicos de ER ao longo do PDP							
	Busca de novas tecnologias e oportunidades	Exploração das oportunidades	Especificações de projeto dos ST	Princípios de solução e funções dos ST	Dimensões, materiais e arranjos dos ST	Manuais de instalação e de manutenção	Processos de manufatura	Processos de montagem
Atividade 2.1, Identificar os ST candidatos	X	X	X	O	O			
Atividade 2.2, Selecionar e obter o ST a ser analisado	O	O	X					
Atividade 2.3, Caracterizar o ST selecionado	X	X	X	O	O		O	O
Atividade 2.4, Caracterizar o mercado do ST	O	O			O	O		
Atividade 2.5, Analisar as condições de interação usuário-ST			X		X	X		
Atividade 2.6, Analisar o desempenho do ST			X		X	X	O	O
Atividade 2.7, Identificar as soluções de projeto			X	X	X	X	X	X
Atividade 3.1, Recomendações para os projetos similares	X	X	X	X	X	X	X	X
Atividade 3.2, Elaborar o relatório do projeto de ER e preencher a base de dados	X	X	X	X	X	X	X	X

Legenda: X (atividade recomendada); O (opcional)

Quadro 4.3. Quadro de auxílio à seleção das análises de ER (ASA).

No Quadro 4.3, foram sugeridas as atividades que servem para a obtenção e análise de informações voltadas ao desenvolvimento de novos ST, e ainda ao aperfeiçoamento dos existentes. Tais atividades foram marcadas com “X”, enquanto algumas atividades opcionais foram marcadas com “O” (dependem do que foi definido na SER: mercado ou ST), conforme será mostrado adiante nas atividades da fase 2.

Para executar essas atividades, em qualquer configuração de escopo, recomenda-se que o *projeto* de ER tenha estrutura por *projetos*, para permitir que o processo de ER seja realizado em paralelo com o PDP, e ainda favoreça o gerenciamento dos recursos necessários. A equipe deverá ter um gerente fixo, mas os demais integrantes da equipe, originados de diversas áreas da organização, serão selecionados conforme o perfil de cada atividade de ER a ser realizada. Ao final de

cada atividade, os profissionais retornam ao setor de origem, caso não tenham sido alocados nas atividades seguintes de ER.

Contudo, tendo sido selecionadas as atividades de ER, se parte para a definição concomitante do cronograma e do orçamento do *projeto* de ER. Ambos serão apresentados nas seções que seguem.

4.3.2. Atividade 1.2. Definir o cronograma do projeto de ER

Nesta atividade orienta-se a elaboração do cronograma do *projeto* de ER e se forma a linha de base para o controle. Para tal, são definidas as atividades, os tempos, os recursos necessários e o sequenciamento das atividades do *projeto*. Como meio de apoio, recomenda-se: gráfico Gantt, matriz de designação de responsabilidades e consulta à base de dados sobre os cronogramas dos *projetos* similares.

Para definir os prazos de cada atividade, a equipe de ER deve avaliar a disponibilidade de recursos e, assim, estimar a duração das atividades, na primeira vez que forem realizar um *projeto*. Isto depende das atividades a serem executadas, do orçamento e da experiência da equipe com cada tipo de ST a ser avaliado. Se o sistema for familiar à equipe, podem ser feitas análises mais detalhadas em menor tempo, o que dificilmente ocorre quando a equipe avalia um sistema com o qual não está habituada e precisa aprender sobre este, de modo a compreender seu funcionamento.

Nos *projetos* similares em escopo e perfil do sistema a ser avaliado, aproveitam-se as informações dos *projetos* anteriores. Nesses casos, o cronograma e o orçamento tendem a ser mais precisos.

4.3.3. Atividade 1.3. Definir o orçamento do projeto de ER

Nessa atividade é definido o orçamento do *projeto* de ER, determinando os recursos financeiros necessários à execução de cada atividade. O custo de cada atividade é estimado pela experiência dos profissionais do setor financeiro e demais integrantes do *projeto* de ER.

Assim como na definição do cronograma, podem ser consultadas as informações de *projetos* similares realizados pela equipe, que estejam armazenados na base de dados, a fim de aumentar a precisão do planejamento do novo *projeto*.

4.3.4. Atividade 1.4. Elaborar o plano do *projeto* de ER

Na sequência, é realizada a atividade 1.4, elaborar o plano do *projeto* de ER, que integra os resultados da fase 1 para orientar a equipe de ER na execução das atividades do *projeto*. Trata-se de um relatório preliminar objetivo que compreende a SER, o escopo do *projeto*, as atividades previstas, bem como o cronograma e o orçamento de cada atividade, que se presta para revisão, aprovação do plano e acompanhamento da execução do *projeto*.

4.4. FASE 2. ANÁLISE DO SISTEMA TÉCNICO

A fase de análise do ST consiste em desenvolver estudos de diferentes naturezas, dependendo do problema de ER, conforme ilustrado na Fig 4.2. Típicos estudos que podem ser realizados:

- a) Caracterizar o mercado: visa identificar as necessidades dos usuários e as características dos ST concorrentes, para definir as principais características do sistema a ser desenvolvido;
- b) Interação usuário-ST: avaliam-se as condições de interação usuário-ST, para identificar deficiências ergonômicas no ST (esforços e interface) e de usos para definir condições mais adequadas de interação nos novos sistemas;
- c) Desempenho: avalia o desempenho do sistema, considerando as condições recomendadas pelo fabricante e as condições reais de operação pelos usuários típicos (algumas sendo caracterizadas como mal-uso). Visa identificar especificações técnicas, deficiências e pontos fortes dos sistemas avaliados, para orientar a elaboração dos novos sistemas similares;
- d) Identificar as soluções de projeto: são avaliados os efeitos de remoção de cada componente, para identificar os componentes que não afetam o desempenho do sistema, os quais podem ser eliminados ou integrados aos componentes importantes. Tal avaliação ainda permite deduzir as funções e os princípios de solução dos componentes, o que auxilia no desenvolvimento dos novos, e favorece a compreensão do funcionamento do ST. Também podem ser obtidos dados de cada componente, para elaborar uma lista de materiais, considerando: materiais, dimensões, quantidade, massa e denominação do componente.

Os referidos estudos visam orientar novos projetos, por meio dos conhecimentos adquiridos. A Fig. 4.4 apresenta as atividades da fase 2, as quais serão descritas nas seções que seguem.

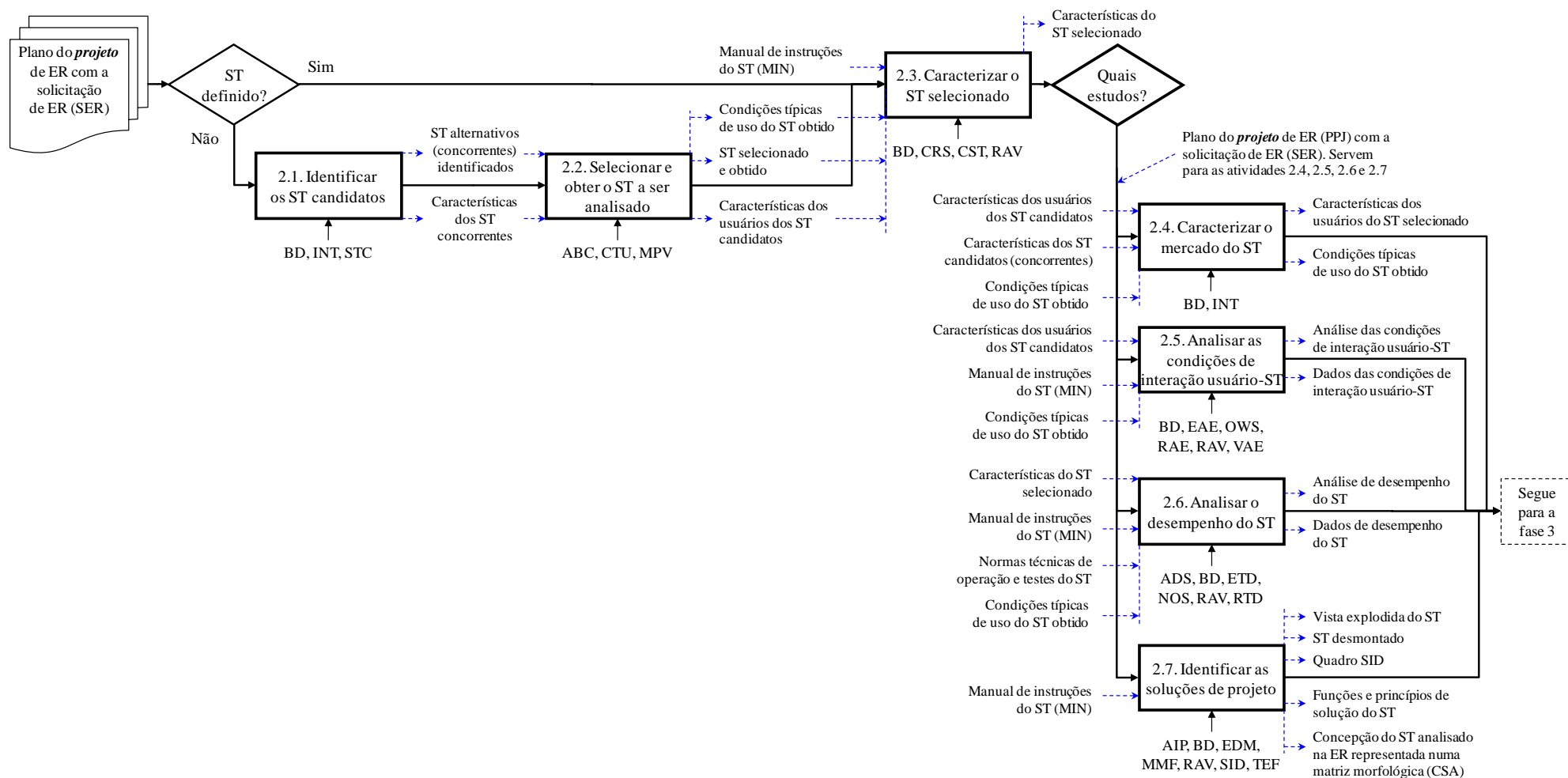


Figura 4.4. Atividades da fase 2: análise do sistema técnico.

O Quadro 4.4 apresenta os meios citados nas atividades da fase 2.

Sigla	Meio	Origem	Atividades vinculadas
ABC	Lista de atributos básicos e do ciclo de vida do sistema técnico	Adaptado de Fonseca (2000, p.75 e 77)	2.2
ADS	Quadro de avaliação de desempenho do sistema técnico	<i>Proposto nesta tese</i>	2.6
AIP	Estrutura de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST	<i>Proposto nesta tese</i>	2.7
BD	Base de dados de <i>projetos</i>	<i>Apêndice A desta tese</i>	1.2, 1.3, 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 3.1
CRS	Quadro de análise das condições gerais de recebimento do ST	<i>Proposto nesta tese</i>	2.3
CST	Quadro de caracterização dos sistemas técnicos	<i>Proposto nesta tese</i>	2.3
CTU	Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST	<i>Proposto nesta tese</i>	2.2
EAE	Equipamentos de análise de ergonomia (sensores, câmeras, balanças, entre outros)	lida (2005)	2.5
EDM	Equipamentos de desmontagem (EPI, cronômetro, câmera, balança)		2.7
ETD	Equipamentos dos testes de desempenho do ST (sensores, câmeras, medidores, entre outros)		2.6
INT	Sítios na <i>Internet</i>		2.1, 2.3, 2.4
MMF	Matriz morfológica		2.7
MPV	Matriz preço-valor	Baxter (2000, p.147)	2.2
NOS	Lista de normas técnicas de operação do ST	<i>Proposto nesta tese</i>	2.6
OWS	Quadro de classificação das posturas do sistema <i>OWAS</i>	lida (2005, p.171 e 172)	2.5
RAE	Roteiro das análises de ergonomia	<i>Proposto nesta tese</i>	2.5

Quadro 4.4. Meios de apoio as atividades da fase 2.

Continuação do Quadro 4.4.

Sigla	Meio	Origem	Atividades vinculadas
RAV	Recursos audiovisuais (filmadora, câmera fotográfica, gravador)		2.3, 2.5, 2.6, 2.7
RTD	Roteiro de testes de desempenho	<i>Proposto nesta tese</i>	2.6
SID	Quadro de informações da desmontagem	<i>Proposto nesta tese, com base no SOP e na lista de materiais (BOM)</i>	2.7
STC	Quadro de representação dos ST candidatos	<i>Proposto nesta tese</i>	2.1
TEF	Tipos de efeitos físicos	Pahl <i>et alii.</i> (2007, p.94)	2.7
VAE	Quadro de variáveis comuns de análises de ergonomia	Iida (2005, p.40)	2.5

4.4.1. Atividade 2.1. Identificar os ST candidatos

Um *projeto* completo de ER, onde foi definido na solicitação somente o mercado, inicia pela atividade 2.1, vista na Fig. 4.4. Visa selecionar a melhor alternativa de sistema a ser avaliado.

Os sistemas candidatos podem ser identificados por uma consulta em sítios de busca na *Internet*, a partir do mercado definido na solicitação de ER, e pela consulta à base de dados sobre os sistemas cadastrados que atendem as características daquele mercado. Esses são inseridos no quadro de representação dos sistemas candidatos (Quadro 4.5), considerando o fabricante e o modelo (com a versão), junto com uma imagem ilustrativa e as principais especificações técnicas.

	Marca / modelo do ST	Imagem do ST	Especificações técnicas do ST
1			
2			
3			

Quadro 4.5. Quadro de representação dos ST candidatos (STC).

O quadro 4.5 auxilia a seleção do sistema a ser avaliado e também o preenchimento do quadro de caracterização na atividade 2.3.

4.4.2. Atividade 2.2. Selecionar e obter o ST a ser analisado

A atividade 2.2 - selecionar e obter o ST a ser analisado - ocorre entre os candidatos identificados na atividade 2.1 com auxílio da matriz preço-valor.

Para elaborar a matriz preço-valor é necessário avaliar aspectos relacionados ao ciclo de vida dos sistemas candidatos, de onde são identificados atributos importantes a serem considerados no projeto dos novos sistemas. É então preenchido o quadro de características dos usuários potenciais e as condições de uso do ST, no Quadro 4.6, que auxilia na identificação dos usuários potenciais, na seleção dos atributos de projeto e na elaboração da matriz preço-valor.

Características		Informações
Obtenção do ST	Principal forma de obtenção do ST	() aquisição; () locação; () empréstimo; () doação Observações (se forem necessárias):
	Classe econômica	() miserável; () classe baixa; () classe média; () classe alta
	Nível de instrução de quem obtém	() analfabeto; () semi alfabetizado; () alfabetizado; () ensino fundamental; () ensino médio; () ensino superior
Condições de uso do ST	Quem utiliza o ST (potencial usuário)	() quem obtém; () familiar; () funcionário da organização; () profissional externo; () outros:
	Nível de instrução de quem utiliza	() analfabeto; () semi alfabetizado; () alfabetizado; () ensino fundamental; () ensino médio; () ensino superior; Observações (se forem necessárias):
	Forma de utilização	() conforme sugerido no manual de instruções; () uso não recomendado pelo manual, especificar:
	Intensidade do ciclo de operação	- Área (m ²) ou distância de uso; - Tempo total de utilização num dia: - Tempo ininterrupto (sem paradas) médio de uso: - Frequência de uso: () diário; () semanal; () mensal; () outros:
	Características do ambiente de uso	() exposição à água; () exposição à umidade significativa; () exposição ao fogo; () exposição ao calor; () contato com pedras; () exposição à terra, poeira; () exposição aos ácidos (quais): () outros (complemente):

Quadro 4.6. Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU).

O preenchimento do quadro 4.6 geralmente ocorre a partir da experiência da equipe de ER. É complementado por opiniões, de profissionais de assistência técnica, obtidas em entrevistas, as quais são sugeridas quando os profissionais da organização não tem conhecimento suficiente do mercado ou dos sistemas do mercado, mas buscam informações detalhadas desses e do ambiente comercial. Para elaborar a matriz preço-valor são considerados as orientações do Quadro 4.7.

Itens	Elementos
ST a serem comparados	Sistemas técnicos candidatos identificados
Critérios de avaliação	Definir os critérios de avaliação que influenciam no desempenho técnico e comercial dos sistemas, com uma breve descrição do critério e o peso dele (nota de 1 a 10). Utiliza como base os atributos do quadro 4.8, cujas notas finais tem escala de 1 a 5.
Caracterização da amostra de profissionais consultados	Caracterização da amostra consultada na pesquisa para o preenchimento da matriz preço-valor.

Quadro 4.7. Orientações para elaborar a matriz preço-valor (MPV).

Assim, a equipe seleciona os atributos do Quadro 4.8 que servem para definir os critérios de avaliação. Depois, os critérios são avaliados junto aos entrevistados, em termos do peso que eles atribuem ao critério (nota de um a dez) e da nota que cada ST obteve em cada critério selecionado.

Tendo sido obtidos os pesos de todos os critérios e as notas de cada ST em relação aos critérios, define-se o valor de cada ST, pela soma dos produtos entre as notas e os pesos de cada critério. Com isto, é elaborada a matriz preço-valor a qual representa graficamente os ST avaliados, considerando o valor e o preço de aquisição. Também é determinada uma área de interesse de preço e valor do ST, conforme definido na SER e por consenso da equipe de ER.

Atributos básicos	Funcionamento	Aspectos relacionados com a operação do ST: rendimento, desempenho, eficiência, função.
	Ergonômico	Aspectos relacionados com a relação homem-máquina: ergonomia, seqüência de ações, uso.
	Estético	Aspectos relacionados com a aparência do produto: símbolos, signos, linguagem, semiótica, semântica.
	Econômico	Aspectos relacionados com o custo de produção e o preço de venda: financiamentos, capital, juros.
	Segurança	Aspectos relacionados com a segurança durante o uso e o funcionamento: proteção contra acidentes, atos inseguros, funcionamento inseguro.
	Confiabilidade	Aspectos vinculados com o uso e funcionamento estável: taxa de falhas, redundâncias ativa e passiva.
	Legal	Aspectos das leis onde o ST será comercializado: uso, segurança, comércio e leis ambientais.
	Patentes	Problemas relativos ao uso de patentes registradas: grau de novidade, patenteabilidade, licenciamento (pagamento de <i>royalties</i>) e uso de patentes.
	Normalização	Problemas relativos ao uso de elementos e peças normalizadas: normas internas, locais, setoriais, nacionais e internacionais.
	Modularidade	Problemas do projeto modular dos componentes: módulos de fabricação, de uso e de manutenção.
	Impacto ambiental	Problemas de contaminação ou degradação ambiental, desativação, reciclagem e descarte.
Atributos do ciclo de vida do ST	Fabricabilidade	Aspectos relacionados à fabricação do ST
	Montabilidade	Aspectos relacionados à montagem do ST
	Embalabilidade	Aspectos relacionados à facilidade de embalar o ST
	Transportabilidade	Aspectos relacionados ao transporte do ST
	Armazenabilidade	Aspectos relacionados ao armazenamento do ST
	Comerciabilidade	Aspectos relacionados à comercialização do ST
	Função	Execução das funções do ST (desempenho real)
	Usabilidade	Aspectos relacionados à facilidade de uso do ST
	Mantenabilidade	Aspectos relacionados à manutenção do ST
	Reciclabilidade	Aspectos de reciclagem dos componentes do ST
Descartabilidade	Aspectos de descarte dos componentes do ST	

Quadro 4.8. Lista de atributos básicos e do ciclo de vida do sistema (ABC), (adaptado de Fonseca, 2000, p.75 e 77).

A seleção do ST a ser analisado é feita entre os candidatos contidos na área de interesse da matriz preço-valor, priorizando aqueles com maior pontuação e menor preço. A obtenção do ST selecionado pode ocorrer por aquisição, empréstimo, locação ou doação, dependendo dos recursos do **projeto** e da disponibilidade do ST selecionado.

4.4.3. Atividade 2.3. Caracterizar o ST selecionado e obtido

Em *projetos* onde tenha sido definido, na SER, o ST ou algum dos componentes para a análise, a fase 2 inicia com a atividade 2.3, caracterizar o ST selecionado e obtido. Auxilia no desenvolvimento dos novos sistemas, quanto às especificações de projeto, análise das imagens externas e demais informações detalhadas.

Nesta atividade são inicialmente obtidas imagens externas do sistema selecionado, com recursos áudio visuais. Na sequência, é preenchido o Quadro 4.9, que registra as condições iniciais de recebimento do sistema. São considerados: embalagem, manual de instruções fornecido, instruções no ST, estado (se o sistema foi devidamente embalado e protegido), aspectos de montagem e regulagem necessárias ao uso (a partir das condições de entrega ao cliente), bem como os acessórios e as ferramentas fornecidas com o sistema.

Com o preenchimento do quadro CRS (Quadro 4.9), podem ser comparadas as condições de recebimento do sistema com outros similares de um mesmo mercado (em outros *projetos* de ER), a fim de orientar as ações comerciais e técnicas que melhorem a aceitação comercial e o desempenho técnico dos novos sistemas da organização.

Critérios	Elementos de avaliação
Embalagem do ST	Tipo de embalagem: () caixa; () saco; () nenhuma; () outra: _____
	Material:
	Suportes internos da embalagem: () isopor; () papelão; () nenhum; () outro: _____
	Nível de proteção do ST pela embalagem: () total; () parcial; () baixo; () nenhum
	Facilidade de transporte: () tamanho adequado? [S/N]; () seguro? [S/N]; () ergonomia adequada? [S/N]
Manual de instruções	Idiomas: () português; () espanhol; () inglês
	Detalhamento: () excessivo; () adequado; () superficial
	Possui guia rápido com instruções de uso [S/N]: ()
	Informações sobre uso seguro do ST [S/N]: ()
Informações presentes no ST para o uso adequado	Uso seguro do ST [S/N]? ()
	Recomendações para evitar mal-uso [S/N]? () Informações colocadas em elementos que não deterioram com o uso [S/N]? ()
Asseio (limpeza) do ST	Asseio (limpeza) do ST: () empoeirado; () engraxado; () limpo; () riscado
Montagem e regulagem	Nível de montagem necessária do ST para uso: () total; () parcial/subsistemas; () nenhuma
	Nível de regulagem necessária do ST para uso: () elevado; () baixo; () entregue montado, pronto
Acessórios e ferramentas fornecidas com o ST	Equipamentos necessários à montagem do ST: () adequado; () insuficiente; () nenhum
	Equipamentos necessários à regulagem do ST: () adequado; () insuficiente; () nenhum

Quadro 4.9. Quadro de análise das condições gerais de recebimento do ST (CRS).

Além do quadro CRS, é preenchido o Quadro 4.10 onde o sistema selecionado é caracterizado com base nas informações dos sistemas candidatos (Quadro 4.5) e nos resultados da entrevista realizada com os usuários potenciais e profissionais de assistência técnica, durante o preenchimento do Quadro 4.6.

Marca / modelo do ST	Imagem externa do ST	Principais especificações técnicas do ST	Principais modos de falha do ST	Principais modos de interação externa do ST
				Outros ST: Usuário: Meio ambiente:

Quadro 4.10. Caracterização do sistema técnico selecionado (CST).

No Quadro 4.10, há um campo que trata dos principais modos de falha de cada sistema, os quais são identificados pela experiência dos profissionais e pela opinião dos profissionais de assistência técnica. Os modos de falha compreendem as principais reclamações dos usuários quanto às falhas de operação, bem como as opiniões dos profissionais de manutenção quanto às deficiências observadas.

Entretanto, numa análise parcial de ER, que visa avaliar um ou alguns componentes do sistema, pode ser desnecessário detalhar alguns modos de falha e de interação externa dos componentes no Quadro 4.10. Sugere-se bom senso da equipe nestes casos, a partir da solicitação de ER e do escopo do *projeto* de ER.

Todas as informações obtidas na atividade 2.3 são inseridas na base de dados e podem ser consultadas a qualquer momento pelos profissionais credenciados. Por se tratar muitas vezes de conteúdo estratégico, pode-se estabelecer restrições de acesso aos resultados da ER contidos na base de dados.

Com o encerramento da atividade 2.3, iniciam-se as atividades de análise do sistema selecionado e caracterizado. Pode ser executada a atividade 2.4 (caracterizar o mercado do ST), a atividade 2.5 (analisar as condições de interação usuário-ST), a atividade 2.6 (analisar o desempenho do ST), ou a atividade 2.7 (identificar as soluções de projeto). Estas atividades são independentes e a definição das mesmas depende do escopo do projeto.

Numa análise completa, convém que a atividade 2.4 seja realizada antes das demais, para detalhar a avaliação do mercado onde o novo sistema será inserido, em termos das características dos usuários e

dos sistemas concorrentes. Com isto, são obtidos subsídios que permitem uma análise mais precisa da ergonomia (e da segurança de operação) e do desempenho do sistema antes de acioná-lo.

Na sequência, sugere-se avaliar os aspectos de ergonomia relacionados à interface entre o sistema e o usuário, principalmente quanto aos movimentos de uso, esforços e postura do usuário segundo as recomendações do manual de instruções. Depois de analisar a ergonomia, se recomenda analisar o desempenho do sistema, pois os testes de desempenho já serão realizados de acordo com as condições adequadas de ergonomia. Se a análise de desempenho ocorrer antes da análise de ergonomia, ou sem ela (quando o *projeto* de ER avaliar somente o desempenho), também deverão ser avaliadas as condições de interface, segurança e postura para simular o uso adequado do ST.

Numa análise completa de ER, a desmontagem deve ser realizada após a conclusão das análises de mercado, ergonomia e desempenho, para evitar a descaracterização do sistema por quebras e rompimentos de elementos de união e vedação. Além disso, ao final da desmontagem, o sistema deve permanecer desmontado em exposição¹⁴ na organização, para que possa ser visualizado pelos profissionais nele interessados.

4.4.4. Atividade 2.4. Caracterizar o mercado do ST

A atividade 2.4 visa detalhar as características do mercado do sistema, para orientar ações comerciais e a proposição de especificações de projeto para os novos sistemas. Baseia-se no perfil dos sistemas candidatos e dos potenciais usuários, bem como nas consultas aos sítios da internet e na base de dados, referentes aos sistemas similares cadastrados.

Nessa atividade, são detalhadas as informações relacionadas aos usuários típicos e às características dos ST do mercado pretendido: elementos dos ST e os acessórios, especificações técnicas, os custos de aquisição e de manutenção, e os demais atributos de avaliação da matriz preço-valor. Tais características são comparadas com as características dos usuários potenciais, a fim de avaliar se o sistema selecionado está adequado ao mercado em que atua.

¹⁴ O ST deve ser mantido desmontado num ambiente de acesso restrito, por ser uma atividade estratégica na organização, para expor os componentes do ST e permitir que os profissionais autorizados possam avaliá-lo. Não é recomendada a desmontagem dos componentes comerciais, como motores elétricos, manômetros ou peças de placas eletrônicas, pois pode descaracterizar o componente e prejudicar as análises de ER sobre o ST.

Os resultados da atividade 2.4 são inseridos num texto de análise do mercado, que fará parte do relatório do *projeto* de ER. O referido texto visa auxiliar na definição do problema de projeto, orientando o desenvolvimento dos novos sistemas ou o aperfeiçoamento dos sistemas existentes, com maior alinhamento ao perfil do mercado.

4.4.5. Atividade 2.5. Analisar as condições de interação usuário-ST

A atividade 2.5 será realizada se houver necessidade de avaliar as condições de interação entre o usuário e o sistema, ou subsistemas que tenham significativa interação com o usuário. Avalia-se com base nos registros do Quadro 4.6, se as condições de interação estão adequadas às características dos usuários típicos em termos de postura, esforços, controles e demais elementos necessários à operação.

Para selecionar as análises realizadas e as variáveis medidas, são identificadas as condições de uso do ST de acordo com o manual de instruções. Também são identificadas as condições não recomendadas de uso, a partir das condições típicas de uso do sistema. São ainda avaliadas as formas de interação externa do sistema com o usuário e os modos de falha associados às deficiências ergonômicas (Quadro 4.10).

Além disso, as variáveis são selecionadas a partir do quadro de variáveis comuns de análises de ergonomia, baseado em Iida (2005, p.40), onde outras variáveis podem ser incluídas. Das análises e variáveis, são definidos os procedimentos de avaliação e os equipamentos de análise de ergonomia.

Para avaliar as condições de operação do sistema por parte do usuário, dentre outros métodos, o sistema *OWAS*¹⁵ (OWS – Iida, 2005, p.169) se apresenta de maneira adequada, pois se baseia na análise das imagens do usuário executando os movimentos típicos de uso, de onde é identificada a condição atual de postura e a classe de esforço a que está submetido. São consideradas quatro posições de dorso, três posições de braços, sete posições de pernas e a intensidade de carga da operação, cujos resultados podem sugerir modificações na postura do usuário. Isto é uma contribuição à projeção dos ST (principalmente os ST similares àqueles analisados), pois tendem a indicar os princípios de solução e arranjos físicos que gerem posturas adequadas do usuário.

¹⁵ Sistema *OWAS* (*Ovako Working Posture Analysis System*) para o registro da postura. Cada postura é descrita por um código de seis dígitos, representando posições do dorso, braços, pernas e carga. Os dois últimos indicam o local onde a postura foi observada (Karhu, Kansu e Kuorinka, 1977 citado em Iida, 2005, p.169-171). Vide também o aplicativo *WinOWAS*: <<http://turval.me.tut.fi/owas>>.

As informações obtidas nesta atividade são inseridas na base de dados, que auxiliarão os novos projetos similares, sob a ótica da ergonomia. Estes influenciarão na geração das concepções dos novos sistemas e na definição do arranjo dos subsistemas, além do dimensionamento¹⁶ dos elementos que interagem com o usuário.

4.4.6. Atividade 2.6. Analisar o desempenho do ST

Caso tenha sido prevista no escopo do *projeto* de ER, a análise do desempenho avalia as condições típicas de operação do ST. São obtidos os parâmetros reais de desempenho do ST, que são confirmados com os dados publicados pelo fabricante no manual de instruções, bem como avaliar a ocorrência dos modos de falha relacionados aos aspectos técnicos, os quais foram citados pelos profissionais de assistência técnica do sistema obtido. Tais análises permitem a identificação de oportunidades de melhoria no sistema e orientam novos *projetos*.

Para analisar o desempenho do ST, é elaborado o roteiro de testes de desempenho, de onde também são definidos os equipamentos dos testes de desempenho. O roteiro de testes parte das recomendações de uso do manual de instruções, de normas técnicas de operação do sistema (Quadro 4.11), dos tipos de testes solicitados e dos elementos de caracterização do ST (Quadro 4.10).

Segmento dos ST	Tipo de sistema técnico (família)	Subsistema ou parte do ST	Elemento do ST	Normas relacionadas a cada elemento do ST	Título da norma

Quadro 4.11. Estrutura de listagem de normas técnicas de operação de ST (NOS).

A partir das normas de operação e de segurança, são identificados os procedimentos e os equipamentos de avaliação do desempenho do sistema. São então providenciados os equipamentos para executar os testes, cujos procedimentos são registrados por recursos audiovisuais. Os resultados obtidos nos testes são inseridos no quadro de avaliação de desempenho do sistema (Quadro 4.12).

¹⁶ Caso o usuário necessite suportar o ST durante sua utilização, ou realizar tarefas repetitivas de levantamento de cargas durante a jornada de trabalho, convém considerar as recomendações de Lida (2005, p.179-184) para o levantamento de cargas, bem como a equação de *NIOSH* (*National Institute for Occupational Safety and Health*, EUA).

Parâmetros de desempenho	Unidade	Valor publicado no manual	Valor medido no teste

Avaliação preliminar das condições de operação do ST, recomendadas pelo manual de instruções			
Postura e esforços do operador			
Segurança de operação do ST			
Cansaço do usuário			
Lesões geradas no usuário			

Condições típicas de uso não recomendado do ST (citadas por profissionais de assistência técnica)			
Citar as condições de uso não recomendado, e seus efeitos na operação do ST	Efeito do uso não recomendado	Observações	

Impressões sobre a ocorrência, os efeitos e as causas dos modos de falha do ST	Ocorrência [S/N]	Efeito do modo de falha	Causa do modo de falha
Modos de falha (citados pelos profissionais de assistência técnica do ST)			
Outros modos de falha - identificados nos testes			

Comentários gerais sobre os testes de desempenho e recomendações para os novos testes

Quadro 4.12. Quadro de avaliação de desempenho do ST (ADS).

No Quadro 4.12, além dos parâmetros de desempenho medidos e comparados com o valor de referência do fabricante, foi considerada a avaliação dos profissionais que executaram os testes em relação às condições de operação do sistema, as condições típicas de uso não recomendado, bem como a ocorrência e os efeitos das falhas.

Ao final das análises de desempenho, os equipamentos utilizados e o sistema são preparados para serem armazenados e/ou devolvidos. Os resultados são avaliados e inseridos na base de dados (BD).

4.4.7. Atividade 2.7. Identificar as soluções de projeto

Esta é a principal atividade proposta, pois nela são identificadas as soluções, a partir da desmontagem parcial ou completa do ST. Na análise parcial, são somente consideradas as características específicas dos componentes, conforme requisitado na solicitação de ER, tais como as dimensões e materiais dos componentes. Na análise completa, são considerados: o arranjo físico, as funções, os princípios de solução e as características dos componentes do sistema avaliado. Será aqui dada ênfase à análise completa do sistema para detalhar todo o processo.

Para os *projetos* de ER que exigem uma análise completa foi proposta a desmontagem do ST com base no *SOP* (Otto e Wood, 2001, p.161, 205). Assim, cada componente do sistema é removido e analisado individualmente, de acordo com seis passos:

- 1) Desmontar (subtrair) um componente do ST¹⁷, em qualquer ordem. Pode ser necessário remover outros componentes para obter o componente desejado para a análise (pré-requisitos). Estes componentes “pré-requisitos” devem ser montados novamente no ST, se possível, antes de operar o ST;
- 2) Operar o ST plenamente (só falta o componente em análise), o qual deve ser testado quanto aos requisitos dos usuários, para verificar os efeitos da remoção de tal componente;
- 3) Analisar o efeito. É geralmente complementado por uma análise visual. Porém, pode ser necessário utilizar um dispositivo de teste se o efeito da remoção não for óbvio;
- 4) Deduzir a subfunção do componente faltante. A partir do terceiro passo, deve ser deduzida a subfunção do componente faltante, onde o maior foco deste passo são as mudanças em qualquer grau de liberdade durante a operação. Tal mudança é crítica na determinação da funcionalidade do ST;
- 5) Substituir o componente e repetir o procedimento. Substituir o componente e repita o procedimento “N” vezes, onde N é o número de componentes do sistema (ou subsistema) do ST

¹⁷ A desmontagem deve ser realizada em todos os componentes do ST. Porém, não devem ser desmontados os componentes comerciais, como manômetros, comandos elétricos e eletrônicos.

em análise. Os resultados devem ser documentados em uma tabela e o componente deve ser novamente montado;

- 6) Organizar as funções do ST numa árvore de funções, pelo agrupamento das funções identificadas no quinto passo.

Os resultados obtidos são registrados no quadro de sistematização das informações da desmontagem (Quadro 4.13) que também inclui as informações da lista de materiais (*BOM – Bill of Materials*).

Informações da lista de materiais (<i>BOM – Bill of Materials</i>)						Informações do procedimento <i>SOP</i>					
Código	Imagem do componente	Nome do componente	Materiais e dimensões	Quant.	Fornecedor do componente	Massa unitária [g]	Efeitos da remoção	Sequência de desmontagem	Funções associadas	Import.	Tipo

Quadro 4.13. Quadro de informações da desmontagem (SID).

Para preencher o Quadro 4.13, é produzida, pelo menos, uma fotografia do componente removido, é medida a massa e as dimensões externas, o material e a quantidade de cada componente no ST. Também é registrada a sequência de desmontagem de todos os componentes removidos para se ter acesso ao componente em análise. Depois, o ST é acionado sem este componente (mas tendo os demais montados), de onde se avalia os efeitos da remoção e funções prováveis (deduzidas pelos efeitos da remoção), o tipo do componente¹⁸ (U, uso; ou E, estima) e a importância do componente (A, primário; ou B, secundário).

Neste caso, um componente é classificado como sendo de uso (U) quando é notada perda de funcionalidade ou uso do sistema a partir da remoção deste, enquanto um componente de estima (E) tem finalidade estética, mas incrementa a atratividade comercial deste (caso das faixas, emblemas ou adesivos decorativos no próprio sistema). A remoção de um componente primário (A) afeta diretamente as funções principais do sistema, enquanto os componentes secundários (B) afetam funções de apoio à estas funções principais. Esta classificação auxilia a equipe de ER na seleção das funções mais importantes, que devem ser priorizadas.

¹⁸ Vide tais denominações nas abordagens de Csillag (1991), Baxter (2000, p.201), Sato e Kaufman (2005, p.39) e Kaufman e Woodhead, 2006, p.55).

Então, o componente removido é montado no ST para reiniciar a análise em outro componente. O preenchimento do quadro SID deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, para aumentar a precisão das análises em cada componente, principalmente quanto às suas funções.

Ao finalizar as atividades individuais com os componentes do ST, é feita a desmontagem completa do ST, para posicionar os componentes em vista explodida e registrar com recursos audiovisuais. Assim, são identificados os códigos dos componentes, no Quadro 4.13, e são anexadas etiquetas de identificação em cada componente. O ST permanece desmontado no final, para ser analisado fisicamente.

Na sequência, são identificados os princípios de solução¹⁹ dos componentes do ST, onde Pahl *et alii.* (2007, p.181) sugerem que sejam priorizadas as funções principais do componente. Assim, se identifica a função mais importante²⁰ de cada componente no Quadro 4.13, e analisa-se o princípio de funcionamento dele, deduzido a partir do efeito da remoção do componente. No terceiro passo, tal funcionamento é comparado com os principais efeitos físicos²¹ do Quadro 4.14.

Efeitos físicos	Manifestações (aplicações)
Mecânico	Gravitação, inércia, força centrípeta
Hidráulico	Hidrostática, hidrodinâmica
Pneumático	Aerostática, aerodinâmica
Elétrico	Eletrostática, eletrodinâmica, indutiva, capacitiva, piezo elétrica, transformação elétrica, retificação
Magnético	Ferromagnética, eletromagnética
Ótico	Reflexão, refração, difração, interferência, polarização, infra vermelho, visível, ultra violeta
Térmico	Expansão, efeito bimetalico, absorção de calor, transferência de calor, condução de calor, isolamento térmico
Químico	Combustão, oxidação, redução, dissolução, combinação, transformação química, eletrólise, reações exotérmicas e endotérmicas
Nuclear	Radiação, isótopos, fonte de energia
Biológico	Fermentação, putrefação, decomposição

Quadro 4.14. Tipos de efeitos físicos (adaptado de Pahl *et alii.*, 2007, p.94).

¹⁹ Vide a definição de princípio de solução no Quadro A.2, no Apêndice A.

²⁰ Nos ST com muitas funções, pode ser utilizado o diagrama de Mudge (DMG, vide Mudge, 1971 e Kaufman e Woodhead, 2006, p.136) para identificar as funções mais importantes do ST, caso a equipe de ER queira priorizá-las durante a identificação dos princípios de solução.

²¹ Segundo Pahl *et alii.* (2007, p.181), os princípios de funcionamento devem refletir o efeito necessário para satisfazer uma função, bem como as características geométricas e de material.

Como apoio ao terceiro passo, podem ser utilizados catálogos de efeitos, conforme mostrado no Apêndice B, de onde são comparados os princípios de funcionamento do componente com os efeitos cadastrados. Pode ainda ser utilizado o Quadro 4.15, a partir das informações dos componentes, no quadro 4.13.

Código	Nome do componente	Imagem do componente	Funções	Efeitos físicos	Portador do efeito	Princípio de solução

Quadro 4.15. Quadro de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST (AIP).

No Quadro 4.15 cada componente é avaliado em relação às funções citadas no quadro Quadro 4.13, considerando ao menos a função principal do mesmo. Então, a equipe de ER compara a função (e o princípio de funcionamento) de cada componente com os efeitos registrados no Quadro 4.14 e no catálogo de efeitos (vide exemplo no Apêndice B), de onde são identificados os efeitos físicos presentes no componente. Com isto, são ainda identificados os portadores do efeito, (partes do componente onde os efeitos estão inseridos) dos componentes mais complexos.

Com base nos efeitos, são consultados os princípios de solução registrados na base de dados, visando identificar aqueles que melhor representam o funcionamento do componente, de cada função. Na BD, os PS ainda podem ser consultados a partir das funções. Porém, se na BD não houver um PS relacionado ao funcionamento do componente, é gerado um princípio de solução que considera as informações do ST analisado na ER.

Assim, pode ser dito que a identificação dos PS dos componentes é essencialmente um processo de avaliação da similaridade de operação dos PS e dos componentes. Na BD, ficam disponíveis as informações dos PS, visando favorecer a geração das concepções do ST (no projeto conceitual), bem como a definição das necessidades e especificações dos novos ST (no projeto informacional), dados de dimensões, materiais, acabamento superficial, entre outras (para as fases de projeto preliminar e detalhado). Logo, além das funções, a identificação dos PS é uma das mais importantes contribuições desta sistemática de ER.

Após terem sido identificados os princípios de solução dos componentes, é representada a concepção do ST avaliado numa matriz morfológica. Tal representação é útil quando são comparados os princípios de solução do ST avaliado com aqueles dos ST similares, das funções identificadas. Assim, pode ser notado se as tecnologias do ST estão obsoletas e ainda identificar as tendências tecnológicas dos ST do mercado pretendido. As concepções da matriz morfológica são registradas no relatório do *projeto* de ER, e servirão para orientar os novos sistemas. Desta forma, é encerrada a segunda fase.

4.5. FASE 3. ORIENTAÇÕES PARA A PROJETAÇÃO

Na terceira fase (Fig. 4.5), são sugeridas orientações para a projeção dos novos sistemas. Para tal, foram propostas duas atividades: recomendações para a projeção dos ST e encerramento do *projeto* de ER. Ambas serão detalhadas nas seções que seguem.

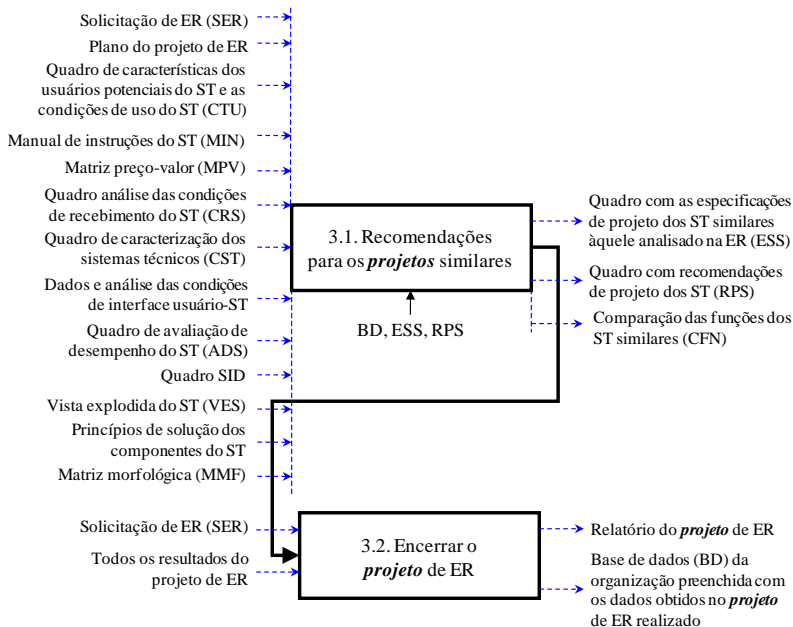


Figura 4.5. Atividades da fase 3: orientações para a projeção.

No Quadro 4.16, estão os meios recomendados para auxiliar as atividades da terceira fase.

Sigla	Meio	Origem	Atividades vinculadas
BD	Base de dados de <i>projetos</i>	<i>Apêndice A desta tese</i>	1.2, 1.3, 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 3.1
DFA	Quadro com recomendações de projeto para a montagem, do inglês, <i>Design for Assembly</i> .	Andreasen <i>et alii.</i> (1988)	3.1
ESS	Quadro com as especificações de projeto dos ST similares	<i>Proposto nesta tese</i>	3.1
RPS	Quadro com recomendações para o projeto dos ST	<i>Proposto nesta tese</i>	3.1

Quadro 4.16. Meios de apoio da fase 3.

4.5.1. Atividade 3.1. Recomendações para a projeção dos ST

A atividade 3.1, recomendações para a projeção dos ST, visa gerar informações que orientem e auxiliem a execução das atividades de projeção dos novos sistemas, com ênfase na fase de projeto conceitual, a partir dos resultados das atividades da fase 2 da sistemática de ER. As recomendações típicas são mostradas no Quadro 4.17.

Quadro 4.17. Recomendações típicas de projeção dos ST (RTP).

Entradas	Comentários	Recomendações típicas
Solicitação de ER (SER)	Os resultados obtidos na ER são comparados com o que foi solicitado na SER. Não gera recomendações, mas orienta as demais recomendações	Não atua diretamente nas fases de projeção, mas auxilia na avaliação das novas SER
Plano do <i>projeto</i> de ER	Os resultados obtidos na ER são comparados com o que foi definido no plano do <i>projeto</i>	Não atua diretamente nas fases de projeção, mas auxilia na fase de planejamento dos <i>projetos</i> de PDP
Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU)	As características dos usuários auxiliam na definição das necessidades dos usuários	Quadro com especificações de projeto dos ST similares àquele analisado na ER (ESS)
Manual de instruções do ST (MIN)	O manual tem especificações técnicas, instruções de uso do ST e orientações de assistência técnica, que podem ser tidas como referência aos novos ST	- Quadro com especificações de projeto dos ST similares àquele analisado na ER (ESS), utilizado nas fases de projeto informacional e preliminar; - Quadro com recomendações de projeto dos ST (RPS).

Continuação do Quadro 4.17.

Entradas	Comentários	Recomendações típicas
Matriz preço-valor (MPV)	A MPV mostra os critérios de avaliação considerados pelos clientes do ST, com as notas obtidas, para cada ST similar	Recomendações de projeção priorizando os critérios de avaliação da MPV com maior peso e nota entre os clientes
Quadro de análise das condições de recebimento do ST (CRS)	O quadro CRS sintetiza as condições de recebimento do ST (como o usuário recebe): necessidade de montagem e de regulagem, embalagem.	Recomendações de projeção considerando os pontos fortes do ST avaliado, em relação à montagem e regulagem, embalagem, instruções.
Quadro de caracterização dos sistemas técnicos (CST)	Além das especificações técnicas, há os modos de falha e de interação externa do ST	- Quadro com especificações de projeto dos ST similares àquele analisado na ER (ESS), utilizado nas fases de projeto informacional e preliminar.
Dados e análise das condições de interface usuário-ST	Dos resultados da análise das condições de interface entre o usuário e o ST, são definidas condições otimizadas de interação (ergonomia)	- Melhoria das condições de interação entre usuário e ST: postura e esforços físicos do usuário, interface dos comandos do ST, entre outros; - Ações que mitiguem os modos de falha do ST avaliado.
Quadro de avaliação de desempenho do ST (ADS)	O desempenho do ST é avaliado em relação aos dados publicados no manual (MIN) e aos modos de falha. São ainda sugeridas recomendações das condições de uso apropriado do ST, para a melhor eficácia.	- Quadro com especificações de projeto dos ST similares àquele analisado na ER (ESS), utilizado nas fases de projeto informacional e preliminar; - Quadro com recomendações de projeto dos ST (RPS).
Quadro de informações da desmontagem (SID)	O quadro SID tem as soluções de projeto do ST, mediante a desmontagem. Considera as funções, os princípios de solução e as características técnicas de cada componente	- Características de cada componente do ST: dimensões, materiais e imagens; as funções e os princípios de solução; - Comparação das funções dos ST similares (CFN).
Princípios de solução dos componentes do ST	Os princípios de solução identificados no <i>projeto</i> de ER podem ser propostos nos novos <i>projetos</i> de ER da organização	Sugerir novos princípios de solução para as funções existentes na base de dados, o que amplia o campo de busca de soluções para os novos ST
Matriz morfológica (MMF)	Mostra as funções do ST e os princípios de solução nele adotados, os quais combinados representam a concepção	- Alguns princípios de solução do ST avaliado podem ser sugeridos no projeto do novo ST, para uma dada função; - Nas funções importantes do ST avaliado, são comparados os princípios de solução nelas adotados com os princípios de solução utilizados pelos ST similares nas mesmas funções

Conforme mostrado no Quadro 4.17, cada escopo de **projeto** de ER pode gerar vários resultados de ER. A projeção dos ST similares (novo ST ou aperfeiçoamento) aproveitam mais os resultados da análise física de ER num ST específico, pois muitas das informações obtidas e as recomendações geradas serão exploradas quase diretamente. Porém, os ST de outros segmentos podem se beneficiar das informações mais abstratas e genéricas das soluções de projeto do ST (funções, princípios de solução e características dos componentes), estimulando a inserção de inovações em ambas as formas.

No Quadro 4.17, foram citadas as especificações de projeto, as quais podem ser listadas no Quadro 4.18.

Especificação de projeto	Unidade	Quantidade

Quadro 4.18. Quadro com as especificações de projeto para os ST similares àquele analisado na ER (ESS).

O Quadro 4.18 se assemelha intencionalmente com a lista de especificações técnicas gerada ao final da fase de projeto informacional, a fim de orientar os projetistas. As demais recomendações, de acordo com o escopo do **projeto** de ER em questão e a SER, são inseridas no quadro com recomendações de **projeto** dos ST (RPS, Quadro 4.19).

	Categoria de análise	Subsistema do ST	Recomendações de projeto do ST
1			
2			
3			

Quadro 4.19. Quadro com recomendações de **projeto** dos ST (RPS).

No Quadro 4.19, cada recomendação é identificada pela categoria (desempenho, segurança, ergonomia, materiais, desmontagem, funções do ST e princípios de solução) e ao subsistema relacionado. Com isto, os projetistas podem consultar diretamente as recomendações de interesse, a respeito de um subsistema específico, ao invés de procurar as recomendações numa lista. Por exemplo, uma recomendação

relacionada à priorização de funções de um aparador de grama pode ser assim inserida no quadro RPS:

Categoria de análise: funções do ST;

Subsistema do ST: todos;

Recomendação: priorizar as funções de corte (grama) e segurança do usuário, mas considerar as funções: proteger o motor do superaquecimento e favorecer a ergonomia (apoiar e movimentar o ST). Ambas as funções estão relacionadas aos principais modos de falha dos aparadores domésticos.

Além das recomendações inseridas no Quadro 4.19, podem ser sugeridas recomendações de projeto para a montagem (*DFA, Design for Assembly*, Andreasen *et alii.*, 1988), as quais apresentam boas práticas a serem consideradas nos novos ST. Também podem ser consideradas as recomendações associadas às imagens ilustrativas (desenhos e fotografias), com uma breve descrição, para auxiliar na compreensão dos conceitos envolvidos nas recomendações. Disto, parte-se para a atividade 3.2, encerrar o *projeto* de ER.

4.5.2. Atividade 3.2. Encerrar o *projeto* de ER

Como o próprio nome sugere, na atividade 3.2, encerrar o *projeto* de ER, envolve a elaboração de um relatório do *projeto* de ER, onde devem ser registrados todos os procedimentos adotados no *projeto* bem como os resultados obtidos e recomendações para *projetos* similares futuros (auxilia a orientar a execução dos novos *projetos*).

Este relatório, de caráter mais gerencial, é entregue à coordenação da organização para registrar o que foi feito, como foi feito e a demanda de recursos. Se for necessário, outros profissionais também podem recebê-lo, a fim de orientar novos *projetos* de ER e obter informações que não foram disponibilizadas²² na base de dados da organização.

Desta maneira, é concluído o *projeto* de ER. Conforme citado no início deste capítulo, foi gerada uma estrutura integrada de ER (Apêndice C), a qual visa agrupar todas as análises e resultados de ER, bem como servir de referência para a execução das análises de ER.

²² Muitos resultados dos *projetos* de ER são disponibilizados na base de dados, cujo acesso é restrito aos profissionais autorizados pela coordenação, por questão de sigilo industrial.

4.6. CONSIDERAÇÕES

Neste capítulo, foram descritas as principais considerações sobre as fases da sistemática de ER e da base de dados. Foi notada a importância da formalização do processo de ER, em termos culturais (como prática da organização), e de métodos e ferramentas de apoio ao processo, propriamente ditos.

Para evitar que o processo de ER fosse visto como moroso pelos projetistas foram adotados mecanismos de apoio práticos e objetivos, na forma de métodos e ferramentas, onde as informações obtidas pudessem ser facilmente inseridas e consultadas, tornando o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) mais ágil. Assim, foi elaborada uma estrutura de base de dados (BD) que pudesse incorporar as informações da ER, inseridas de forma independente e em paralelo com o processo de projeto, para auxiliar nas decisões no PDP.

A sistemática de ER e os seus meios (incluindo a BD) podem ser utilizados em todas as fases do PDP, mas foi direcionado à fase de projeto conceitual, por escopo da tese. Assim, as pesquisas futuras podem ser direcionadas às demais fases do PDP, para ampliar as áreas de atuação da sistemática de ER, bem como ampliar as informações disponíveis na BD. Pode também haver a implementação computacional da BD, automatizando o processo de consulta das informações.

Contudo, neste capítulo foi mostrado o potencial da sistemática e da base de dados, para auxiliar na proposição de outros modelos afins e na geração de conhecimento organizacional sobre os ST.

CAPÍTULO V. AVALIAÇÃO DA PESQUISA

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos de avaliação da sistemática de engenharia reversa e da estrutura da base de dados, perante os especialistas e alunos. Ao final, são mostrados os resultados.

Para avaliar a sistemática de ER, também foi prevista a aplicação em exemplos de sistemas técnicos comuns, citados na lista do Quadro 5.1. Um sistema será objeto de uma análise completa, para ilustrar todo o potencial da sistemática (enviado aos avaliadores externos). Outro será parcial, para ser utilizado nas avaliações presenciais. Para selecionar os ST, foram considerados os seguintes critérios:

- a) Contribuição para a pesquisa: possibilidade de comparar o ST selecionado com os de outras áreas de conhecimento, para avaliar as diferenças de conceitos e de soluções. Visa facilitar a proposição dos princípios de solução para as funções do ST;
- b) Complexidade: áreas de conhecimento envolvidas, número de componentes e a necessidade de estudos complementares para entender o funcionamento do sistema;
- c) Tempo para realizar o estudo: compreender o funcionamento do sistema, bem como obter e registrar as informações;
- d) Fonte: aquisição, doação, empréstimo ou locação.

Equipamento	Contribuição para a pesquisa	Complexidade	Tempo para realizar estudo	Fonte: - AQ: aquisição - DO: doação - EM: empréstimo - LO: locação
Aparador de grama doméstico	Alta (simples e boa variação)	Baixa	1 mês/ unidade	AQ (loja)
Compressor de refrigerador	Baixa (pouca variação)	Alta	2 meses/ unidade	DO (Patrimônio UFSC e empresa)
Compressor compacto	Baixa (pouca variação)	Baixa	2 semanas/ unidade	AQ (loja)
Condicionador de ar doméstico	Baixa (pouca variação)	Alta	2 meses/ unidade	DO (Patrimônio UFSC)
Freio automotivo com disco	Baixa (pouca variação)	Média	2 meses/ unidade	AQ (ferro velho)

Quadro 5.1. ST candidatos à análise física da sistemática de ER.

Para a execução do exemplo completo de análise física, foi selecionado o aparador de grama (vide o Apêndice E). Para o exemplo parcial, foi selecionado o compressor compacto (vide o Apêndice F), pela simplicidade, favorecendo o uso da sistemática nas avaliações presenciais, com base na apresentação do material de avaliação. Os itens seguintes mostram as fases do processo de avaliação.

5.1. PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO

No processo de avaliação, foram previstos dois procedimentos simultâneos e complementares entre si, vistos na Fig. 5.1.

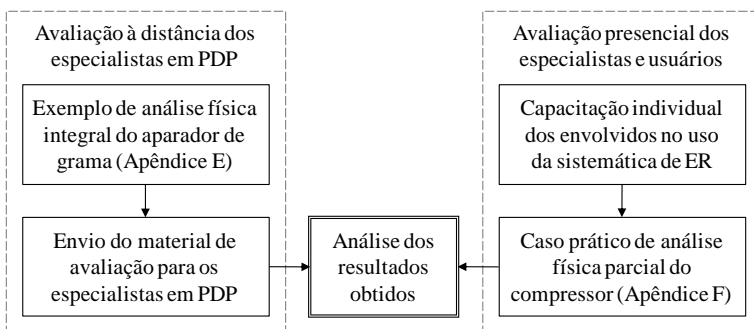


Figura 5.1. Visão conceitual do procedimento de avaliação.

Conforme mostra a Fig. 5.1, as duas formas de avaliação são:

- a) Avaliação à distância dos especialistas no PDP;
- b) Avaliação presencial dos usuários da sistemática de ER.

Na primeira forma, os especialistas no PDP foram selecionados por serem importantes usuários dos resultados da sistemática, o que aumenta a precisão da avaliação. Foi desenvolvido um material de avaliação, baseado no exemplo da análise física integral do aparador (Apêndice E), com exemplos de campos preenchidos da estrutura da base de dados (Apêndice D). Ao final, há um questionário (Apêndice G) que deve ser preenchido. O material foi enviado para dez especialistas, via correio eletrônico, dos quais cinco responderam (veja o Quadro 5.4).

Na segunda forma, foram executados dois modos de avaliação presencial: um modo com dois grupos de estudantes que conheciam metodologia de projeto (conforme abordado no segundo capítulo da tese), e no outro modo, com um grupo que não conhecia metodologia. Ambas as formas de avaliação presencial foram detalhadas na seção 5.2.

Os critérios de avaliação, adotados no questionário, se basearam nos requisitos de modelagem citados no Quadro 5.2.

	Crítérios de avaliação	Fonte
1	Desenvolver maneiras para que, durante o processo de ER, seja <u>auxiliada a identificação e descrição das funções e dos princípios de solução dos ST existentes</u> ;	Segundo capítulo da tese (considerações finais)
2	Ser permitida a <u>comparação dos ST similares</u> , bem como a <u>inserção de funções e de princípios de solução de diversas áreas de conhecimento</u>	
3	Apesar do foco na fase de projeto conceitual, o modelo de ER e a base de dados devem <u>considerar a necessidade de cada organização</u> , mediante a <u>possibilidade de inserir informações das outras fases do PDP</u> , ou realizar a adequação da fase de projeto conceitual, se for preciso.	
4	O processo de ER deve considerar as principais atividades comuns sugeridas nas abordagens de ER do terceiro capítulo, as quais devem ser avaliadas quanto à <u>adequação ao contexto da fase de projeto conceitual</u> .	Terceiro capítulo da tese (considerações finais)
5	A sistematização do processo de ER deve considerar formas padronizadas de modelagem de informações da literatura, para <u>facilitar a realização de modificações futuras na sistemática de ER e na base de dados (BD)</u> . As mudanças podem ser necessárias para adequar a sistemática de ER à realidade das organizações, em termos das fases do PDP, das atividades da sistemática de ER e dos meios de apoio.	

Quadro 5.2. Requisitos de modelagem da sistemática de ER.

No Quadro 5.2, foram sublinhadas frases de cada requisito, pois foram identificadas como elementos que favorecem a avaliação da sistemática e da estrutura da base de dados. Por exemplo, no primeiro requisito, foi destacado: “auxiliada a identificação e descrição das funções e dos princípios de solução dos ST existentes.” Indica o desejo de auxiliar os processos de identificação e descrição das funções e princípios de solução dos ST existentes, pois os projetistas utilizarão tais informações no projeto dos ST, principalmente aqueles similares ao ST analisado. Neste caso, foi sugerido o critério de avaliação: “facilidade de identificação das funções e princípios de solução dos ST existentes”.

Dos requisitos, foram gerados critérios de avaliação. Conforme mostra o Quadro 5.3, cada critério de avaliação gerou uma questão, cujas respostas admitiram três níveis: atende totalmente (AT); atende parcialmente (AP); e não atende (NA).

Requisito	Critérios	Questões	
1	1	Facilidade de identificação das funções e princípios de solução dos ST existentes	O método auxilia na identificação e descrição das funções e princípios de solução dos objetos físicos?
2	2	Possibilidade de comparação dos ST similares	A sistemática e a base de dados (BD) permitem a comparação de dados, funções e princípios de solução de diversos ST?
3	2	Possibilidade de inserção de funções e princípios de solução de diversas áreas	Foi notado se a estrutura da BD permite a inserção de funções e de princípios de solução de qualquer área de conhecimento?
4	3	Considerar a necessidade de cada organização	A sistemática e a BD podem ser adequadas à realidade de cada organização?
5	3	Possibilidade de inserção de informações de outras fases do PDP	A sistemática e a BD permitem a inserção de informações de outras fases do PDP (além do projeto conceitual)?
6	4	Adequação da sistemática e da BD à fase de projeto conceitual	A sistemática e a BD estão adequadas ao contexto da fase de projeto conceitual?
7	5	Facilidade de modificar a sistemática de ER e a BD	Na sua percepção, a sistemática e a BD podem ser facilmente modificadas?
8	*	Clareza e objetividade (conformidade)	A sistemática e a BD se mostram de forma clara e objetivas, no âmbito da ER?
9	*	Meios de apoio	Os meios de apoio e ferramentas auxiliam significativamente as atividades de ER?
10	*	Nível de detalhamento	O detalhamento do processo de ER está adequado para uma sistemática de referência?

Quadro 5.3. Questões de avaliação.

Conforme o Quadro 5.3, além dos critérios oriundos dos requisitos do Quadro 5.1, foram propostos mais três critérios. Um deles trata do auxílio dos meios de apoio às atividades de ER, e os demais são critérios de avaliação genéricos para modelos de referência, propostos por Ross (1977), citado por Vernadat (1996), em Romano (2003, p.50).

Após definir as questões, foram sugeridos alguns participantes do processo de avaliação, sendo ambos apresentados nos itens que seguem.

5.2. AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA DE ER

Os procedimentos de avaliação foram realizados com os especialistas externos e os grupos de usuários, conforme mostrado nas seções seguintes.

5.2.1. Avaliação à distância dos especialistas no PDP

Foram sugeridos especialistas no processo de desenvolvimento de produtos (PDP), que trabalham na iniciativa privada e professores universitários, onde ambos os perfis devem ter significativo domínio das atividades e ferramentas da fase de projeto conceitual. Assim, eles podem avaliar as contribuições efetivas da sistemática de ER e da base de dados à fase de projeto conceitual.

Estes especialistas, citados no Quadro 5.4, participaram de forma espontânea, sem remuneração. Dez especialistas receberam o material de avaliação e tiveram sete dias para devolver o questionário, dos quais cinco (50%) participaram.

5.2.2. Avaliação presencial dos usuários

Na avaliação presencial, foram previstos dois modos de avaliação presencial: um modo com dois grupos de estudantes que conheciam metodologia de projeto (conforme abordado no segundo capítulo da tese), e no outro modo, com um grupo que não conhecia metodologia. As características dos três grupos podem ser vistas no Quadro 5.5. Tal diferenciação objetivou avaliar a influência do conhecimento prévio dos usuários sobre metodologia de projeto, mesmo que o baixo número de participantes não permitisse uma análise estatística adequada.

No primeiro modo, participaram dois grupos de alunos de graduação em engenharia mecânica, com conhecimento de metodologia de projeto. O grupo U1 teve dois integrantes de uma equipe SAE Aerodesign, e o grupo U2, três integrantes de uma equipe SAE Formula. Foram preferidos alunos destes projetos integradores, pois possuem experiência com as atividades de projeção e podem utilizar a sistemática de ER nas atividades de seus projetos, o que se configura como uma contribuição indireta da pesquisa.

Como os integrantes destes grupos tinham conhecimento prévio de metodologia, assistiram uma apresentação do material de avaliação (exemplo do aparador), em momentos distintos, para capacitá-los no uso da sistemática. Depois, foi informada a solicitação de ER dada (Quadro F.1) e entregue ao grupo o compressor citado no Apêndice F, junto com os equipamentos de desmontagem necessários e uma câmera fotográfica, e ainda a estrutura integrada de análises de ER (Fig. C.2), em formato ABNT A0. Então, os participantes executaram um *projeto* demonstrativo de ER, seguindo as etapas da estrutura da Fig. C.2, conforme a solicitação de ER.

Origem	Perfil do especialista	Contato com as atividades do projeto conceitual
01 Professor de uma escola técnica e superior (SENAI)	<u>E.01.</u> Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica e mestrado em Engenharia Mecânica. Atua principalmente nos seguintes temas: Projetos mecânicos, manutenção, ergonomia e disponibilidade de máquinas. Coordenador/Professor dos Cursos: Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial e Técnico em Eletromecânica, pelo SENAI-SC.	Teve contato com a metodologia de projeto e a fase de projeto conceitual durante o mestrado. Coordena os projetos no SENAI usando as fases e as ferramentas da metodologia.
02 Diretor de uma empresa privada de comércio eletrônico	<u>E.02.</u> Possui graduação em Engenharia Mecânica e mestrado em Engenharia Mecânica. Diretor de uma empresa de comércio eletrônico. Tem experiência nas áreas de usinagem, gestão de pessoal e coordenação de contratos.	Teve contato com a metodologia de projeto e a fase de projeto conceitual durante o mestrado. Acompanha pesquisas da engenharia mecânica.
03 Projetista numa empresa privada (metal mecânica)	<u>E.03.</u> Possui graduação em Engenharia Mecânica e mestrado em Engenharia Mecânica. Atualmente é professor dos cursos de graduação e pós-graduação das Faculdades Anhanguera, unidades I e II de Joinville-SC e coordenador de projetos de produtos da empresa Schulz S.A., divisão compressores. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção, com ênfase em desenvolvimento de produtos, gerenciamento de projetos, refrigeração e aplicação de ferramentas e metodologias de projeto de produto.	Teve contato com a metodologia de projeto e a fase de projeto conceitual no mestrado, onde foi aplicado o <i>QFD</i> e o <i>FMEA</i> nas atividades de projeção da empresa Schulz.
04 Pesquisadora em uma universidade pública	<u>E.04.</u> Possui graduação em Engenharia Industrial e mestrado em Engenharia Mecânica. Doutoranda em Engenharia Mecânica. Áreas de trabalho: desenvolvimento de novos produtos (projeto e gerenciamento), mapeamento tecnológico, análise de mercado e gestão da inovação tecnológica.	Teve contato com a metodologia de projeto e a fase de projeto conceitual no mestrado e doutorado, além dos projetos de pesquisa que participou.

Quadro 5.4. Perfil dos especialistas que participaram da avaliação à distância.

Continuação do Quadro 5.4.

Origem	Perfil do especialista	Contato com as atividades do projeto conceitual
05 Professor de escola técnica (IFSC – Araranguá/SC)	<u>E.05.</u> Técnico em Mecânica de Precisão, graduado em Engenharia de Produção Mecânica e mestrado em Engenharia Mecânica. Atuou como Engenheiro de Produto na Bosch Rexroth e na Embraco. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, no campus Araranguá. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Desenvolvimento de Produto, atuando principalmente nos seguintes temas: metodologia de desenvolvimento de produto, projeto de produto, equipamentos para maricultura e produtos inclusivos.	Teve contato com a metodologia de projeto e a fase de projeto conceitual no mestrado. Orienta projetos de pesquisa e extensão sobre projetos de máquinas utilizando metodologia de projeto.

	Perfil do grupo participante	Contato com as atividades do projeto conceitual	Origem dos integrantes do grupo
Grupo U1	Dois alunos de graduação em Engenharia de Produção Mecânica da UNOESC Joaçaba/SC. Integrantes da equipe SAE Aerodesign.	Estudaram metodologia de projeto na disciplina de projeto de produto, na graduação. Desenvolveram uma aeronave com base nas metodologias de Rosa (2006) e Back <i>et alii.</i> (2008).	Universidade privada (graduação em Engenharia de Produção Mecânica da UNOESC Joaçaba/SC)
Grupo U2	Três alunos de graduação em Engenharia Mecânica da UFSC Florianópolis/SC. Integrantes da equipe SAE Formula.	Estudaram metodologia de projeto na disciplina de metodologia de projeto de produto, na graduação, onde desenvolveram um projeto didático na disciplina. Também estão aplicando a metodologia de projeto no desenvolvimento de um veículo SAE Formula.	Universidade pública (graduação em Engenharia Mecânica na UFSC)
Grupo U3	Três alunos de graduação em Engenharia de Produção Mecânica da UNOESC Joaçaba/SC. Um aluno do curso técnico em Mecânica do IFC campus Videira/Luzerna.	Não tiveram contato prévio com metodologia de projeto. Dois trabalham em áreas relacionadas ao desenvolvimento de produtos em empresas da região meio oeste catarinense. Os outros dois atuam na área de manutenção e analisam produtos concorrentes.	- Universidade privada (graduação em Engenharia de Produção Mecânica da UNOESC Joaçaba/SC); - Escola Técnica Federal (pública)

Quadro 5.5. Perfil dos grupos de usuários participantes.

Os grupos U1 e U2 conseguiram executar com relativa facilidade a análise parcial de engenharia reversa, cujo foco foi a análise física de soluções de projeto do compressor selecionado. Porém, para que os conceitos pudessem ser compreendidos em menor tempo, foi sugerida a execução das análises mais complexas somente em alguns componentes, conforme visto no Quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID), Quadro F.5. Em ambos os grupos, as dúvidas mais frequentes foram relacionadas à localização das planilhas na Fig. C.2, pois as etapas da sistemática já estavam descritas.

Foi notada dificuldade na identificação dos efeitos relacionados aos componentes do ST, no Quadro SID (Quadro F.5), mesmo tendo uma base de dados de efeitos disponível para consulta. Isto em parte é explicado pela dificuldade dos alunos em abstrair os conceitos presentes nos fenômenos que descrevem o funcionamento de tais componentes, conforme citado no segundo capítulo da tese. Entretanto, com o passar do tempo, os usuários da sistemática tendem a obter mais experiência com estes conceitos mais abstratos, onde passarão a associar com mais facilidade as características dos componentes aos respectivos efeitos. Desta forma, foi encerrado o primeiro modo de avaliação presencial.

O segundo modo foi realizado com o grupo U3, composto de quatro participantes sem conhecimento prévio de metodologia de projeto, conforme descrito no Quadro 5.5. Teve duas etapas distintas:

- 1) Análise do compressor sem orientação prévia;
- 2) Análise do compressor de acordo com as orientações da sistemática de ER.

Inicialmente, o grupo U3 recebeu o mesmo compressor do estudo do Apêndice F (e do primeiro modo de avaliação), nas condições em que foi adquirido (devidamente embalado), mas tiveram liberdade de escolher as ferramentas de análise. Esta liberdade objetivou não influenciar nas análises que julgaram importantes, pois eles poderiam executar análises por dedução, a partir de alguma ferramenta sugerida pela equipe de pesquisa. Como pode ser visto, as principais ferramentas que utilizaram foi: máquina fotográfica, chave de fenda, alicate e trena.

A análise do grupo U3 foi realizada numa noite de quinta-feira, a qual teve seis etapas: análise da embalagem, medições, desmontagem, montagem, teste prático e finalização. Na primeira etapa, análise da embalagem, iniciada às 21:15h, foi notado que a embalagem continha todos os itens especificados (compressor, manual e bicos adaptadores), e informações importantes, tais como:

- a) Pressão máxima de trabalho: 250 psi;
- b) Tensão DC: 12V;
- c) Utilidades: inflar pneus de automóveis, bicicletas ou motos, bóias, bolas, colchões de ar, botes e outros infláveis.

A Fig. 5.2 mostra a análise da embalagem realizada. A primeira etapa durou dez minutos no total, sendo concluída às 21:25h.



Figura 5.2. Análise da embalagem do compressor: grupo U3.

Já a segunda etapa, de medições, iniciou às 21:25h e durou três minutos. Com uma trena, foram medidos: fio de energia (2,94m) e mangueira de ar (0,37m), conforme mostrado na Fig. 5.3.



Figura 5.3. Etapa de medições do compressor: grupo U3.

A terceira etapa, desmontagem, iniciou às 21:28h, durou doze minutos e foi onde a equipe dedicou maior tempo e esforço de análise. Nela, foram observados:

- 1) Desmontagem simples das carcaças (5 parafusos);
- 2) Não possui reservatório de ar;
- 3) Carcaças fabricadas com materiais reciclados (mostra o apelo ambiental);
- 4) Materiais de baixa resistência, utilização apropriada mais em casos de emergência, não uso habitual;
- 5) Risco de superaquecimento se for utilizado por muito tempo;
- 6) Descartável (sem reparos disponíveis caso estrague).

Durante a desmontagem, a equipe U3 analisou de forma subjetiva os componentes e os subsistemas, para avaliar a interação entre os componentes e se eles são resistentes ou descartáveis. Não foram feitas medições nos componentes, nem a identificação formal das funções deles. A Fig. 5.4 mostra o subsistema de compressão do compressor.



Figura 5.4. Desmontagem do compressor: grupo U3. Detalhe do subsistema de compressão.

Já a quarta etapa, de montagem, iniciou às 21:41h e foi concluída às 21:50h. Objetivou a montagem do compressor (veja a Fig. 5.5).

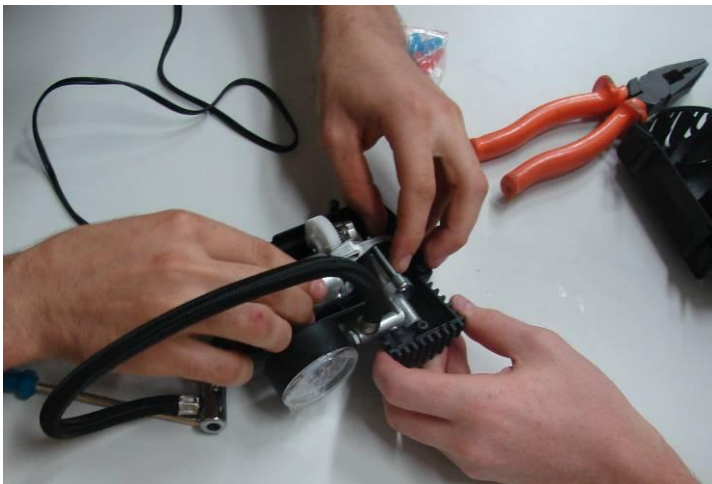


Figura 5.5. Montagem do compressor: grupo U3.

Durante a montagem, foi observado que os ajustes das peças não possuem boa precisão, ou seja, as folgas tornam a montagem um pouco complexa. Isto não se torna um problema para o usuário do compressor, mas deve ser considerado numa produção seriada.

Depois da montagem, foi realizado um teste prático, como sexta etapa da análise, que iniciou às 21:52h. Nesta, o bico do compressor foi conectado ao bico de um pneu automotivo de medidas 205-65-R15, cuja calibragem inicial era 28 psi. O fio elétrico foi conectado à tomada 12VDC do veículo, o que acionou imediatamente o compressor (não tem botão para ligar). A Fig. 5.6 ilustra o teste prático.



Figura 5.6. Teste prático do compressor: grupo U3.

Ao acionar o compressor, os integrantes do grupo U3 notaram muita vibração e ruído do compressor, seguido de superaquecimento. Conforme mostrado na Fig. 5.6, devido à vibração, um integrante teve que segurar o compressor para evitar o desacoplamento do bico do pneu. Ele notou que o manômetro do compressor pareceu impreciso e que foi necessário um tempo elevado para aumentar pouca pressão no pneu.

Isto não é conveniente para pneus vazios ou com baixa pressão, pois o compressor não pode ser utilizado de forma ininterrupta por mais de dez minutos, tendo pausas de trinta minutos para esfriar. Tal demora resulta do baixo volume da câmara de compressão, que se mostrou inadequado. Mesmo assim, foi notado que o comprimento da mangueira de ar e do fio da tomada são adequados para o uso do compressor. A quinta etapa foi encerrada às 22:08h.

A sexta etapa, de finalização, iniciou às 22:09h e teve duração de dois minutos. Compreendeu as atividades de limpeza e armazenagem do compressor e dos acessórios. Assim, pode ser notado que o grupo U3 concluiu as seis etapas da análise do compressor em 56 minutos.

Na tarde de sábado da mesma semana, foi realizada a segunda parte da avaliação presencial com o grupo U3. Iniciou às 13:52h e consistiu de uma apresentação sobre o processo de desenvolvimento de produtos (PDP), com foco na fase de projeto conceitual, para que os alunos pudessem entender melhor a aplicação da sistemática de engenharia reversa no âmbito desta tese. Na sequência, foi apresentada a sistemática de ER, com suas atividades e métodos de apoio, na forma de capacitação, a partir do material de avaliação (exemplo completo de análise física de ER de um aparador de grama).

Após a capacitação, que encerrou às 15:26h, o grupo U3 recebeu o mesmo compressor, a versão impressa do material de avaliação enviado aos especialistas de PDP, a estrutura integrada de análises de ER (Fig. C.2), em formato ABNT A0, e ferramentas: chaves de fenda, câmera fotográfica, régua e uma balança digital (resolução de 1g). O momento inicial desta análise orientada pode ser visto na Fig. 5.7.

Nesta análise, os integrantes do grupo U3 receberam inicialmente a solicitação de ER (SER), de onde planejaram o *projeto* de ER em termos de definição de escopo (onde foram selecionadas as atividades de ER), de cronograma e orçamento. Tal planejamento, junto com as demais atividades da análise parcial de ER, foi orientado pelos passos e respectivos métodos presentes na estrutura integrada de análises de ER (Fig. C.2).



Figura 5.7. Início da análise do compressor utilizando a sistemática de ER: grupo U3.

Como na solicitação de ER foi requisitada a análise das soluções de projeto do compressor, o grupo U3 partiu para a caracterização e desmontagem do compressor, conforme mostrado na Fig. 5.8.



Figura 5.8. Análise das soluções de projeto do compressor utilizando a sistemática de ER: grupo U3.

A sistemática de ER orientou que a análise das soluções internas fosse realizada com base no *SOP* (procedimento de subtrair e operar), de onde foram identificados os componentes do compressor, bem como as dimensões, as funções e demais características dos componentes. Com isto, foram preenchidos os quadros (na estrutura integrada impressa que receberam): quadro de caracterização do compressor selecionado (CST), quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID), estrutura de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST (AIP) e a visão parcial da matriz morfológica do compressor avaliado (MMF). Após o procedimento *SOP*, fotografaram o compressor desmontado em posição de vista explodida, conforme indicado nos passos da sistemática de ER.

Depois da análise das soluções de projeto do compressor, foi iniciada a terceira fase da sistemática de ER, que trata das orientações de projeção. Nesta, o grupo U3 preencheu: quadro de recomendações de projeção dos ST (RTP), e o quadro com recomendações de projeto dos ST (RPS). A análise de ER encerrou às 17:57h, tendo uma duração total de 2:31h (151 minutos). Ao final, o grupo U3 preencheu o questionário de avaliação da sistemática de ER, concluindo a participação deles.

Os resultados serão mostrados no próximo tópico. Cabe ressaltar que na avaliação presencial, nenhum dos grupos (citados no Quadro 5.5) teve contato prévio com o exemplo do compressor (Apêndice F), nem com o próprio compressor. Isso evitou o surgimento de resultados “viciados”, com base em informações privilegiadas do Apêndice F. Foi apenas disponibilizada uma versão impressa do material de avaliação, com o exemplo de uma análise física completa de ER realizada num aparador de grama, objetivando lembrar as atividades de ER mostradas na apresentação da sistemática. Entretanto, nenhum dos grupos de avaliação presencial utilizou tal material, pois preferiram seguir somente os passos da sistemática e o aprendizado obtido na capacitação.

Em relação à execução do *projeto* parcial de ER, foi notado que os integrantes dos grupos U1, U2 e U3 conseguiram executar a análise física, seguindo os passos sugeridos na estrutura integrada de análises de ER (Fig. C.2). O grupo U3 obteve resultados mais consistentes com esta análise estruturada de ER. Os resultados finais dos grupos são similares e pouco distorceram em relação ao que foi apresentado no Apêndice F. No próximo tópico são mostrados todos os resultados da avaliação.

5.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

Todos os resultados dos questionários estão no Quadro 5.6.

Especialistas (E) e grupos de usuários (U)	Questões	1. O método auxilia na identificação e descrição das funções e princípios de solução dos objetos físicos?	2. A sistemática e a base de dados (BD) permitem a comparação de dados, funções e princípios de solução de diversos sistemas técnicos?	3. Foi notado se a estrutura da BD permite a inserção de funções e de princípios de solução de qualquer área de conhecimento?	4. A sistemática e a BD podem ser adequadas à realidade de cada organização?	5. A sistemática e a BD permitem a inserção de informações de outras fases do PDP (além do projeto conceitual)?	6. A sistemática e a BD estão adequadas ao contexto da fase de projeto conceitual?	7. Na sua percepção, a sistemática e a BD podem ser facilmente modificadas?	8. A sistemática e a BD se mostram de forma clara e objetivas, no âmbito da ER?	9. Os meios de apoio e ferramentas auxiliam significativamente as atividades de ER?	10. O detalhamento do processo de ER está adequado para uma sistemática de referência?
Especialista E1 – Professor de escola técnica	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AP	AT	AT	AT	
Especialista E2 – Diretor de empresa privada	AT	AT	AP	AT	AP	AT	AT	AP	AP	AT	
Especialista E3 – Projetista em empresa privada	AT	AT	AT	AP	AT	AT	AT	AT	AT	AT	
Especialista E4 – Pesquisadora de universidade	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	
Especialista E5 – Professor de escola técnica	AP	AT	AT	AT	AT	AP	AP	AT	AT	AT	
Grupo U1: SAE Aerodesign UNOESC Joaçaba	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	
Grupo U2: SAE Formula UFSC Florianópolis	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	
Grupo U3: alunos sem conhecimento de metodologia de projeto	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	
<u>Legenda:</u> AT (atende totalmente); AP (atende parcialmente); NA (não atende)											

Quadro 5.6. Resultados das análises dos usuários (U) e especialistas (E).

A maioria das respostas no Quadro 5.6 indica que a sistemática e a estrutura da base de dados atendem totalmente²³ todos os critérios de avaliação. A seguir, serão citadas algumas respostas dos avaliadores, em relação aos critérios que julgaram não atender totalmente.

Na questão 1, que trata do auxílio do método na identificação e descrição das funções e princípios de solução dos objetos físicos, o especialista E5 classificou como atendimento parcial, comentando:

Auxilia sim, sem dúvida, mas fiquei com dúvidas em relação à aplicabilidade, em função da quantidade de recursos necessários na fase conceitual para aplicá-la (recursos humanos e tempo necessário para análise da ER; parece tomar muito tempo).

Na questão 3, da inserção de funções e princípios de solução, o especialista E2 considerou “atendimento parcial” e sugeriu [*sic*]:

Não tem que atender totalmente. A estrutura teria que ser extremamente flexível e inteligente para se adaptar as particularidades dos mais diversos tipos de produto e de atributos de seus componentes. Uma estrutura deste tipo estaria, na maioria dos casos, superdimensionada para a aplicação. Penso que na prática, o melhor seria adaptar a estrutura da BD de acordo com os tipos de produtos que constituem o foco de trabalho da organização.

Na questão 4, que trata da adequação da sistemática e da base de dados à realidade das organizações, o especialista E3 questionou:

Como adequar os termos de DP utilizados pela empresa à sistemática e a BD?

Na questão 6, sobre a adequação da sistemática e da base de dados ao contexto da fase de projeto conceitual, o especialista E5 disse:

Acredito que a sistemática poderia ser inserida no *QFD* (Análise dos concorrentes).

²³ Como os grupos de usuários consideraram que a sistemática e a estrutura da base de dados atenderam totalmente os critérios de avaliação, preferiram não comentar no questionário.

Na questão 7, que trata da facilidade de mudança da sistemática, o especialista E1 comentou:

Ela permite ser modificada, mas é necessário muito conhecimento da ER aplicada ao sistema.

Já o especialista E5 sugeriu, para a questão 7:

Percebi a sistemática como etapas bem definidas, que não podem ser modificadas; o que não significa que seja ruim; talvez, se necessário, de acordo com cada SER, alguma etapa poderia ser excluída.

Na resposta da questão 8, sobre a clareza e objetividade da sistemática e da estrutura da base de dados, o especialista E2 sugeriu:

A estrutura da BD ficaria mais clara se também fosse descrita através de um diagrama apropriado.

Em parte, esta resposta não tem sentido, pois todas as fases da sistemática foram mostradas em fluxogramas, detalhados ao longo do texto, no material de avaliação. Por outro lado, isto mostra a importância da modelagem das fases, atividades, meios, entradas e saídas em fluxogramas, pois auxilia na execução dos *projetos* de ER, bem como na modificação da sistemática de referência conforme as necessidades de cada organização. Isto foi constatado na resposta do próprio especialista E2 sobre a questão 9, sobre o potencial de auxílio dos meios e ferramentas propostos na sistemática de engenharia reversa [*sic*]:

Constituem um excelente ponto de partida. Entretanto, assim como a BD precisam sofrer adaptações para atender a outros tipos de produtos/áreas de conhecimento.

Pelas respostas, foi notado que os especialistas fizeram uma avaliação mais detalhada, o que era desejado. Apontaram alguns pontos de melhoria da sistemática, os quais não comprometem a execução das atividades dos *projetos* de ER, mas servem de orientações para as novas pesquisas afins. De forma geral, os especialistas e os grupos de usuários se mostraram satisfeitos com a sistemática de engenharia reversa e a base de dados, em todos os aspectos de avaliação.

Em termos de comparação, os integrantes do grupo U3 afirmaram ter gostado do novo procedimento de análise de produtos concorrentes baseado na sistemática de ER, pois vai ajudá-los na execução de novas análises similares nas empresas onde trabalham, de forma estruturada.

CAPÍTULO VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões da pesquisa e algumas recomendações para pesquisas futuras.

6.1. CONCLUSÕES

Conforme apresentado no Capítulo I, esta pesquisa tem como objetivo geral sistematizar o processo de engenharia reversa de sistemas técnicos (ST), que auxilie na obtenção, análise e disponibilização de informações para a geração de ST inovadores. Diante dos resultados obtidos, nota-se que a sistemática de ER gerada e a estrutura da base de dados atingiram este objetivo.

Da mesma maneira, os objetivos específicos também foram atendidos, pois mediante a revisão da literatura sobre PDP e engenharia reversa, foram identificadas as principais proposições de ER que contribuíram conceitualmente com a elaboração da sistemática de ER. Foi ainda desenvolvido um processo sistematizado de ER que auxilia a equipe de projeto na proposição de inovações para o desenvolvimento de novos produtos, bem como uma estrutura de base de dados que permite a armazenagem e a consulta das informações obtidas nos processos de engenharia reversa. Estes objetivos, atendidos, ainda se configuram em parte como as contribuições esperadas pela pesquisa.

Em termos da revisão bibliográfica sobre PDP, foi priorizada a fase de projeto conceitual. Nesta, foi dada ênfase nos processos de definição das funções e de proposição dos princípios de solução para as funções dos ST, pois nelas há grande chance de inovar nos sistemas técnicos, apesar da dificuldade dos projetistas em abstrair as soluções.

Em relação à engenharia reversa, foram estudadas as abordagens da literatura, junto com o processo de análise dos veículos concorrentes num fabricante automotivo brasileiro. Foi assim identificada a escassez das abordagens de ER que tratam o ST de forma integrada, considerando as funções. Poucas abordam a identificação de princípios de solução, pois se concentram nas características técnicas dos componentes.

A presente sistemática, por sua vez, permite que a equipe de engenharia reversa obtenha e analise informações dos sistemas técnicos existentes (concorrentes ou inspiradores), visando fornecer informações das aplicações reais das funções, dos princípios de solução e das características técnicas dos componentes, que possam ser utilizadas pelos projetistas nos novos sistemas.

Complementa a abordagem tradicional, onde a proposição de princípios de solução, na matriz morfológica, é realizada com base nos métodos de criatividade e na experiência dos projetistas. Os projetistas mais experientes até informam em qual sistema técnico uma solução específica foi utilizada, mas não possuem informações precisas da aplicação, além de manterem seus conhecimentos na forma tácita, não explícita. Isso fragiliza as informações da organização, em comparação a uma base de dados que pode ser consultada periodicamente.

Em termos de metodologia científica, o procedimento planejado se mostrou adequado, mediante a revisão bibliográfica com o estudo do processo de análise dos ST concorrentes num fabricante automotivo brasileiro. Foi necessário para o desenvolvimento de conteúdo teórico para a proposição da sistemática de engenharia reversa. Neste sentido, também foi elaborada uma estrutura de base de dados, a partir da modelagem das principais informações utilizadas nas atividades da fase de projeto conceitual.

As formas de avaliação da pesquisa também se mostraram adequadas, apesar de não ter sido possível aplicar a sistemática num ambiente real de projeto para validá-la. Mesmo assim, foi possível identificar as impressões dos especialistas no PDP e dos potenciais usuários da sistemática e da estrutura da base de dados, mediante as avaliações presenciais. Isto auxilia na orientação de pesquisas similares.

Cabe destacar a importância das informações obtidas pela diferenciação das formas de avaliação presencial. Nela, os dois grupos com conhecimento prévio sobre metodologia de projeto apresentaram resultados similares ao grupo U3, que não conhecia metodologia de projeto e foi capacitado no PDP e no uso da sistemática de engenharia reversa. Isto sugere que projetistas inexperientes podem obter resultados consistentes e importantes a partir da sistemática de ER e da estrutura de base de dados propostas nesta tese, os quais serão disponibilizados para apoiar o PDP e a execução de novos projetos de engenharia reversa.

Ressalta-se a importância de apresentar exemplos didáticos para ilustrar as atividades e meios de apoio da sistemática, bem como da estrutura da base de dados proposta. Os exemplos do aparador e do compressor serviram ainda na análise da modelagem das informações sugeridas nas atividades e meios da sistemática, e na avaliação da pesquisa junto aos especialistas e usuários. Concluindo, nota-se que os resultados da avaliação mostraram que a sistemática e a estrutura da base de dados propostas atendem os requisitos de modelagem (final dos capítulos dois e três), o que torna útil a presente pesquisa.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos estudos realizados nesta pesquisa, e na execução da pesquisa em si, foram propostas as seguintes recomendações:

- 1) Desenvolver a sistemática de engenharia reversa nas demais fases do processo de desenvolvimento de produtos, pois esta pesquisa foi direcionada para a fase de projeto conceitual;
- 2) Elaborar uma estrutura computacional dedicada para a execução do **projeto** de ER, considerando a estrutura da base de dados, proposta, as atividades e os meios de apoio da sistemática de engenharia reversa;
- 3) Elaborar uma base de dados compatível com a estrutura da base de dados aqui proposta e com a estrutura computacional da sistemática de ER, com acesso remoto (outras organizações, em diversos lugares) e restrito, para favorecer o registro e a consulta das informações disponíveis;
- 4) Elaborar pesquisas relacionadas aos catálogos de projeto, onde sejam mapeados diversos efeitos e portadores de efeito, para auxiliar na identificação dos princípios de solução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, Tokio; STARR, Patrick. **Teaching the writing and role of specifications via a structured teardown process**. Journal of Design Studies. Vol.24, 2003. Pp.475-489. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/destud>. Acesso: Jun. 2006.

ANDREASEN, Mogens Myrup; KÄHLER, Steen; LUND, Thomas; SWIFT, K. G. **Design for assembly**. 2nd Ed. IFS Publications, UK. Berlin: Springer-Verlag, 1988.

BACK, Nelson. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. 1a. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Acires; SILVA, Jonny Carlos. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Vol.1. Barueri, SP: Manole, 2008.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. Ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 261p.

BRACEWELL, Rob. **Synthesis based on function-means trees: schemebuilder**. In: CHAKRABARTI, Amaresh. **Engineering design synthesis: understanding, approaches and tools**. London: Springer Verlag, 2002.

CARVALHO, Marco Aurélio. **Modelo prescritivo para a solução criativa de problemas nas etapas iniciais do desenvolvimento de produtos**. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção). Programa de Pós Graduação em Eng. de Produção e Sistemas da UFSC, 1999.

_____. **Metodologia ideatriz para a ideação de novos produtos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da UFSC. 2007.

CHIKOFFSKY, Elliot J.; CROSS IL, James. H. **Reverse engineering and design recovery: a taxonomy**. Pp.13-17. IEEE, Jan. 1990.

COLLI, Natal. **Reverse engineering at FIAT automóveis do Brasil**. Congresso SAE Brasil, São Paulo: Society of Automotive Engineers, Inc., 2006. Paper: 2006-01-2573. 2006.

CORAL, Eliza; OGLIARI, André; ABREU, Aline França. **Gestão integrada da inovação**: estratégia, organização e desenvolvimento de produto. 1ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

COSTA, Cleire Maria Carioca de. **Processos de aprendizagem e acumulação de competências tecnológicas na indústria de injeção plástica**: o caso da Multibrás da Amazônia S.A. Dissertação (Mestrado Executivo). Programa de Pós Graduação da Escola Brasileira de Administração Pública. Fundação Getúlio Vargas, 2002.

CSILLAG, João Mário. **Análise do valor**: metodologia do valor. 3ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 1991.

CZIULIK, Carlos. **Development of a computer evaluation model for assessing mechanical systems conceptual design alternatives**. Ph.D. thesis. School of Mechanical and Materials Engineering. UK: University of Surrey, 1998.

DHILLON, Balbir S. **Engineering and technology management**: tools and applications. Norwood, Artech House, Inc, 2002.

EDER, Wolfgang Ernst; HOSNEDL, Stanislav. **Engineering design**: a manual for enhanced creativity. Boca Raton/FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2008.

EILAM, Eldad. **Reversing**: secrets of reverse engineering. Wiley Publishing, Inc., 2005.

ELMASRI, Ramez; NAVATHE, Shamkant B. **Fundamentals of database systems**. 4th Ed. Boston, USA: Pearson Education, Inc., 2004.

FERREIRA, Aurélio Buarque Holanda. **Dicionário aurélio eletrônico**: século XXI. Versão 3.0. Software produzido pela Lexikon Informática Ltda. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, Nov. 1999.

FIOD NETO, Miguel. **Desenvolvimento de sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 1993.

FONSECA, Antonio Jorge Hernandes. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 2000.

FRENCH, Michael. **Invention and evolution: design in nature and engineering**. 2nd Edition. Cambridge University Press, 1994.

GIACAGLIA, Maria Cecília. **Organização de eventos: teoria e prática**. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2008. 4^a reimpressão.

HANSEN, Claus Thorp; ANDREASEN, Mogens Myrup. **Two approaches to synthesis based on the domain theory**. In: Chakrabarti, Amaresh. *Engineering design synthesis: understanding, approaches and tools*. London: Springer Verlag, 2002. p.93–108.

HIRTZ, Julie; *et alii*. **A functional basis for engineering design: reconciling and evolving previous efforts**. *Research in Engineering Design*, Vol. 13, p.65-82. Springer-Verlag, 2002.

HUBKA, Vladimir. **WDK 3: Fachbegriffe der Wissenschaftlichen Konstruktionslehre in 6 Sprachen**. Serie WDK – Workshop Design-Konstruktion. Zürich: Heurista, 1980. 204p.

_____. **WDK 1: principles of engineering design**. Serie WDK – Workshop Design-Konstruktion. 1987. First published as: “Allgemeines Vorgehensmodell des Konstruierens by Fachpresse Goldach”, Zurich, 1980. Translated by W.E. Eder. UK: Butterworth & Co. Publishers.

HUBKA, Vladimir; EDER, Wolfgang Ernst. **Theory of technical systems: a total concept theory for engineering design**. Berlin: Springer-Verlag, 1988.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pintec: pesquisa industrial inovação tecnológica 2000**. RJ, 2002. Acesso: Jun. 2003. Disp.: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pintec/>.

_____. **Pintec: pesquisa industrial inovação tecnológica 2003**. RJ, 2005. Acesso: Jun. 2005. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pintec/>.

_____. **Pintec**: pesquisa industrial inovação tecnológica 2005. RJ, 2007. Acesso: Out. 2007. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pintec/>.

IIDA, Itiro. **Ergonomia**: projeto e produção. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

KAUFMAN, Jerry J.; WOODHEAD, Roy. **Stimulating innovation in products and services**: with functions analysis and mapping. New Jersey (USA): John Wiley & Sons Inc, 2006.

KERN, Vinícius Medina. **IDEFIX**: manual do método. Notas de aula da disciplina Bancos de Dados II. Tradução livre do manual Federal Information Processing Standard 184 – Integration Definition for Information Modeling (IDEFIX). NIST (National Institute of Standards and Technology), Gaithersburg: NIST, 1994. Univali, São José, 2000.

KOLLER, Rudolf. **Konstruktionslehre für den maschinenbau**. Berlin: Springer-Verlag, 1985.

LIMA, Leonardo Monteiro Barbosa. **Modelagem de informações para a fase de projeto informacional de produtos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, 2002.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7ª. Edição. São Paulo/SP: Editora Atlas, 2010.

MONTANHA Jr., Ivo Rodrigues; LEONEL, Carlos Eduardo Lozano; OGLIARI, André; BACK, Nelson. **Metodologia para elaboração de questionário semi-estruturado para estudos de caso em gestão da inovação tecnológica**. V CBGDP, Congresso Brasileiro de Gestão de Desenv. de Produtos. Curitiba-PR, 2005.

MONTANHA Jr., Ivo Rodrigues; OLIVEIRA, Rafael Carrafini; OGLIARI, André; BACK, Nelson. **Inovação de produtos pela síntese funcional**. VI Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos. UFMG, Belo Horizonte, 2007a.

MONTANHA Jr., Ivo Rodrigues; OGLIARI, André; BACK, Nelson. **Guidelines for reverse engineering process modeling of technical systems.** In: **Complex systems concurrent engineering: collaboration, technology innovation and sustainability.** London, UK: Springer-Verlag London, 2007b. Vol.01. p.23-30. Proceedings of 14th ISPE International Conference on Concurrent Engineering CE 2007, São José dos Campos.

MONTANHA Jr., Ivo Rodrigues. *et alii.* **Guidelines for vehicle development based on principles of universal design.** XVII Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade. São Paulo, Brasil. 07 a 09 de outubro de 2008. Paper: 2008-36-0257.

MUDGE, Arthur E. **Value engineering: a systematic approach.** New York: McGraw-Hill, 1971.

OGLIARI, André. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Eng. Mecânica da UFSC, 1999.

OTTO, Kevin N.; WOOD, Kristin L. **A reverse engineering and redesign methodology for product evolution.** Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Design Theory and Methodology Conference. 96-DETC/DTM-1523. USA, 1996a.

_____. **Product design: techniques in reverse engineering and new product development.** New Jersey: Prentice Hall, 1996b.

_____. **Product evolution: a reverse engineering and redesign methodology.** Journal of Research in Engineering Design. Vol.10, 1998. Pp.226-243.

_____. **Product design: techniques in reverse engineering and new product development.** New Jersey: Prentice Hall, 2001.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Engineering design: a systematic approach.** Berlin: Springer-Verlag. Second Edition, 1988.

PAHL, Gerhard *et alii.* **Projeto na engenharia.** Tradução da 6a. Ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.

_____. **Engineering design**: a systematic approach. 3rd Ed. Edited by Ken Wallace and Luciëne Blessing. Berlin: Springer-Verlag, 2007.

PMI – PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos (guia PMBoK)**. 3rd. Ed. Pennsylvania: PMI, 2004. ISBN: 1-930699-74-3.

PRAHALAD, Coimbatore Krishnarao; HAMEL, Gary. **The core competence of the corporation**. Harvard Business Review, 1990. Vol.90, N.3, p.79-91.

PRESLEY, Adrien R. **A representation method to support enterprise engineering**. Dissertation (Doctor of Philosophy). Graduate School of The University of Texas at Arlington (USA), 1997.

PUGH, Stuart. **Total design**: integrated methods for successful product engineering. Addison Wesley, 1991.

RAJA, Vinesh; FERNANDES, Kiran Jude. **Reverse engineering**: an industrial perspective. London, UK: Springer-Verlag, 2008.

ROMANO, Leonardo Nabaes. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

ROSA, Edison da. **Introdução ao projeto aeronáutico**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

SAATY, Thomas L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

SATO, Yoshihiko; KAUFMAN, Jerry J. **Value analysis tear-down**: a new process for product development and innovation. New York: Industrial Press, Inc., 2005.

SILVA, Jamilton Santos. **Winsappi**: a evolução de uma metodologia computacional para o projeto conceitual de produtos industriais. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da UFSC, 1995.

SILVA, Jonny Carlos da. **Expert system prototype for hydraulic system design focusing on concurrent engineering aspects**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 1998.

TJALVE, Eskild. **A short course in industrial design**. London: Butterworth, 1979.

US ARMY. **Reverse engineering handbook: guidelines and procedures**. Department of Defense (DOD) Handbook. Código do documento: MIL-HDBK-115A (ARMY). 2006. Disponível em: <www.scribd.com/doc/2979777/MILHDBK115A-DOD-Handbook-U-S-Army-Reverse-Engineering-Handbook-Guidance-and-Procedures>.

USEEM, Jerry. **18 segredos das melhores empresas do mundo**. Revista Época Negócios, Jul. 2009. Núm. 29. São Paulo, Ed. Globo.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2a. Ed., 2001. Tradução de Daniel Grassi, (Bookman, Porto Alegre-RS), em relação à 2a. Ed. original: London, SAGE, 1994.

APÊNDICE A. ESTRUTURA DA BASE DE DADOS

Conforme os objetivos da pesquisa, foi notada a necessidade de elaborar uma estrutura de base de dados (BD) com foco na fase de projeto conceitual. Complementa a sistemática de ER no apoio aos projetistas, pois permite o armazenamento e a consulta às informações obtidas na engenharia reversa. Neste apêndice, examina-se o processo de elaboração da BD, que iniciou com a modelagem das informações da fase de projeto conceitual, resultando numa estrutura da base de dados adotada na pesquisa. Não houve implementação computacional da BD.

Na elaboração da estrutura da BD, utilizou-se o procedimento adotado por Lima (2002), baseado no *IDEFIX*²⁴ (Kern, 2000). Assim, o processo de modelagem de informações (vide a Fig. A.1) foi composto pelas seguintes etapas:

- 1.1. Pesquisa de informações sobre o problema de modelagem: identificação de documentos-fonte e coleta de informações; identificação dos termos candidatos à entidade (partículas de informação); e filtragem dos candidatos à entidade;
- 1.2. Criação de uma taxonomia do projeto conceitual: classificação hierárquica das informações;
- 1.3. Criação do modelo base: identificação de entidades relacionadas pela da matriz de relacionamento entre entidades; definição dos relacionamentos entre as entidades; e construção do primeiro diagrama de entidades;
- 1.4. Refinamento do modelo: resolução dos relacionamentos não específicos do primeiro diagrama; identificação dos atributos-chave e migração de chaves primárias;
- 1.5. Finalização do modelo: identificação dos produtos não-chave;
- 1.6. Avaliação do modelo IDEFIX gerado: caso esteja adequado, segue para a implementação e validação. Senão, devem ser pesquiasadas novas informações, rever estágios anteriores e refazer o estágio de modelagem.

²⁴ De acordo com Lima (2002, p.57), o “*Integration Definition for Information Modeling (IDEFIX)*, ou definição integrada para a modelagem de informações, foi formalizado como uma norma federal americana para o processamento de informações (*Federal Information Processing Standard – FIPS*). A norma FIPS 184 baseou-se no *Integration Information Support System (IISS), Volume V – Common Data Model Subsystem, Part 4 – Information Modeling Manual – IDEF1 Extended, 1 (IDEFIX)* de novembro de 1985. A norma descreve a linguagem de modelagem *IDEFIX* (semântica e sintaxe), assim como regras e técnicas associadas, para o desenvolvimento de um modelo lógico de dados. O uso desta norma permite a construção de modelos semânticos de dados com o objetivo de suportar a gestão de dados como recursos, a integração de sistemas de informação e a construção de BD computacionais.”

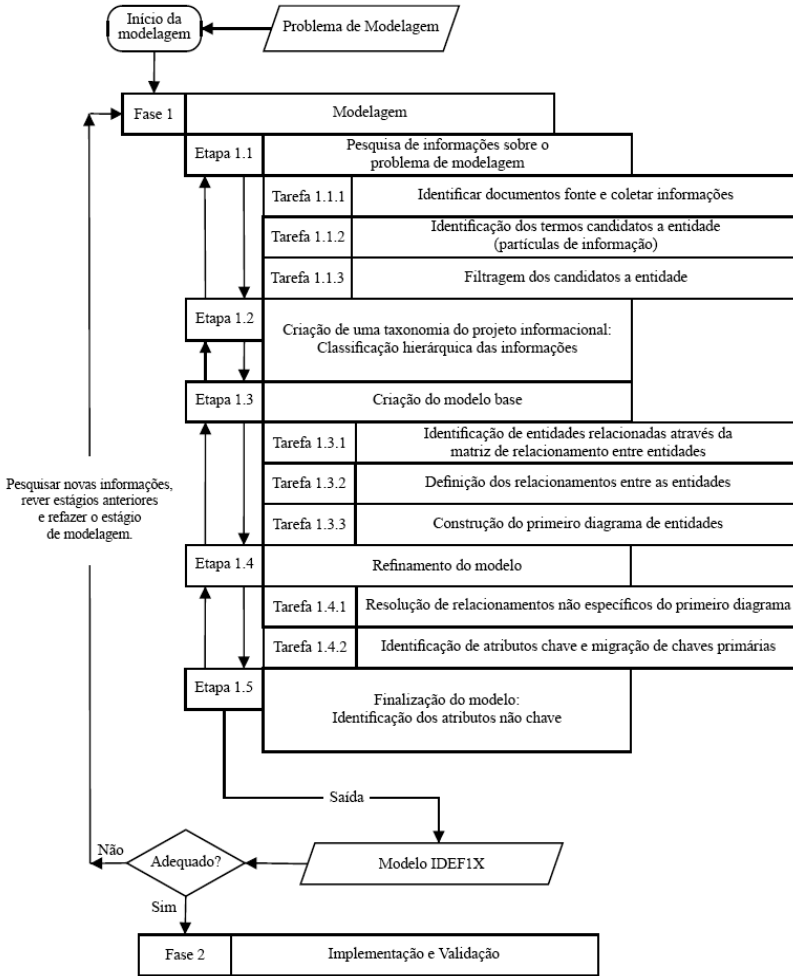


Figura A.1. Processo de modelagem (Lima, 2002, p.87).

Nesta tese, todas as etapas foram realizadas, visando otimizar a estrutura da base de dados e favorecer a integração dela com a sistemática proposta. Entretanto, foi dada prioridade às três primeiras etapas (para gerar o modelo base). Além disso, por escopo, a BD não foi implementada numa estrutura computacional, mas numa planilha, conforme exemplo nos Apêndices E e F. Assim, o principal resultado aqui é a proposição da estrutura de informações da BD.

A.1. ETAPA 1.1. PESQUISA DE INFORMAÇÕES SOBRE O PROBLEMA DE MODELAGEM

Como tarefa inicial, foram identificados os documentos-fonte da modelagem (vide o Quadro A.1) e coletadas as informações. Tais fontes são importantes referências de metodologia de projeto – algumas foram citadas no segundo capítulo – que fornecem as definições clássicas sobre aspectos do PDP, de acordo com os propósitos desta pesquisa.

Núm.	Documento-fonte	Referência
01	<i>WDK 3: Fachbegriffe der Wissenschaftlichen Konstruktionslehre in 6 Sprachen</i>	Hubka (1980)
02	<i>WDK 1: principles of engineering design</i>	Hubka (1987)
03	<i>Theory of technical systems: a total concept theory for engineering design</i>	Hubka e Eder (1988)
04	<i>Engineering design: a manual for enhanced creativity</i>	Eder e Hosnedl (2008)
05	Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem	Back <i>et alii.</i> (2008)
06	<i>Konstruktionslehre für den Maschinenbau</i>	Koller (1985)
07	<i>Engineering design: a systematic approach</i>	Pahl e Beitz (2007)
08	Dicionário Aurélio: século XXI	Ferreira (1999)
09	Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de <i>projetos</i> (guia <i>PMBOK</i>).	PMI (2004)

Quadro A.1. Lista dos documentos-fonte selecionados.

Os documentos-fonte do Quadro A.1 foram analisados, visando identificar os principais conceitos que compõem a fase de projeto conceitual. Disto, foi gerado o Quadro A.2, cuja primeira coluna enumera tais conceitos. A segunda e a terceira colunas listam os 47 conceitos típicos do projeto conceitual, ora propostos, com uma breve descrição deles. Nesta, foram destacados (em itálico e sublinhado) termos candidatos a entidade²⁵, habituais na fase de projeto conceitual. Já, a quarta coluna indica a origem dos conceitos.

²⁵ Segundo Ferreira (1999), entidade é a “classe de objetos do mundo real pertencentes ao escopo do sistema que está sendo projetado.” Em termos práticos, são os possíveis elementos que irão compor a base de dados da pesquisa, aqui enfocando a fase de projeto conceitual.

	Conceito	Descrição	Fontes
01	Abstração	Simplificação e representação de uma realidade concreta, onde um conjunto de <i>features</i> essenciais (<i>propriedades, estruturas, elementos, relacionamentos</i>) é enfatizado. Pelo processo de <i>abstração</i> , são obtidos <i>modelos</i> ou <i>relações</i> coletivas para certas classes de <i>elementos</i> . A <i>abstração</i> pode ser generalizada ou isolada (concretização). É uma <i>operação</i> elementar significante do processo de <i>projeto</i> .	01, 04
02	Ambiente do sistema	Todos os <i>elementos</i> que não estão na <i>fronteira</i> do <i>sistema</i> .	01
03	Atributo	<i>Propriedades, características</i> que definem um objeto ou entidade e compõem a <i>solução</i> de <i>projeto</i> .	01, 08
04	Característica de projeto	Qualquer <i>característica</i> do <i>ST</i> que influencia a <i>solução</i> construtiva: <i>dimensões, formas, princípios de ação, funções</i> , valores de <i>desempenho, arranjos</i> .	02, 03
05	Catálogo de projeto	<i>Fonte de informação</i> que deve conter a <i>informação tecnológica</i> necessária de maneira comparativa (geralmente como matriz), viável para a proposição metodológica dos problemas do <i>projetista</i> e outros aspectos relevantes da atividade de <i>projeto</i> .	01, 02
06	Causa	Inicia as mudanças, na <i>combinação</i> comum: “ <i>causa</i> e <i>efeito</i> ”.	04
07	Causalidade	Um <i>relacionamento</i> de duplo valor entre <i>causa</i> e <i>efeito</i> .	01, 04
08	Combinação	Atividade de <i>projeto</i> em que vários <i>elementos</i> das variações disponíveis na <i>matriz morfológica</i> são <i>combinados</i> .	01
09	Componente	<i>Componente</i> idealizado do <i>ST</i> que forma um <i>portador de função</i> e exerce certo <i>efeito</i> ou realiza uma <i>função</i> . É uma <i>conexão</i> ativa ou reativa entre <i>elementos</i> construtivos (<i>conexões</i> entre órgãos), ou além das <i>fronteiras</i> do <i>ST</i> , em locais de ação.	01, 02, 04

Quadro A.2. Conceitos típicos da fase de projeto conceitual, com suas descrições e fontes.

Continuação do Quadro A.2.

	Conceito	Descrição	Fontes
10	Conceito	<i>Modelo abstrato</i> do <i>ST</i> , representando a <i>estrutura</i> orgânica e um <i>arranjo</i> básico (agrupamentos principais dos <i>componentes</i> num <i>esboço</i>). É uma <i>combinação</i> ótima de soluções para <i>subfunções</i> ²⁶ .	01, 03, 06
11	Consumidor	<i>Stakeholder</i> da <i>organização</i> interna ou externa e outras partes interessadas, especialmente nos <i>produtos</i> (bens e serviços).	04
12	Desenho técnico e lista de peças	Definição completa (descrição por meio verbal, numérico e gráfico, conforme for adequado) do <i>ST</i> mediante as <i>propriedades de projeto</i> .	01, 02
13	Diagrama de blocos do processo técnico	Representação gráfica das <i>transformações</i> dos <i>operandos</i> pelas várias <i>operações</i> (<i>transformações</i> parciais) e suas sequências conforme definido pela <i>tecnologia</i> selecionada.	02
14	Documentos de projeto	Várias representações gráficas e outros tipos de <i>modelos</i> do <i>ST</i> parcialmente ou totalmente projetado, e <i>requisitos</i> neles situados em várias maneiras e com vários conteúdos. Classificados de acordo com o <i>fluxo de trabalho</i> no processo de <i>projeto</i> , são considerados os <i>documentos</i> : - Formulação do <i>problema de projeto</i> : é definido pelo <i>patrocinador</i> do <i>projeto</i> (<i>usuário</i> , vendas); - <i>Especificação</i> de <i>projeto</i> : clarificada, completa (tanto quanto possível), classificada, quantificada e com prioridades anotadas na formulação do <i>problema de projeto</i> (elaboração das <i>especificações</i> definidas); - <i>Diagrama de blocos</i> : representação do <i>fluxo de trabalho</i> na <i>transformação</i> dos <i>operandos</i> mediante <i>operações</i> e sua sequência de acordo com a <i>tecnologia</i> selecionada; - <i>Matriz morfológica</i> com <i>combinações</i> ; mostra o <i>princípio de ação</i> e os <i>portadores de função</i> para cada <i>subfunção</i> e a sua <i>combinação</i> , em um todo. Cada <i>combinação</i> forma um <i>princípio conceitual</i> .	01

²⁶ No Quadro A.2, o termo “subfunção” será adotado no lugar de “funções parciais” e “funções elementares”, a fim de definir a estrutura de informações relacionadas às funções em apenas dois níveis: função global e subfunções.

Continuação do Quadro A.2.

	Conceito	Descrição	Fontes
15	Efeito	Designação geral para a ação da <i>saída</i> de um objeto (<i>efeito</i>) em outro (<i>entrada</i>), onde existem ações diretas ou indiretas. O resultado é uma reação do objeto sujeito à atividade, pela mudança de <i>propriedades</i> do seu <i>estado</i> , seguindo o fenômeno natural. Do ponto de vista do <i>ST</i> , o <i>efeito</i> de <i>saída</i> é o <i>propósito</i> planejado, o <i>propósito</i> da <i>função</i> , bem como a <i>relação causal</i> entre <i>causa</i> e <i>efeito</i> .	01, 04, 06
16	Elementos de máquina	Um grupo composto de <i>ST</i> de primeiro ou segundo grau de complexidade, frequentemente vistos como <i>componentes</i> da <i>estrutura</i> anatômica de <i>ST</i> superiores. Podem ser feitas distinções entre <i>elementos de máquinas</i> gerais utilizados em todas as áreas e <i>elementos de máquinas</i> especiais, utilizados apenas em certas áreas de conhecimento. Tal divisão ocorre de acordo com os <i>portadores de função</i> do <i>ST</i> .	01
17	Entrada	<i>Conexão (relacionamento)</i> entre o <i>ambiente</i> e o <i>sistema</i> , ou ação do <i>ambiente</i> no <i>sistema</i> . Qualquer <i>sistema</i> tem <i>entradas</i> e <i>saídas</i> primárias e secundárias (<i>material</i> , <i>energia</i> e <i>informação</i>) que cruzam a <i>fronteira</i> do <i>sistema</i> , que são sujeitas a uma mudança de <i>estado</i> .	01, 04
18	Esboço conceitual	Representa em um diagrama ou descrição escrita, a <i>estrutura funcional</i> e órgãos necessários ou <i>estrutura</i> anatômica do <i>componente</i> . Não são definidos a <i>forma</i> , as <i>dimensões</i> e os <i>arranjos</i> dos <i>elementos</i> , mesmo se forem <i>similares</i> ao <i>ST</i> final.	01, 02, 06
19	Especificação de projeto	Conjunto de <i>requisitos</i> para um <i>ST</i> , que devem ser clarificados, elaborados, detalhados, classificados, quantificados e priorizados (<i>requisito</i> definido ou desejo).	01, 02
20	Estrutura funcional do ST	Descrição da <i>estrutura</i> de um <i>ST</i> com respeito às suas <i>funções</i> e <i>relacionamentos</i> . <i>Conexão</i> de <i>subfunções</i> em uma <i>estrutura</i> para a <i>função</i> global.	01, 02, 06, 07

Continuação do Quadro A.2.

Conceito	Descrição	Fontes
21	<p>O ponto de vista <i>funcional</i> é relacionado às ações e <i>comportamentos</i> dos <i>elementos</i> do <i>sistema</i> (órgãos). Os <i>relacionamentos</i> são de natureza <i>funcional</i> (<i>entrada, saída, acoplamento</i>), onde a <i>estrutura</i> de órgãos pode ser representada em vários níveis de <i>abstração</i> como um esquema <i>estrutural</i> do órgão.</p> <p>A partir do <i>arranjo</i> construtivo, pode ser definida uma <i>estrutura</i> anatômica, mais familiar ao pessoal de <i>manufatura</i>, que descreve o <i>ST</i> pelos seus <i>elementos</i> construtivos.</p> <p>Os <i>relacionamentos</i> entre órgãos <i>funcionais</i> e <i>elementos</i> construtivos podem variar: serem idênticos, ou um órgão pode ser constituído de um número de <i>elementos</i> construtivos, ou ainda um <i>elemento</i> construtivo pode conter partes de um número de órgãos.</p>	01, 02
22	<p>Fronteira do sistema</p> <p>Linha divisória entre o <i>sistema</i> e o <i>ambiente</i>. As <i>conexões</i> entre o <i>sistema</i> e o <i>ambiente</i> são feitas pelas <i>entradas</i> e <i>saídas</i> do <i>sistema</i>.</p>	01, 02, 07
23	<p>Função do ST²⁷</p> <p>É o <i>propósito funcional</i> ou objetivo do <i>ST</i>. Também é definida como a descrição <i>abstrata</i> qualitativa e/ou quantitativa da <i>relação</i> entre <i>entrada</i> e <i>saída</i> de um <i>sistema</i>, independente de uma <i>solução</i> particular. As <i>funções</i> são derivadas de cada tarefa de <i>conversão</i> de <i>energia, material</i> e <i>sinal</i>. Se a tarefa geral foi adequadamente definida – as <i>entradas</i> e as <i>saídas</i> das quantidades envolvidas e as suas <i>propriedades</i> requeridas são conhecidas – então é possível especificar a <i>função</i> global.</p>	01, 02, 03, 04, 06, 07
24	<p>Máquina</p> <p><i>ST</i>, cujo objetivo principal é <i>transformar energia</i>. Caracterizada pela capacidade de gerar trabalho útil pela <i>conversão</i> ou <i>transmissão</i> de forças, composta por <i>montagens</i> e <i>peças</i>.</p>	01, 02, 06

²⁷ De acordo com WDK 3 (Hubka, 1980) e WDK 1 (Hubka, 1987), os tipos de função são: transformação, secundária, propulsão, controle, conexão e função de apoio.

Continuação do Quadro A.2.

	Conceito	Descrição	Fontes
25	Matriz morfológica	Apresenta os <i>princípios de ação</i> apropriados para as <i>subfunções</i> e os órgãos capazes de satisfazerem cada <i>subfunção</i> (<i>portadores de função</i>), a partir de várias <i>combinações</i> , em uma <i>concepção</i> selecionada. Cada <i>combinação</i> gera uma <i>concepção</i> , onde os <i>esboços</i> serão baseados.	02, 07
26	Modos de ação	Natureza da interação de órgãos baseados em fenômenos naturais, para atingir um <i>efeito</i> .	01, 02
27	Modular	Consistem de módulos, <i>peças</i> intercambiáveis e padronizadas ou unidades construtivas com <i>interfaces</i> comuns que podem realizar <i>funções similares</i> .	04
28	Operando	Um objeto que sofre uma mudança de <i>estado</i> ou outra <i>transformação</i> em um processo técnico, como resultado dos <i>efeitos</i> exercidos por um ou mais <i>ST</i> . Podem ser objetos biológicos (incluindo <i>pessoas</i>), quantidades de <i>material</i> , <i>energia</i> ou <i>informação</i> .	01, 02, 03
29	Operação	Uma parte do processo de <i>transformação</i> que geralmente não é subdividida.	03
30	Portador do efeito	<i>Material</i> ou espaço para a realização de um <i>efeito</i> físico.	06
31	Portador de função	Meio de realização de uma <i>função</i> . Cada órgão é um <i>portador de função</i> .	01, 02
32	Princípio de ação, princípio de solução	Fenômeno de natureza física, química ou biológica, em base de como um <i>efeito</i> é obtido. Um <i>princípio de ação combina</i> um número de <i>modos de ação</i> que devem revelar o <i>relacionamento</i> entre <i>causa</i> e <i>efeito</i> , a fim de garantir um leiaute apropriado e econômico.	01, 02, 07
33	Processo de desenvolvimento de produto	Todo o processo de <i>transformação de informações</i> necessárias para a identificação da demanda, a <i>produção</i> e o uso do <i>produto</i> .	05

Continuação do Quadro A.2.

	Conceito	Descrição	Fontes
34	Produto	Objeto concebido, produzido com <u>características</u> e <u>funções</u> , comercializado e usado pelas <u>pessoas</u> ou <u>organizações</u> , de modo a atender a seus desejos ou <u>necessidades</u> . Também é qualquer <u>saída</u> de uma <u>organização</u> que será recebida por um <u>usuário</u> , <u>stakeholder</u> ou outros membros da <u>organização</u> interna ou externa.	04, 05, 06
35	Projeto	No Brasil, <u>projeto</u> pode ter dois significados: <i>Project</i> (um esforço temporário empreendido para criar um <u>produto</u> , serviço ou resultado exclusivo); ou <i>Design</i> (a área de conhecimento do domínio do desenho industrial).	05, 09
36	Propósito	<u>Propósito</u> da <u>tecnologia</u> é geralmente a obtenção de certos <u>estados</u> desejados de objetos e <u>operandos</u> , que devem satisfazer certas <u>necessidades humanas</u> .	01, 02
37	Propriedades do ST	<u>Propriedades</u> geralmente <u>conectadas</u> com o <u>propósito</u> do <u>ST</u> são definidas como <u>atributos</u> ou <u>características</u> do <u>sistema</u> : <u>forma</u> , <u>desempenho</u> , <u>dimensões</u> , <u>cor</u> , <u>estabilidade</u> , <u>vida</u> , <u>manufaturabilidade</u> , <u>transportabilidade</u> , viabilidade para <u>armazenamento</u> , <u>estrutura</u> .	01, 02
38	Relacionamento	Dependência real ou significativa, ou interação de dois ou mais objetos, ou fenômeno de natureza <u>abstrata</u> ou concreta. Em <u>projeto</u> , são importantes os <u>relacionamentos</u> objetivos que possam ser descritos exatamente, nas ciências naturais. Os <u>relacionamentos</u> conectam <u>elementos</u> individuais em vários <u>sistemas</u> , e podem ser: refletivos, simétricos ou transitivos.	01
39	Representar	Mostrar, exibir, descrever um <u>ST</u> existente ou proposto, seus processos, <u>funções</u> , órgãos, <u>conceitos</u> , <u>arranjos</u> , <u>elementos</u> construtivos. O processo de estabelecer um <u>modelo</u> do <u>sistema</u> em qualquer meio apropriado.	03

Continuação do Quadro A.2.

	Conceito	Descrição	Fontes
40	Requisitos	<i>Propriedades</i> demandadas ou desejadas para o <i>ST</i> , a serem definidas na fase de elaboração da <i>especificação</i> . São os valores aceitáveis das <i>propriedades</i> do artefato projetado, ou as condições para a satisfação dos objetivos de <i>projeto</i> .	01, 02, 06
41	Saída	É a sua <i>conexão</i> com o <i>ambiente</i> ou seu <i>efeito</i> nele. A totalidade das <i>saídas</i> pode ser descrita como vetor de <i>saída</i> . Devem ser distintas as <i>saídas</i> desejadas e as secundárias (dependem do <i>comportamento</i> do <i>sistema</i>).	01
42	Similaridade	<i>Relação</i> singular especial entre dois ou mais <i>sistemas</i> (objetos, processos ou definições) baseados em certas <i>propriedades</i> em comum. Isto pode afetar a <i>similaridade funcional</i> , <i>estrutural</i> , entre outros aspectos.	01
43	Sistema	Um conjunto de <i>elementos</i> e <i>relacionamentos</i> com uma <i>fronteira</i> clara e definida. Cada <i>sistema</i> tem as seguintes <i>características</i> : <i>entrada</i> , <i>saída</i> , <i>comportamento</i> , <i>estrutura</i> , <i>fronteiras</i> do <i>sistema</i> , e <i>ambiente</i> do <i>sistema</i> .	01, 02, 06
44	Sistema técnico (ST)	Um composto de <i>elementos</i> físicos e suas interações, que recebem <i>entradas</i> e entregam <i>efeitos</i> , para conduzir um processo técnico. Categoria geral de <i>sistemas</i> determinísticos artificiais que realizam os <i>efeitos</i> necessários para a <i>transformação</i> dos <i>operandos</i> . Representa todos os <i>elementos de máquinas</i> , dispositivos, aparatos, equipamentos e plantas, de qualquer ramo da engenharia.	01, 02, 03, 07
45	<i>Stakeholder</i>	<i>Pessoa</i> com interesse, geralmente financeiro, em um processo e seus resultados.	04
46	Subfunção	Sub-tarefas originadas da divisão da <i>função</i> geral do <i>ST</i> .	06, 07
47	Tecnologia	Meios de exercer <i>efeitos</i> de um ítem para trazê-lo a um <i>estado</i> desejado. A base para a busca por <i>efeitos</i> é o conhecimento de ciências naturais: <i>tecnologias</i> de <i>manufatura</i> , ciências dos <i>materiais</i> , metalurgia e <i>tecnologias</i> de <i>manufatura</i> .	01, 02

Tendo sido devidamente preenchido o Quadro A.2, é conduzida a identificação das candidatas a entidade (classificação hierárquica das entidades). Conforme citado, estas entidades são termos habituais da fase de projeto conceitual, subjetivamente identificadas na descrição de cada conceito (destacadas em *itálico* e *sublinhado*). Recomenda-se:

- a) Evitar pré-concepções sobre as candidatas mais prováveis;
- b) Identificar substantivos relevantes para a compreensão do projeto conceitual.

Com base no Quadro A.2 e conforme visto no Quadro A.3, foram geradas 76 candidatas a entidade, classificadas num *ranking* de acordo com seus respectivos números de ocorrência. Também foi informada a situação de cada candidata (se foi eliminada e qual o motivo). Tal triagem ocorreu com a finalidade de orientar a elaboração da taxonomia adotada no item A.2, visando:

- Eliminar as candidatas que não apresentam relações com outras candidatas. Foram eliminadas 16 candidatas;
- Agrupar as candidatas com significados similares. Foram agrupadas 16 candidatas.

<i>Ocorrências</i>	<i>Candidata a Entidade</i>	<i>Ocorrências</i>	<i>Candidata a Entidade</i>	<i>Ocorrências</i>	<i>Candidata a Entidade</i>
21	Sistema técnico (ST)	05	Manufatura/produção/ <u>manufaturabilidade</u>	02	<u>Interação</u> / modo de ação
19**	Sistema	05**	Propósito	02**	Peça
18	<u>Função</u> / funcional	04*	Modelo	02	Usuário
16	Efeito	04	Energia	02**	Stakeholder
14**	Elemento	04**	Operação	02	Problema de projeto
13	<u>Estrutura</u> / estrutural	04	Princípio de ação / <u>princípio de solução</u>	02*	<u>Converter</u> / <u>conversão</u>
13	<u>Relacionamento</u> / relação	04	Componente	02	Necessidades humanas

Quadro A.3. Lista de candidatas à entidade, com seus respectivos números de ocorrências e a indicação das candidatas eliminadas ou agrupadas (baseado em Lima, 2002, p.91).

Continuação do Quadro A.3.

<i>Ocorrências</i>	<i>Candidata a Entidade</i>	<i>Ocorrências</i>	<i>Candidata a Entidade</i>	<i>Ocorrências</i>	<i>Candidata a Entidade</i>
12	Saída	04*	Organização	02*	Fluxo de trabalho
11	Projeto	04**	Produto	01*	Feature
09	Propriedade	04	Operando	01	Projetista
09	Combinado / combinação	03*	Solução	01*	Patrocinador
08	Entrada	03	Dimensões	01	Fonte de informação
08	Transformado / <u>transformação</u>	03	Formas	01	Diagrama de blocos
07	Conectar / <u>conexão</u>	03	Especificado / <u>especificação</u>	01**	Princípio conceitual
07	Subfunção	03	Sinal / <u>informação</u>	01*	Acoplamento
06*	Abstrato / <u>abstração</u>	03	Requisito	01*	Transmitir / <u>transmissão</u>
06	Ambiente	03**	Elemento de máquina	01	Montagem
05	Fronteira	03*	Comportamento	01**	Interface
05**	Característica	03	<u>Concepção</u> / conceito	01**	Atributo
05**	Arranjo	03**	Pessoa	01*	Documento
05*	Estado	03	Similar / <u>similaridade</u>	01	Armazenamento
05	<u>Causa</u> / causal / causalidade	02*	Informação tecnológica	01	Transporte/ <u>transportabilidade</u>
05	Material	02	Desempenho	01**	Cor
05*	Tecnologia	02	Matriz morfológica	01**	Estabilidade
05**	Portador de função	02*	Esboço	01**	Vida

Legenda:

(*) 16 candidatas eliminadas, não possuem interação com as demais candidatas;

(**) 16 candidatas agrupadas em outras com conceito similar.

No Quadro A.3 pode ainda ser notado que, em candidatas com múltiplos termos (e.g.: “função/funcional”), foi sublinhado o termo mais difundido na bibliografia (neste caso, “função”), para facilitar a elaboração da base de dados e, concomitantemente, favorecer o entendimento do usuário da BD futuramente nas atividades de projeto.

Executada a primeira triagem das candidatas (restaram 44, dentre as 76 candidatas iniciais), foi iniciado o desenvolvimento da taxonomia do projeto conceitual, com base na metodologia proposta por Lima (2002), conforme apresentado na próximo seção.

A.2. ETAPA 1.2. CRIAÇÃO DE UMA TAXONOMIA DO PROJETO CONCEITUAL: CLASSIFICAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Para classificar o domínio de conhecimento do projeto conceitual, Lima (2002, p. 92) sugeriu que todas as candidatas à entidade do Quadro A.3 fossem impressas numa folha e depois recortadas, individualmente, em tiras de papel. Conforme ilustra a Fig. A.2, cada candidata a entidade foi inserida num quadro de um *software* de apresentações (estilo *Power Point*), para realizar tal processo de análise de relacionamento entre tais candidatas de maneira virtual.

As candidatas similares ou com significado equivalente foram agrupadas em categorias afins (numa caixa de linha contínua vermelha), obtendo um *status* semelhante ao das categorias com candidatas únicas. Tal agrupamento passou a representar apenas uma das candidatas nele inserido (encabeçadas²⁸ pela candidata mais apropriada), mesmo que não tivesse a maior frequência de citações do grupo (vide Quadro A.3). Para complementar o mapeamento das candidatas a entidade, dedicado à fase de projeto conceitual, foram inseridas três candidatas, segundo a experiência da equipe de pesquisa. As inserções encontram-se na candidata “Propriedade” da Fig. A.2, destacadas com (*).

Além disso, convém comentar o significado de “categorias subordinadas hierarquicamente” e “propriedades que pertencem às categorias”, citadas na legenda da Fig. A.2. As categorias são os grupos ou candidatas a entidade, cuja hierarquia mapeada deve refletir o grau de importância – e a ramificação dos conceitos – propostos na bibliografia do projeto conceitual. As propriedades são desdobramentos elementares de algumas destas categorias ou candidatas, conforme exemplo visto na candidata “propriedade”.

²⁸ Em cada caixa com as candidatas similares a entidade, a candidata “encabeçada” fica na parte superior, separada por uma linha tracejada, a fim de destacá-la.

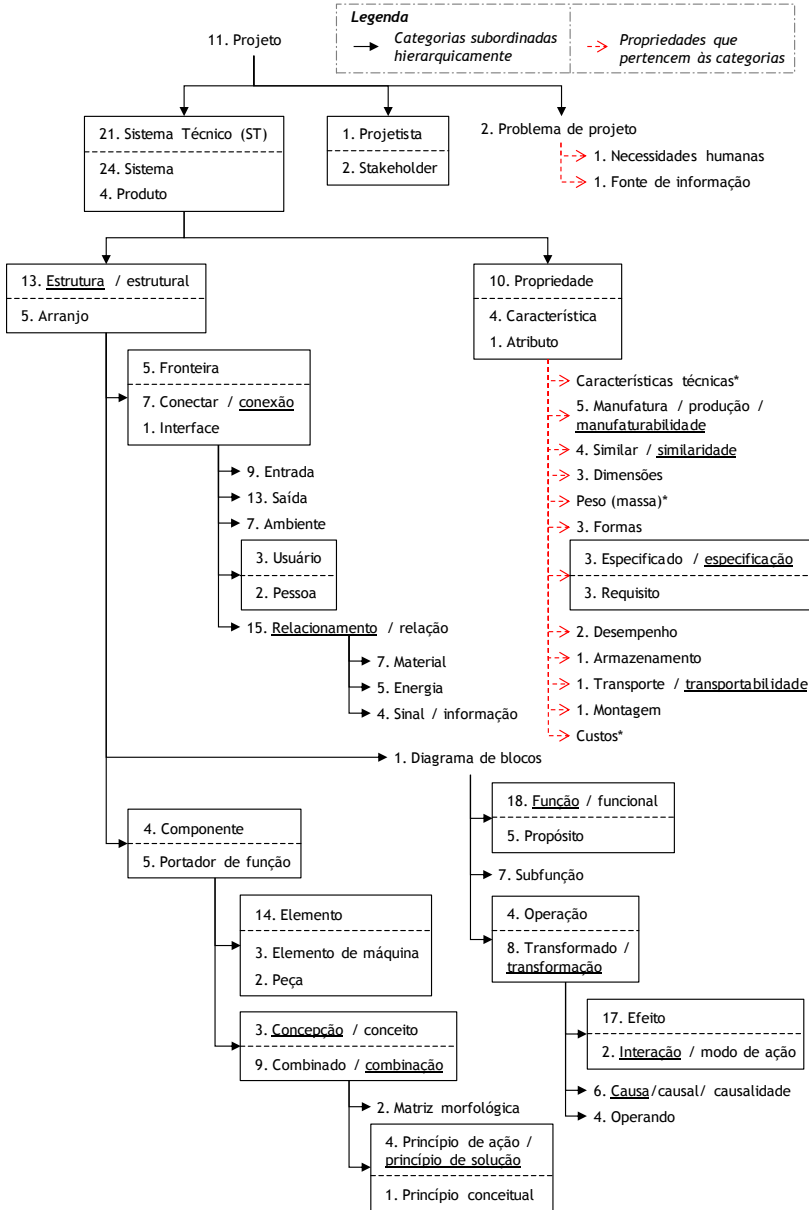


Figura A.2. Criação da taxonomia do projeto conceitual.

As categorias subordinadas hierarquicamente foram unidas por linhas cheias. As propriedades que pertencem às outras categorias do esquema foram ligadas às “candidatas de origem” por linhas tracejadas na cor verde (vide legenda da Fig. A.2). E as candidatas sem interação com as demais foram eliminadas.

Disto, foi atualizado, de forma iterativa, o Quadro A.2: indica as 16 candidatas eliminadas por não terem interação com as demais (destaque com *) e as 16 candidatas agrupadas às candidatas afins (destacadas com **). Foi também gerado o diagrama da taxonomia resultante, visto na Fig. A.3.

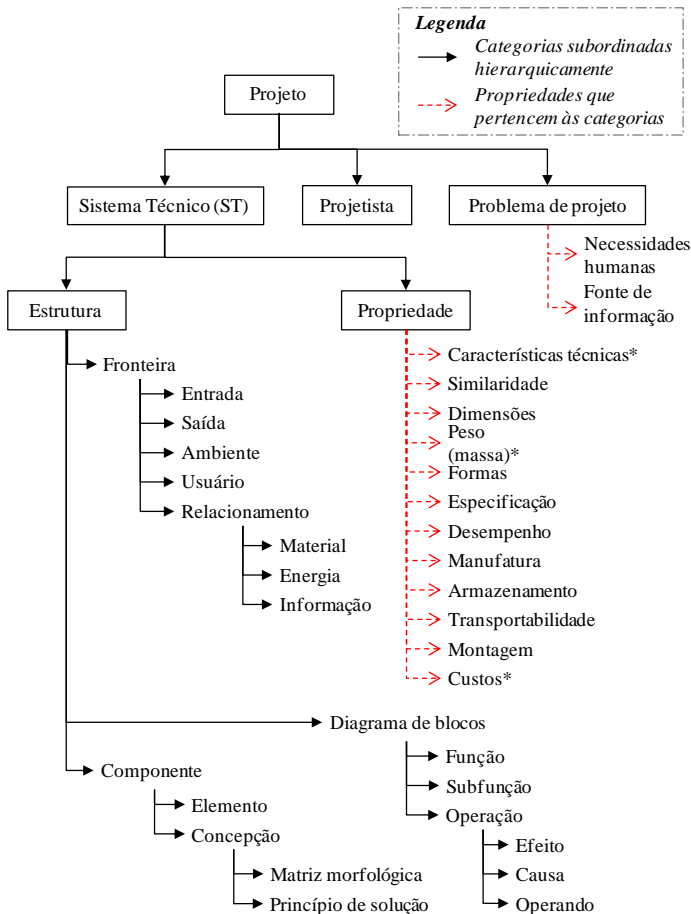


Figura A.3. Taxonomia do projeto conceitual.

De acordo com a Fig. A.3, um projeto gera um Sistema Técnico (ST), que deve ser realizado por um projetista, a partir do problema de projeto. Já o ST – em concordância com Hubka e Eder (1988, p.62), entre outros autores – se ramifica em dois elementos: estrutura e propriedades. A estrutura é composta por três partes principais:

- 1) Fronteira: delimita o escopo do ST, em termos de funções e componentes, considerando os elementos de interface (relacionamento): entradas, saídas, fluxos de energia, material e informação²⁹, e relacionamento do ST com usuários, com o ambiente de uso do ST e com outros ST;
- 2) Diagrama de blocos (funções): abrange os níveis de função global e subfunção, e o processo de transformação dos operandos, considerando suas causas e efeitos;
- 3) Componentes: meios físicos de atender as funções, gerados pelas concepções (combinação de princípios de solução).

Já as propriedades representam as principais informações utilizadas para descrever as características do ST. Estas serão importantes na comparação entre ST similares concorrentes ou ST de outras áreas de conhecimento, em relação ao ST em análise, cujas funções e princípios de solução sejam similares, mas que possam inspirar a introdução de inovações no ST em análise, por processos de engenharia reversa, tema da presente tese.

A partir da taxonomia da Fig. A.3, foi revisado um segundo agrupamento das entidades, com base na experiência da equipe de pesquisa, visando priorizar as entidades a serem implementadas na BD (vide a Fig. A.4). O conteúdo de cada “caixa” representa as entidades hierarquicamente inferiores à entidade mestre (título da caixa).

A estrutura mostrada na Fig. A.4 permite a implementação da BD em termos computacionais, cujo escopo restringe à aplicação numa planilha eletrônica, a fim de favorecer tanto a inserção das informações sobre os ST (obtidas ou não pela ER) quanto a consulta destas, por parte dos profissionais da organização. É uma maneira de auxiliar o PDP, que favorece o aprendizado e a maturidade organizacional. Isso porque os profissionais passam a compreender melhor os conceitos envolvidos com o PDP onde participam e, assim, são potencializados os esforços de otimização dos ST e dos processos produtivos da organização, em busca do aumento da competitividade.

²⁹ Os tipos de energia, material e sinal podem ser vistos em Hirtz *et alii.* (2002) e em Pahl *et alii.* (2007, p.94).

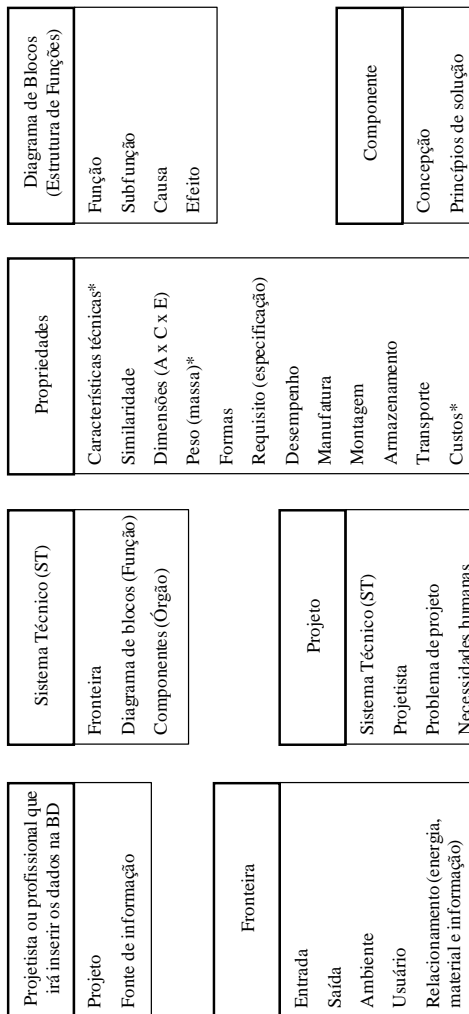


Figura A.4. Principais entidades de uma taxonomia para a fase de projeto conceitual.

A.3. ETAPA 1.3. CRIAÇÃO DO MODELO BASE

Esta seção inicia com a identificação dos relacionamentos entre as entidades, mediante o uso da matriz da Fig. A.5.

Para o preenchimento da matriz de relacionamento (Fig. A.5), cada par de entidades foi avaliado individualmente, a partir das descrições dos conceitos (Quadro A.2) e da interação (vide a Fig. A.4). Foi marcado “1” no cruzamento das entidades onde há relacionamento, deixando em branco onde não há relacionamento. Foram identificados 52 relacionamentos entre entidades.

Em seguida, foram identificadas as formas de relacionamento entre as entidades, conforme ilustra a Fig. A.6.

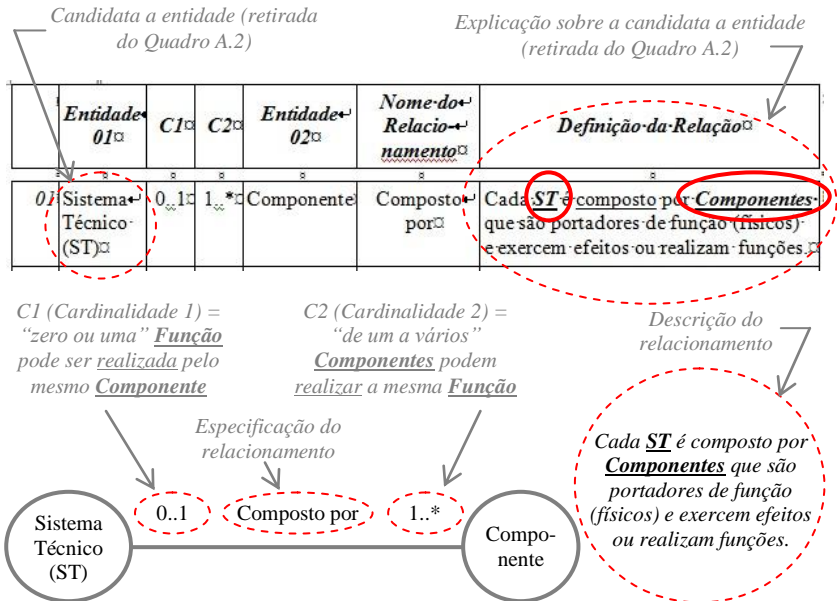


Figura A.6. Identificação dos relacionamentos entre entidades.

Como pode ser visto na Fig. A.6, a partir da descrição da candidata a entidade, é identificado o tipo de relacionamento entre as entidades – relacionamento tipo “realizada por” – e ainda é definida a cardinalidade do relacionamento: uma Função pode ser realizada por vários Órgãos (1-n) e muitas Funções podem ser realizadas pelo mesmo Órgão (1-n). Desta análise, foi gerado o Quadro A.4, onde está definido o tipo de relacionamento e a cardinalidade existente entre todos os 52 relacionamentos identificados na Fig. A.5.

Quanto à cardinalidade, de acordo com Elmasri e Navathe (2004, p.65), a cardinalidade de uma relação define o número máximo de instâncias de relacionamento que cada entidade pode participar. Os

símbolos são: 1, 0 e *, onde 1 indica “saída de 1 elemento”, 1..* indica “saída de 1 a vários elementos” e 0..* indica “saída de nenhum a vários elementos”.

No Quadro A.4, a “Entidade 1” é oriunda da primeira linha (à esquerda) da matriz de relacionamentos (Fig. A.5), a qual se relaciona com outras entidades da mesma linha (“Entidade 2” do referido Quadro). Para cada relação entre duas entidades, é definido o tipo de relação, junto com a cardinalidade 1 (C1) e a cardinalidade 2 (C2), a fim de determinar o fluxo e o tipo de informações entre tais entidades. Disso, foi elaborado o diagrama de nível de entidade, que é representado adiante na Fig. A.7.

	<i>Entidade 01</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>Entidade 02</i>	<i>Nome do Relacionamento</i>	<i>Definição da Relação</i>
01	Sistema Técnico (ST)	0..1	1..*	Componente	Composto por	Cada ST é composto por Componentes que são portadores de função (físicos) e exercem efeitos ou realizam funções.
02		1	1..*	Fronteira	Possui	Cada ST possui uma Fronteira que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os usuários, os componentes e outros ST. Conexões são feitas pelas entradas e saídas.
03		1..*	1..*	Subfunção (entidade irmã de Função)	Composto por	Cada ST é composto por Funções que descrevem o propósito do ST, onde tais funções podem ser utilizadas em vários ST (outros projetos).
04		1	1..*	Propriedade	Possui	O ST possui Propriedades que o descrevem.
05		1	1	Projeto	Desenvolvido no	Cada ST é desenvolvido em um Projeto , pois cada projeto tem um escopo, e as variações do ST seriam outros projetos.
06		1..*	1..*	Função / funcional	Composto por	Cada ST é composto por Funções que descrevem o propósito do ST, onde tais funções podem ser utilizadas em vários ST (outros projetos).

Quadro A.4. Definição das relações entre as entidades.

Continuação do Quadro A.4.

	<i>Entidade 01</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>Entidade 02</i>	<i>Nome do Relacionamento</i>	<i>Definição da Relação</i>
07	Função / funcional	1..*	0..*	Diagrama de blocos (estrutura de funções)	Representa	Os Diagramas de Blocos (estrutura de funções) são a representação gráfica das transformações dos operandos pelas Funções .
08		0..*	1..*	Componente	Realizado por	Cada Função pode ser realizada por vários Componentes que são portadores de função (físicos) e exercem efeitos ou funções.
09		1..*	1..*	Princípio de ação / princípio de solução	Realizado por	Cada Função pode ser realizada por Princípios de Solução que encapsulam soluções genéricas para satisfazer as funções do ST.
10		1..*	1..*	Fronteira	Delimita o escopo	Cada Função tem seu escopo delimitado pela Fronteira , numa proposição pontual. Mas a fronteira também pode representar o ST todo.
11		1..*	1..*	Causa / causalidade	Iniciada por	As Funções são as transformações dos operandos, iniciadas por uma Causa , gerando os efeitos.
12		1	0..*	Subfunção	Interage com	Subfunção é uma função de nível hierárquico menor à Função (global). São entidades irmãs e interagem entre si na estrutura de funções do ST.
13		1..*	1..*	Efeito	Gera	As Funções são as transformações dos operandos, iniciadas por uma causa, gerando os Efeitos .
14	Efeito	0..*	1	Diagrama de blocos (estrutura de funções)	Representado por	Os Diagramas de Blocos representam as transformações dos operandos pelas funções, iniciadas por uma causa, gerando os Efeitos .
15		0..*	0..*	Causa / causalidade	Gerado por	As funções são as transformações dos operandos, iniciadas por uma Causa , gerando os Efeitos .
16		1..*	1..*	Subfunção	Gerado por	As Funções são as transformações dos operandos, iniciadas por uma causa, gerando os Efeitos .

Continuação do Quadro A.4.

	<i>Entidade 01</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>Entidade 02</i>	<i>Nome do Relacionamento</i>	<i>Definição da Relação</i>
17	Saída	1..*	1..*	Fronteira	Compõe	Cada ST possui uma <i>Fronteira</i> que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os usuários, os componentes e outros ST. Conexões são feitas pelas entradas e <i>Saídas</i> .
18	Projeto	1	1..*	Necessidades humanas	Orientado por	Cada <i>Projeto</i> de ST é <i>orientado pelo</i> problema de projeto (a partir das <i>Necessidades Humanas</i> e fontes de informação), sendo realizado pelo projetista.
19		1	1..*	Projetista	Realizado por	Cada <i>Projeto</i> de ST é orientado pelo problema de projeto (a partir das necessidades humanas e fontes de informação), sendo <i>realizado pelo</i> <i>Projetista</i> .
20		1	1..*	Problema de projeto	Orientado por	Cada <i>Projeto</i> de ST é <i>orientado pelo</i> <i>Problema de Projeto</i> (a partir das necessidades humanas, requisitos de usuário e fontes de informação), sendo realizado pelo projetista.
21	Entrada	1..*	1..*	Fronteira	Compõe	Cada ST possui uma <i>Fronteira</i> que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os usuários, os componentes e outros ST. Conexões são feitas pelas <i>Entradas</i> e saídas.
22	Ambiente	1..*	1..*	Fronteira	Delimita o escopo	Cada ST possui uma <i>Fronteira</i> que <i>delimita o escopo</i> de interação entre o ST e o <i>Ambiente</i> , os usuários, os componentes e outros ST.
23	Material	1..*	1..*	Fronteira	Considera os fluxos	Cada ST possui uma <i>Fronteira</i> que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os usuários, os componentes e outros ST. Conexões são feitas pelas entradas e saídas do ST, <i>considerando fluxos</i> de energia, <i>Material</i> e informação.

Continuação do Quadro A.4.

	<i>Entidade 01</i>	<i>CI</i>	<i>C2</i>	<i>Entidade 02</i>	<i>Nome do Relacionamento</i>	<i>Definição da Relação</i>
24	Propriedade	1	0..*	Custo*	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: <u>Custo</u> , peso (massa), (...).
25		1	0..*	Peso (massa)*	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: custo, <u>Peso (Massa)</u> , (...).
26		1	0..*	Característica técnica*	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), <u>Características Técnicas</u> , (...).
27		1	0..*	Armazenamento	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), <u>Armazenamento</u> , (...).
28		1	0..*	Transporte / transportabil.	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), <u>Transporte</u> , montagem, (...).
29		1	0..*	Montagem	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), <u>Montagem</u> , desempenho, (...).
30		1	0..*	Desempenho	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), <u>Desempenho</u> , requisitos, (...).
31		1	0..*	Requisitos	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), <u>Desempenho</u> , requisitos, (...).
32		1	0..*	Formas	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), requisitos, <u>Formas</u> , (...).
33		1	0..*	Dimensões	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), formas, <u>Dimensões</u> , (...).
34		1	0..*	Similar / similaridade	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), dimensões, <u>Similaridade</u> , (...).
35		1	0..*	Manufatura / manufaturab.	Definido por	As <i>Propriedades</i> são definidas por: (...), similaridade, <u>Manufatura</u> .
36	Causa / causal / causalidade	0..*	1	Diagrama de blocos (estrutura de funções)	Representado por	Os <i>Diagramas de Blocos</i> representam as transformações dos operandos pelas funções, iniciadas por uma <u>Causa</u> , gerando os efeitos.

Continuação do Quadro A.4.

	<i>Entidade 01</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>Entidade 02</i>	<i>Nome do Relacionamento</i>	<i>Definição da Relação</i>
37	Subfunção	1..*	0..*	Diagrama de blocos (estrutura de funções)	Representam	Os <u>Diagramas de Blocos</u> (estrutura de funções) são a representação gráfica das transformações dos operandos pelas <u>Funções</u> .
38		0..*	1..*	Componente	Realizado por	Cada <u>Função</u> pode ser realizada por vários <u>Componentes</u> que são portadores de função (físicos) e exercem efeitos ou funções.
39		1..*	1..*	Princípio de ação / princípio de solução	Realizado por	Cada <u>Função</u> pode ser realizada por <u>Princípios de Solução</u> que encapsulam soluções genéricas para satisfazer as funções do ST.
40		1..*	1..*	Frenteira	Delimita o escopo	Cada <u>Função</u> tem seu <u>escopo delimitado</u> pela <u>Frenteira</u> , numa proposição pontual. Mas a frenteira também pode representar o ST todo.
41		1..*	1..*	Causa / causalidade	Iniciadas por	As <u>Funções</u> são as transformações dos operandos, <u>iniciadas</u> por uma <u>Causa</u> , gerando os efeitos.
42	Frenteira	1..*	1..*	Usuário	Delimita o escopo	Cada ST possui uma <u>Frenteira</u> que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os <u>Usuários</u> , os componentes e outros ST.
43		1..*	1..*	Componente	Delimita o escopo	Cada ST possui uma <u>Frenteira</u> que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os usuários, os <u>Componentes</u> e outros ST.
44		1..*	1..*	Sinal / informação	Considera os fluxos	Cada ST possui uma <u>Frenteira</u> que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os usuários, os componentes e outros ST. Conexões são feitas pelas entradas e saídas do ST, <u>considerando fluxos</u> de energia, material e <u>Informação</u> .
45		1..*	1..*	Energia	Considera os fluxos	Cada ST possui uma <u>Frenteira</u> que delimita o escopo de interação entre o ST e o ambiente, os usuários, os componentes e outros ST. Conexões são feitas pelas entradas e saídas do ST, <u>considerando fluxos</u> de <u>Energia</u> , material e informação.

Continuação do Quadro A.4.

	<i>Entidade 01</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>Entidade 02</i>	<i>Nome do Relacionamento</i>	<i>Definição da Relação</i>
46	Princípio de ação / <u>princípio de solução</u>	1..*	1..*	Concepção / conceito	Formam	<u>Princípios de Solução</u> encapsulam soluções genéricas que formam as <u>Concepções</u> – que fisicamente podem ser os componentes – para satisfazerem as funções do ST.
47		1..*	1..*	Componente	Formam	<u>Princípios de Solução</u> encapsulam soluções genéricas que formam as concepções – que fisicamente podem ser os <u>Componentes</u> – para satisfazerem as funções do ST.
48	Componente	0..*	0..*	Concepção / conceito	Formado por	Princípios de solução encapsulam soluções genéricas que formam as <u>Concepções</u> (que fisicamente podem ser os <u>Componentes</u>) para satisfazerem as funções do ST.
49	Requisito	1..*	1..*	Problema de projeto	Definem	Cada projeto de ST é orientado pelo <u>Problema de Projeto</u> (a partir das necessidades humanas, <u>Requisitos</u> de usuário e fontes de informação), sendo realizado pelo projetista.
50	Usuário	1..*	1..*	Problema de projeto	Definem	Cada projeto de ST é orientado pelo <u>Problema de Projeto</u> (a partir das necessidades humanas, requisitos de <u>Usuário</u> e fontes de informação), sendo realizado pelo projetista.
51	Problema de projeto	1..*	1..*	Projetista	Realizado por	Cada projeto de ST é orientado pelo <u>Problema de Projeto</u> (a partir das necessidades humanas, requisitos de usuário e fontes de informação), sendo realizado pelo <u>Projetista</u> .
52	Fonte de informação	1..*	1..*	Projetista	Realizado por	Cada projeto de ST é orientado pelo problema de projeto (a partir das necessidades humanas, requisitos de usuário e <u>Fonte de Informação</u>), sendo realizado pelo <u>Projetista</u> .

Assim, apresenta-se o diagrama de nível de entidade (Fig. A.7), que ilustra as entidades da fase de projeto conceitual e os fluxos de informação entre elas. Mostra ainda o tipo de relação entre as entidades.

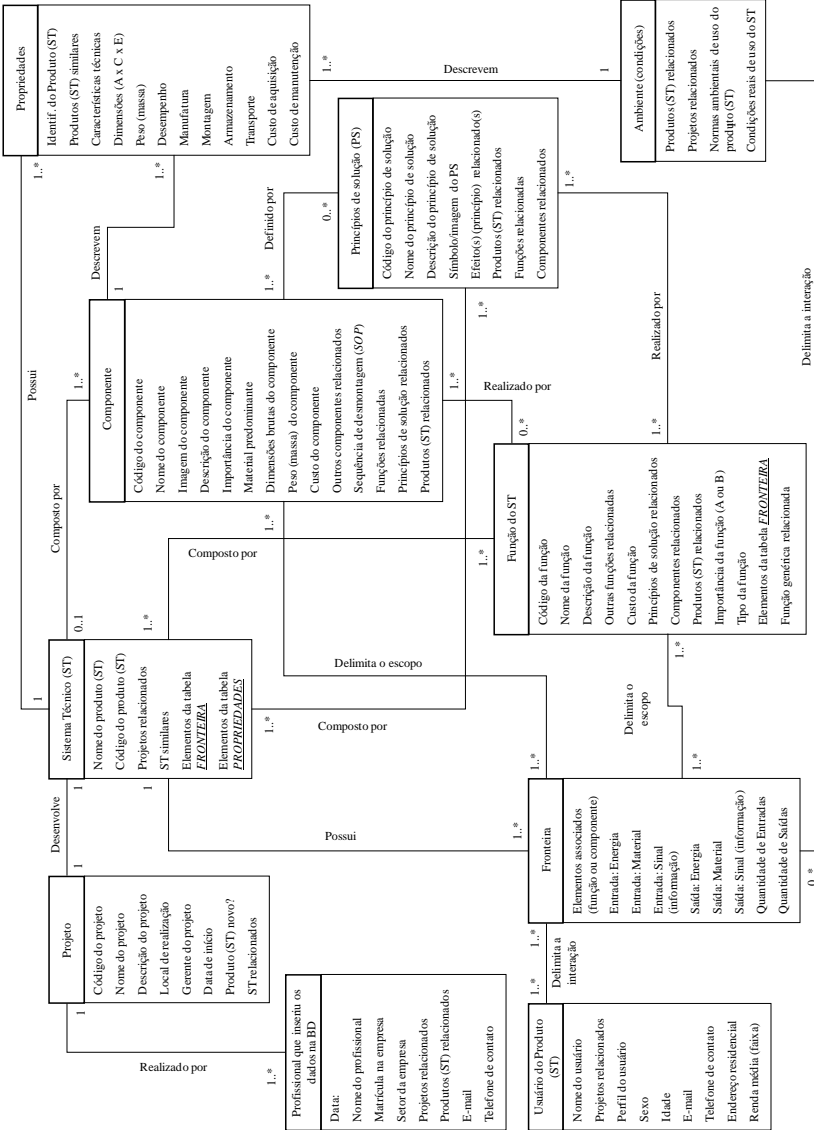


Figura A.7. Diagrama de nível de entidade do projeto conceitual.

Cada “caixa” do diagrama da Fig. A.7 mostra as informações a ela vinculadas, junto com as interconexões entre as caixas (entidades), de acordo com as relações definidas no Quadro A.4. Tal diagrama visa mostrar a estrutura de informações a ser adotada na BD, a qual pode ser futuramente ampliada, seguindo os procedimentos vistos no Apêndice A, para agregar informações de outras fases do PDP, bem como alterar a presente estrutura, conforme a necessidade.

Além disso, convém citar que o campo “função genérica” da entidade “função” representa a função registrada na BD (e.g.: cortar, levantar), que deve ser associado às funções identificadas no ST (e.g.: cortar grama), no campo “nome da função”, às funções genéricas.

As funções genéricas também são associadas aos princípios de solução e aos componentes, para permitir que as soluções genéricas sejam identificadas a partir da consulta na BD para uma função do novo ST (e.g.: “cortar”), sem as particularidades dos termos adotados na definição da função num dado ST (“cortar grama”). Assim, pode ser potencializada a inovação para diferentes *projetos* da organização.

A.4. Estrutura dos campos de preenchimento da base de dados

Nesta seção é mostrada a estrutura dos campos de preenchimento da base de dados (BD), resultantes das seções anteriores deste apêndice A. Há campos relacionados ao *projeto* de ER e campos voltados aos elementos de cada ST analisado nos *projetos* de ER. O Quadro A.5 mostra a estrutura do campo *projeto* de ER.

Projeto	
<i>Código do projeto:</i>	
<i>Nome do projeto:</i>	
<i>Descrição do projeto:</i>	
<i>Local de realização:</i>	
<i>Gerente do projeto:</i>	
<i>Data de início:</i>	
<i>Produto (ST) novo?</i>	
<i>ST relacionados:</i>	

Quadro A.5. *Projeto* de engenharia reversa.

No Quadro A.6, há a estrutura de preenchimento relacionada ao sistema técnico analisado no *projeto* de ER.

Sistema técnico	
<i>Nome do ST:</i>	
<i>Código do ST:</i>	
<i>Projeto relacionado:</i>	
<i>ST similares:</i>	
<i>Características técnicas</i>	
<i>Dimensões totais:</i>	
<i>Peso (massa):</i>	
<i>Desempenho:</i>	
<i>Montagem:</i>	
<i>Custo de aquisição:</i>	
<i>Entradas – energia:</i>	
<i>Entradas – material:</i>	
<i>Entradas – informação:</i>	
<i>Entradas – usuário:</i>	
<i>Entradas – outros ST:</i>	
<i>Saídas – energia:</i>	
<i>Saídas – material:</i>	
<i>Saídas – informação:</i>	
<i>Saídas – usuário:</i>	
<i>Saídas – outros ST:</i>	

Quadro A.6. Sistema técnico.

Continuando, o Quadro A.7 mostra os campos da BD referentes ao preenchimento das condições ambientais de uso do ST. Trata das condições de uso onde o ST atua, e deve ser preenchido com as informações do quadro de caracterização dos ST (CST, Quadro 4.5).

Condições ambientais de uso do ST	
<i>ST relacionados:</i>	
<i>Projeto relacionado:</i>	
<i>Normas ambientais de uso do ST:</i>	
<i>Condições de uso do ST:</i>	

Quadro A.7. Condições ambientais de uso do ST.

Depois de terem sido preenchidos os campos referentes ao **projeto** de ER em questão e o ST sob análise, são preenchidos os elementos específicos do ST na BD: funções, componentes e princípios de solução do ST. O Quadro A.8 mostra o elemento “componente”, onde no campo “funções relacionadas”, se inserem a função (igual àquela no quadro SID) e o código. Estas funções são vinculadas às funções genéricas³⁰ da BD, para favorecer a consulta e a vinculação dos princípios de solução dos componentes do ST (que são identificados nesta fase) às funções genéricas da BD.

Componente	
<i>Código do componente:</i>	
<i>Nome do componente:</i>	
<i>Imagem do componente:</i>	
<i>Descrição do componente:</i>	
<i>Importância:</i>	
<i>Material predominante:</i>	
<i>Dimensões (A x C x L):</i>	
<i>Peso (massa):</i>	
<i>Custo do componente:</i>	
<i>Componentes relacionados³¹:</i>	
<i>Sequência de desmontagem (SOP):</i>	
<i>Funções relacionadas³²:</i>	
<i>Princípios de solução relacionados</i>	
<i>ST relacionados:</i>	

Quadro A.8. Componente.

Já o Quadro A.9 mostra o preenchimento do elemento “função”, relacionado à todas as funções do ST no quadro SID (Quadro 4.15).

³⁰ Visa agrupar, sob uma denominação genérica, as funções similares dos diferentes ST que receberam denominações específicas – ou sinônimos – em cada **projeto** da organização.

³¹ Os componentes relacionados são vistos na matriz de interação de componentes (MIC).

³² As funções relacionadas à cada componente estão na matriz função por componente (MFC).

Função	
<i>Código da função:</i>	
<i>Nome da função:</i>	
<i>Descrição da função:</i>	
<i>Outras funções relacionadas:</i>	
<i>Custo da função (R\$):</i>	
<i>Princípios de solução relacionados:</i>	
<i>Componentes relacionados:</i>	
<i>ST relacionados:</i>	
<i>Importância da função:</i>	
<i>Tipo da função:</i>	
<i>Entradas – energia:</i>	
<i>Entradas – material:</i>	
<i>Entradas – informação:</i>	
<i>Entradas – usuário:</i>	
<i>Entradas – outros ST:</i>	
<i>Entradas – ambiente:</i>	
<i>Função genérica relacionada:</i>	

Quadro A.9. Função.

Por fim, são inseridas as informações relacionadas aos princípios de solução identificados a partir da desmontagem dos componentes, e os princípios de solução sugeridos por métodos de criatividade. Isto ocorre pelo preenchimento dos campos mostrados no Quadro A.10.

Princípios de solução	
<i>Código do PS:</i>	
<i>Nome do PS:</i>	
<i>Descrição do PS:</i>	
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	
<i>ST relacionados:</i>	
<i>Funções relacionadas:</i>	
<i>Componentes relacionados:</i>	

Quadro A.10. Princípios de solução.

A.5. Considerações finais

A modelagem de informações realizada para elaborar a BD não teve a intenção de esgotar o campo de conhecimentos da fase de projeto conceitual, mas representar as informações mais importantes dela. Disto, foi conceitualmente desenvolvida a estrutura da base de dados proposta, cuja implementação se restringiu às planilhas do Apêndice D, para permitir a avaliação da sistemática de ER e da BD.

Contudo, a estrutura de informações da BD apresentada considera as informações necessárias à realização das atividades da fase de projeto conceitual, que também vai orientar a elaboração do processo de ER.

APÊNDICE B. CATÁLOGO DE EFEITOS

Nesta seção, são mostrados alguns catálogos de efeitos do sistema SADEPRO (Fiod Neto, 1993, p.290-306), para ilustrar formas de apoio a identificação de princípios de solução de componentes de um sistema.

Operação básica “isolar”		
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
1. Impermeabilidade de materiais	Sólido	Atrito
		Impulso
		Coulomb I
		Coulomb II
	Líquido	Tensão superficial
		Coulomb II
		Viscosidade
		Turbulência
	Gasoso	Coulomb II
		Impulso
Turbulência		
2. Impermeabilidade com campos de força		Coulomb I

Quadro B.1. Catálogo de efeitos do sistema SADEPRO para a função “isolar” (Fiod Neto, 1993, p.297).

Operação básica “agrupar”		
Princípio utilizado	Meio físico	Efeito físico
1. Efeito concentrador com forças externas		Coesão
		Coulomb I
		Coulomb II
		Impulso
		Atrito
		Tensão superficial
		Viscosidade
		Gravitação
		Dielétrico em condensador
		Fluxo de energia de turbulência
2. Efeito concentrador com forças internas		Efeito de Pinch
		Tensão superficial
		Mudança da residência

Quadro B.2. Catálogo de efeitos do sistema SADEPRO para a função “agrupar” (Fiod Neto, 1993, p.297).

Operação básica “ligar” (liberar, permitir passagem)				
Princípio utilizado	Parâmetros de comando			Efeito físico
	Grandeza	Intensidade	Geometria	
1. Impermeabilidade de materiais	Coefficiente de atrito	Força normal	Ângulo de contato	Atrito
	Massa	Velocidade	Ângulo de incidência	Impulso
			Ângulo de desvio	Impulso
	Constante dielétrica	Cargas elétricas	Distanciamento	Coulomb I
	Permeabilidade relativa	Fluxo magnético	Distanciamento	Coulomb II
	Ângulo de borda	Tensão superficial	Largura capilar	Tensão superficial
	Viscosidade	Velocidade	Dimensões da fenda, área de superfície	Viscosidade
2. Impermeabilidade de campos de força	Carga elétrica	Tensão elétrica	Distanciamento	Coulomb I

Quadro B.3. Catálogo de efeitos do sistema SADEPRO para a função “ligar” (Fiod Neto, 1993, p.301).

APÊNDICE C. ESTRUTURA INTEGRADA DE ANÁLISES DE ENGENHARIA REVERSA

Nesta seção é descrita a estrutura integrada que representa as atividades e ferramentas da análise física do ST propostos na sistemática de ER. Objetiva fornecer uma visão de conjunto das propostas e assim, facilitar as análises físicas dos ST. A Fig. C.1 mostra uma visão geral da referida estrutura, com os meios de apoio.

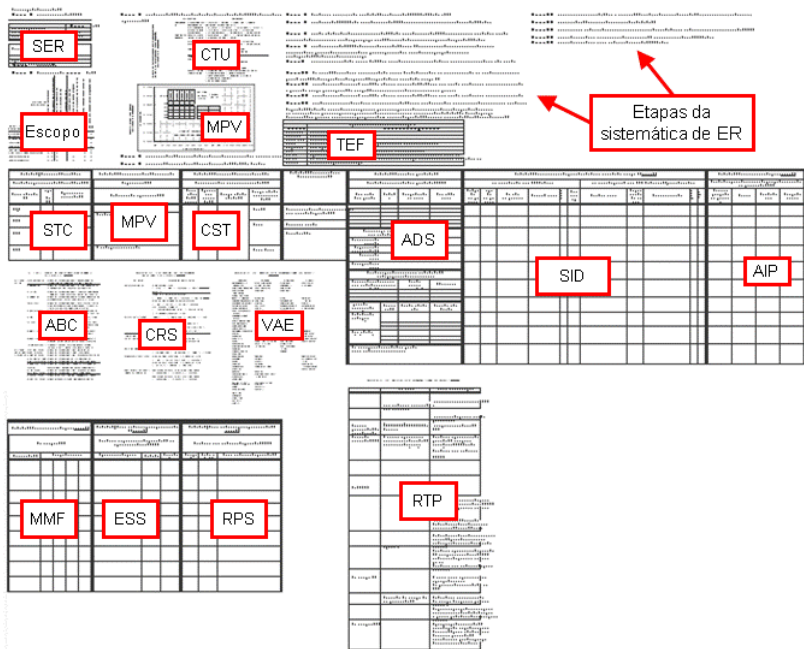


Figura C.1. Visão geral da estrutura integrada das análises de ER.

A Fig. C.2 mostra a referida estrutura em tamanho normal.

Estrutura integrada das análises de ER

Etapa 01: avaliar a solicitação de ER (SER)

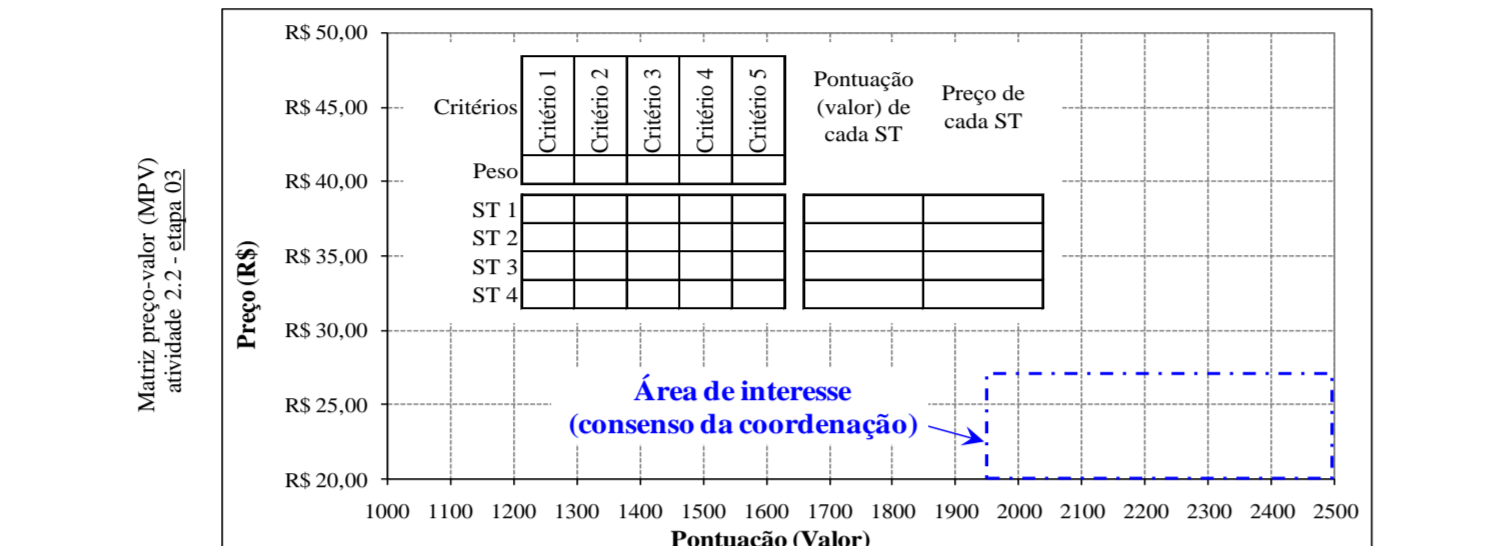
Table with 2 columns: Solicitação de engenharia reversa (SER) and Projeto de ER. Rows include Nome da organização, Nome do solicitante, Setor, E-mail, Descrição e justificativa da solicitação, Origem da solicitação, e Validade de mercado de interesse.

Etapa 02: definir o escopo do projeto de ER

Table with 2 columns: Atividades do projeto de ER and Problemas típicos de ER ao longo do PDP. Rows include 2.1. Caracterizar o ST candidato, 2.2. Selecionar obter o ST a ser analisado, 2.3. Caracterizar o sistema técnico selecionado, 2.4. Caracterizar o modo de falha do ST, 2.5. Analisar as condições de recebimento do ST, 2.6. Analisar as condições de entrega do ST, 2.7. Identificar as soluções de projeto, 2.8. Avaliar as soluções de projeto, 2.9. Avaliar os impactos de projeto, 3.0. Avaliar os impactos de projeto, 3.1. Recomendar as soluções de projeto, 3.2. Avaliar os impactos de projeto.

Etapa 03: a partir do quadro CTU (abaixo) e da lista de atributos do ciclo de vida do ST (ABC, abaixo), elaborar a matriz preço-valor (MPV).

Table with 2 columns: Características and Informações. Rows include Objetivo do ST, Descrição do ST, Características de uso, e Características de operação.



Etapa 04: selecionar e obter o ST a ser analisado, dentro da área de interesse, priorizando o maior valor e menor preço.

Etapa 05: caracterizar o ST selecionado e obtido, utilizando os quadros CST e CRS (abaixo, abaixo).

Etapa 06: analisar textualmente a análise do mercado do ST, a partir dos quadros ST, CTU e CST, e da matriz MPV.

Etapa 07: a partir dos quadros CTU, CST, e do manual de instruções do ST (MIN), selecionar quais variáveis serão avaliadas (quadro VAE, abaixo) quanto à interação usuário-ST (ergonomia). Selecionar as análises a serem realizadas e os equipamentos necessários (EAE). Executar tais análises.

Etapa 08: a partir dos modos de falha e de interação no quadro CST, e do manual de instruções do ST (MIN), selecionar qual elemento de desempenho será avaliado. Definir as análises a serem realizadas e qual equipamento (EAD) será utilizado. Executar as análises e preencher o quadro ADS (abaixo).

Etapa 09: a partir da solicitação de ER (SER) e do escopo do projeto de ER (etapa 02), definir qual solução de projeto será avaliada: apenas características dos componentes; identificar as funções dos componentes (peças e/ou eletros) que o solicitador de soluções (soluções) com o auxílio do quadro TEF, abaixo, ou outras (caso analise integrada).

Etapa 10: planejar a sequência de desmontagem do ST (de cima para baixo ou vice-versa), partindo dos componentes externos (que devem ser desmontados primeiro) em direção aos componentes internos. Selecionar e obter as ferramentas necessárias para a desmontagem do ST (EDM).

Etapa 11: desmontar o ST, de acordo com a sequência de desmontagem definida. E analisar um componente por vez (delemais remontados), o qual passa pelo procedimento SOP (substituir e operar), de onde é preenchido o quadro de informações da desmontagem (SID).

Etapa 12: após ter sido executado o procedimento SOP em todos os componentes do ST, o ST é completamente desmontado e os componentes são organizados em posição de montagem, para fotografar o ST em vista explodida. Isso vai auxiliar nas análises de interação entre os componentes.

Etapa 13: após ter sido executado o procedimento SOP em todos os componentes do ST, o ST é completamente desmontado e os componentes são organizados em posição de montagem, para fotografar o ST em vista explodida. Isso vai auxiliar nas análises de interação entre os componentes.

Etapa 14: a partir da função principal de cada componente no quadro SID, são comparados os efeitos de remoção relacionados à tal função, com os tipos de efeito do quadro TEF (abaixo). Com isto, são criados os efeitos físicos que o componente utiliza para atender tal função, e são identificados os parâmetros de função (elementos físicos do componente responsáveis pelo efeito físico). Dos efeitos e funções, é feita uma consulta na base de dados (BD) em busca dos princípios de solução (PS) compatíveis com os efeitos e funções, para preencher a última coluna do quadro AIP. Se não forem encontrados PS na BD, são criados novos PS.

Table with 2 columns: Tipos de efeitos físicos (TEF) - atividade 2.7, etapa 09 and Manifestações (aplicações). Rows include Mecânico, Elétrico, Hidráulico, Pneumático, Térmico, Magnético, Óptico, Químico, Acústico, e Dinâmico.

Table with 7 columns: Atividade 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7. Rows include Quadro de representação dos ST candidatos, Matrizes preço-valor, Caracterização do sistema técnico, Análise de condições de interação usuário-ST, Quadro de avaliação de desempenho do ST, Informações da lista de materiais, and Quadro de informações da desmontagem.

Lista de atributos físicos e do ciclo de vida do ST (ABC) - Atividade 2.2. Table with 2 columns: Atributos físicos and Ciclo de vida do ST.

Quadro de análise das condições gerais de recebimento do ST (CRS) - Atividade 2.3, etapa 02. Table with 2 columns: Critérios and Elementos de avaliação.

Quadro de variáveis comuns de análises de ergonomia (VAE) - Atividade 2.5, etapa 02. Table with 4 columns: Homem, Máquina, Ambiente, Sistema.

Quadro de condições de uso não recomendado, e seus efeitos na operação do ST. Table with 2 columns: Condições típicas de uso não recomendado do ST e Efeitos do uso não recomendado.

Quadro de recomendações típicas para a projeção dos ST (RPTS) - Atividade 3.1, etapa 12. Table with 3 columns: Entradas, Comentários, and Recomendações típicas.

Campos da base de dados (BD) a serem preenchidos nos projetos de ER

Formulário de projeto de ER com campos para Projeto, Sistema técnico, Funções, e Princípios de solução.

Table with 3 columns: Atividade 2.7, 3.1, 3.2. Rows include Matrizes morfológicas (MMF) and Quadros de especificações de projeto dos ST similares.

Table with 3 columns: Atividade 3.1, 3.2, 3.3. Rows include Quadros de recomendações de projeto dos ST e Matrizes preço-valor (MPV).

Table with 3 columns: Atividade 3.1, 3.2, 3.3. Rows include Quadros de análise das condições de recebimento do ST, Quadros de caracterização dos sistemas técnicos (CST), e Quadros de avaliação de desempenho do ST.

Table with 3 columns: Atividade 3.1, 3.2, 3.3. Rows include Quadros de informações da desmontagem (SID) e Vista explodida do ST.

APÊNDICE D. EXEMPLOS DE CAMPOS PREENCHIDOS DA BASE DE DADOS

Nesta seção, serão mostradas planilhas com campos preenchidos para representar os resultados dos *projetos* de ER e ilustrar a aplicação da BD como apoio ao processo de projeção. Para tal, foi adotada a seguinte organização:

- Quadro D.1. Planilha: projeto. Apresenta as informações necessárias para identificar os *projetos* de ER;
- Quadro D.2. Planilha: sistema técnico. Mostra as informações que descrevem o ST avaliado na ER;
- Quadro D.3. Planilha: condições ambientais de uso do ST. Define as condições do ambiente de uso do ST;
- Quadro D.4. Planilha: componentes. São mostrados alguns componentes cadastrados;
- Quadro D.5. Planilha: funções. Mostra algumas funções cadastradas;
- Quadro D.6. Planilha: princípios de solução. Mostra alguns princípios de solução cadastrados.

Todas serão mostradas nas seções que seguem.

Projeto	
<i>Código do projeto:</i>	NDP-0091
<i>Nome do projeto:</i>	Análise física (ER) do aparador de grama doméstico A
<i>Descrição do projeto:</i>	Realização do processo de análise física (engenharia reversa) do aparador de grama doméstico A: preço até R\$200,00 para o mercado brasileiro das classes C e D
<i>Local de realização:</i>	Setor de projetos da empresa NeDIP Ltda.
<i>Gerente do projeto:</i>	André Ogliari (Ndp-p-0002)
<i>Data de início:</i>	20/08/2008
<i>Produto (ST) novo?</i>	Sim (não é aperfeiçoamento)
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001



Quadro D.1. Planilha: *projeto*.



Sistema técnico	
<i>Nome do ST:</i>	Aparador de grama doméstico A (concorrente)
<i>Código do ST:</i>	AGD-001
<i>Projeto relacionado:</i>	NDP-0091
<i>ST similares:</i>	A (AGD-001), B, C, D e G. Vide Fig. D.6 e Quadro D.7
<i>Características técnicas</i>	Aparador elétrico, motor assíncrono 220V, 60Hz, 700W
<i>Dimensões totais:</i>	250 mm (A); 1220 mm (C); 230 mm (L)
<i>Peso (massa):</i>	2,05 kg
<i>Desempenho:</i>	Faixa de corte (diâmetro da lâmina): 240 mm
<i>Montagem:</i>	Aparador entregue montado ao consumidor
<i>Custo de aquisição:</i>	R\$140,00
<i>Entradas – energia:</i>	Energia elétrica (alimentar o motor)
<i>Entradas – material:</i>	Fio de <i>nylon</i> (realimentar), grama alta (a ser cortada)
<i>Entradas – informação:</i>	Altura da grama, aparador em temperatura ambiente
<i>Entradas – usuário:</i>	Usuário suporta e manobra o aparador
<i>Entradas – outros ST:</i>	Interage com a extensão elétrica (entre a tomada residencial e a tomada do aparador)
<i>Saídas – energia:</i>	A energia elétrica foi dissipada em energia mecânica (corte da grama) e energia térmica (aqueceu o motor)
<i>Saídas – material:</i>	Grama cortada; fragmentos de grama espalhados no gramado e grudados do aparador; menor comprimento da lâmina de corte (fio de <i>nylon</i>)
<i>Saídas – informação:</i>	Nova altura da grama; aparador com temperatura pouco superior à ambiente, maior nível de sujeira do aparador
<i>Saídas – usuário:</i>	Se o aparador tiver uso prolongado: dor lombar e dor nas articulações dos membros superiores (cotovelos, pulsos e dedos), pela vibração do ST em uso; satisfação pelo término da atividade
<i>Saídas – outros ST:</i>	Considerando que o ST deve ser limpo depois do uso, irá interagir com instrumentos de asseio: pano úmido, papel e espátula para raspar a grama grudada no ST

Quadro D.2. Planilha: sistema técnico.

Condições ambientais de uso do ST	
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001
<i>Projeto relacionado:</i>	NDP-0091
<i>Normas ambientais de uso do ST:</i>	Não polui o meio ambiente, apenas gera fragmentos de grama cortada que devem ser descartados ou utilizados como fertilizante. Praticamente não gera poluição térmica, mas produz moderada poluição sonora.
<i>Condições reais de uso do ST:</i>	Usuário liga os aparadores elétricos atuais em extensões para cortar a grama do jardim. Em muitos casos, removem a capa inferior de proteção para aumentar o comprimento da lâmina (fio de nylon), sem utilizar EPI (equipamentos de proteção individual) adequados e especificados no manual do ST. Isto diminui a confiabilidade do aparador e provoca a queima do motor elétrico por superaquecimento.

Quadro D.3. Planilha: condições ambientais de uso do ST.

<i>Código do componente:</i>	AGD-001_006	<i>Código do componente:</i>	AGD-001_010
<i>Nome do componente:</i>	Tampa superior do carretel	<i>Nome do componente:</i>	Motor elétrico assíncrono 220V, 60Hz, 700W
<i>Imagem do componente:</i>		<i>Imagem do componente:</i>	
<i>Descrição do componente:</i>	Tampa superior do carretel que fixa a tampa inferior (com o carretel de corte e a mola de ajuste nela embutidos) e arrefece o motor elétrico mediante a rotação das aletas.	<i>Descrição do componente:</i>	Motor elétrico assíncrono que gera torque para movimentar a lâmina de corte (fio de nylon).
<i>Importância:</i>	A	<i>Importância:</i>	A
<i>Material predominante:</i>	Plástico PA	<i>Material predominante:</i>	Diversos
<i>Dimensões (A x C x L):</i>	ø79 x 21 mm	<i>Dimensões (A x C x L):</i>	160 x 70 x 60 mm
<i>Peso (massa):</i>	24,00g	<i>Peso (massa):</i>	956,77g
<i>Custo do componente:</i>	R\$ 3,00	<i>Custo do componente:</i>	R\$ 18,00
<i>Outros componentes relacionados:</i>	AGD-001_001 AGD-001_002 AGD-001_003 AGD-001_004 AGD-001_005 AGD-001_007 AGD-001_010	<i>Outros componentes relacionados:</i>	AGD-001_004 AGD-001_005 AGD-001_006 AGD-001_007 AGD-001_011 AGD-001_013 AGD-001_021
<i>Sequência de desmontagem (SOP):</i>	01 (02, 03), 04, 05	<i>Sequência de desmontagem (SOP):</i>	08, 09, 14, 12, 13, 21, 01 (02, 03), 04, 05, 06, 07
<i>Funções relacionadas:</i>	F.11. Proteger F.14. Fixar F.26. Arrefecer (resfriar)	<i>Funções relacionadas:</i>	F.06. Gerar movimento
<i>Princípios de solução relacionados:</i>	11.01. Capa 14.03. Parafuso 26.01. Aletas	<i>Princípios de solução relacionados:</i>	06.01. Motor elétrico
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001 AGD-002	<i>ST relacionados:</i>	AGD-001 AGD-002

<i>Código do componente:</i>	AGD-001_003	<i>Código do componente:</i>	AGD-001_023
<i>Nome do componente:</i>	Mola do carretel	<i>Nome do componente:</i>	Botão de acionamento
<i>Imagem do componente:</i>		<i>Imagem do componente:</i>	
<i>Descrição do componente:</i>	Mola helicoidal que permite o ajuste do comprimento da lâmina (fio de nylon)	<i>Descrição do componente:</i>	Botão de acionamento do motor elétrico, com retorno por mola helicoidal. Enquanto pressionado, fecha contato elétrico que transmite a energia elétrica entre os cabos. Não possui trava, necessita ser pressionado durante toda a operação de corte
<i>Importância:</i>	A	<i>Importância:</i>	A
<i>Material predominante:</i>	Aço 1020	<i>Material predominante:</i>	Diversos
<i>Dimensões (A x C x L):</i>	ø11,5 x 35 x ø1,3 mm x 8 espiras	<i>Dimensões (A x C x L):</i>	47 x 29 x 15 mm
<i>Peso (massa):</i>	3,39	<i>Peso (massa):</i>	18,54g
<i>Custo do componente:</i>	R\$ 0,70	<i>Custo do componente:</i>	R\$ 1,50
<i>Outros componentes relacionados:</i>	AGD-001_001 AGD-001_002 AGD-001_004 AGD-001_006	<i>Outros componentes relacionados:</i>	AGD-001_021 AGD-001_022 AGD-001_024 AGD-001_025
<i>Sequência de desmontagem (SOP):</i>	01, 02	<i>Sequência de desmontagem (SOP):</i>	26, 14, 25, 24, 21
<i>Funções relacionadas:</i>	F.13. Permitir ajuste	<i>Funções relacionadas:</i>	F.09. Acionar o motor
<i>Princípios de solução relacionados:</i>	13.01. Ajuste por mola 13.03. Ajuste manual	<i>Princípios de solução relacionados:</i>	18.02. Botão sem trava
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001 AGD-002	<i>ST relacionados:</i>	AGD-001 AGD-002


Quadro D.4. Planilha: componentes.

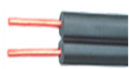
<i>Código da função:</i>	F.01
<i>Nome da função:</i>	Cortar
<i>Descrição da função:</i>	Dividir, separar ou aparar algum objeto
<i>Outras funções relacionadas:</i>	F.02. Remover material F.23. Triturar (picar)
<i>Princípios de solução relacionados:</i>	PS 01.01. Faca PS 01.02. Fio flexível PS 01.03. Lâminas helicoidais PS 01.04. Tesoura PS 01.05. Lâmina fixa rotativa (corte horizontal, eixo vertical) PS 01.06. Foice PS 01.07. Guilhotina PS 01.08. Lâminas sobrepostas PS 01.09. Dentes de animais (pastar) PS 01.10. Corte manual (rasgar) PS 02.01. Feixe de laser PS 02.02. Jato de água PS 02.03. Feixe de plasma PS 02.04. Oxicorte PS 02.05. Broca PS 02.06. Ataque de ácido PS 02.07. Eletroerosão PS 23.01. Facas oscilantes (marteletes) PS 23.02. Rolo com pinos PS 23.03. Rotor cilíndrico
<i>Componentes relacionados:</i>	AGD-001_002 AGD-002_006
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001 AGD-002
<i>Importância da função:</i>	A
<i>Tipo da função:</i>	U (uso)
<i>Entradas – energia:</i>	Mecânica
<i>Entradas – material:</i>	Grama sem cortar
<i>Entradas – informação:</i>	Altura da grama
<i>Entradas – usuário:</i>	Posicionamento da lâmina (altura, nivelamento e movimentos)
<i>Entradas – outros ST:</i>	-
<i>Entradas – ambiente:</i>	-


<i>Código da função:</i>	F.09
<i>Nome da função:</i>	Acionar o motor
<i>Descrição da função:</i>	Permite que o usuário acione o motor elétrico do aparador A, para iniciar o corte da grama
<i>Outras funções relacionadas:</i>	F.04. Fixar o botão de acionamento; F.05. Proteger o usuário de choques elétricos.
<i>Princípios de solução relacionados:</i>	PS 18.02. Botão sem trava
<i>Componentes relacionados:</i>	AGD-001_023
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001
<i>Importância da função:</i>	A (primária)
<i>Tipo da função:</i>	U (uso)
<i>Entradas – energia:</i>	Energia elétrica da tomada
<i>Entradas – material:</i>	Mecânica: força do usuário
<i>Entradas – informação:</i>	-
<i>Entradas – usuário:</i>	Força para apertar o botão e acionar o aparador A
<i>Entradas – outros ST:</i>	-
<i>Entradas – ambiente:</i>	-

Quadro D.5. Planilha: funções.

<i>Código do PS:</i>	06.01
<i>Nome do PS:</i>	Motor elétrico
<i>Descrição do PS:</i>	Gerar torque a partir de motores elétricos. Transforma energia elétrica em energia mecânica.
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	Transformação
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001 AGD-002 AGD-003
<i>Funções relacionadas:</i>	F.06. Gerar movimento
<i>Componentes relacionados:</i>	AGD-001_010 AGD-002_003

<i>Código do PS:</i>	06.06
<i>Nome do PS:</i>	Turbina eólica
<i>Descrição do PS:</i>	Gera torque a partir do movimento das pás (hélices), que giram pela ação do vento. Conceito utilizado em moinhos antigos e em aerogeradores (para movimentar geradores de energia).
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	Transformação
<i>ST relacionados:</i>	
<i>Funções relacionadas:</i>	F.06. Gerar movimento F.16. Captar energia
<i>Componentes relacionados:</i>	

<i>Código do PS:</i>	17.01
<i>Nome do PS:</i>	Condutores elétricos
<i>Descrição do PS:</i>	Transmitir energia elétrica utilizando fio condutor interno com isolamento elétrico externo.
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	Elétrico, forma + material
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001 AGD-002
<i>Funções relacionadas:</i>	F.17. Transmitir energia elétrica
<i>Componentes relacionados:</i>	AGD-001_021 AGD-002_012

<i>Código do PS:</i>	18.02
<i>Nome do PS:</i>	Botão sem trava
<i>Descrição do PS:</i>	Botão que aciona o ST mas não mantém o botão travado acionado (retorna à posição de origem). Obriga o usuário mantê-lo pressionado durante a operação do ST. Geralmente adotado em botões do tipo gatilho.
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	Mecânico (mola = material + forma) e elétrico (condução = contato elétrico)
<i>ST relacionados:</i>	AGD-001
<i>Funções relacionadas:</i>	F.17. Transmitir energia elétrica F.18. Acionar F.21. Isolar
<i>Componentes relacionados:</i>	AGD-001_023

Quadro D.6. Planilha: princípios de solução.

APÊNDICE E. ANÁLISE FÍSICA INTEGRAL DE ER: APARADOR DE GRAMA

Nesta seção, será ilustrada a utilização de parte da sistemática de engenharia reversa (ER) e da base de dados (BD) elaboradas nesta tese. Trata-se de um caso fictício onde uma empresa de pequeno porte busca realizar a análise física de um ST de referência para compreender seus conceitos e soluções e, disso, desenvolver um novo ST (novo na organização) similar àquele analisado, para oferecer ao mercado.

Dentre as opções do Quadro 5.1 (quinto capítulo), foi selecionado o aparador de grama. Isto se deve à contribuição para a pesquisa, em termos da simplicidade construtiva, boa variação de conceitos (soluções tecnológicas), pela facilidade de obtenção e por ser um item doméstico que muitas pessoas conhecem ou possuem (favorece a compreensão). Desta maneira, é iniciado o processo de análise física do aparador.

E.1. FASE 1. PLANEJAMENTO DO *PROJETO* DE ER

Na primeira fase, são definidos os aspectos gerenciais do *projeto* de ER, a partir da solicitação de ER (SER), mostrada no Quadro E.1.

Jardins Jardinagem	<i>Projeto de ER: NDP-191</i>
<i>Nome do solicitante:</i> Pedro Barbosa	<i>Matrícula:</i> JJ3456
<i>Setor:</i> Projeto – Linha de Jardinagem	<i>Telefone:</i> ramal 213
<i>E-mail:</i> pedro.barbosa@jj.com	<i>Data:</i> 17/08/2009
<i>Descrição e justificativa da solicitação de ER</i>	
<u>Descrição e justificativa da solicitação:</u> Avaliar aparadores de grama domésticos com preço até R\$200,00 vendidos no mercado nacional (fabricação nacional e importados). Sugiro que destes, um aparador de referência seja analisado, para orientar o projeto de um novo aparador a ser desenvolvido na organização (iniciando a nova linha de jardinagem). O setor comercial solicitou que o novo aparador seja mais confortável e resistente que os concorrentes, pois muitos aparadores falham por queima do motor, e os usuários estão dispostos a pagar um pouco mais pela melhor qualidade, conforto e confiabilidade.	
<u>Origem da solicitação:</u> setor de projeto, planejamento de novos produtos	
<u>Nicho(s) de mercado de interesse:</u> mercado nacional de aparadores de grama domésticos, com preço até R\$200,00.	
<u>Produto(s) interno(s) relacionado(s):</u> nenhum, primeiro do segmento	

Quadro E.1. Solicitação de informações – aparador de grama.

Pode ser notado no Quadro E.1 que a SER do exemplo solicita a análise completa de um aparador de grama de referência, dentre aqueles direcionados ao mercado nacional com preço até R\$200,00. Não foi definido qual aparador será avaliado. Portanto, a seleção do aparador de referência faz parte do escopo deste **projeto** de ER. A SER também citou características desejadas no novo aparador da organização, como qualidade, conforto e confiabilidade, mas não foram citadas análises específicas de desempenho, ergonomia ou desmontagem do ST.

Em termos do escopo do **projeto** de ER, é uma análise física integral. Segundo o escopo e o quadro ASA (Quadro 4.2), serão realizadas estas atividades: 1.2 (definir o cronograma do **projeto** de ER); 1.3 (definir o orçamento do **projeto** de ER); 1.4 (elaborar o plano do **projeto** de ER); 2.1 (identificar os ST candidatos); 2.2 (selecionar e obter o ST a ser analisado); 2.3 (caracterizar o ST selecionado e obtido); 2.4 (caracterizar o mercado do ST); 2.5 (analisar as condições de interação usuário-ST); 2.6 (analisar o desempenho do ST); 2.7 (identificar as soluções de projeto); 3.1 (recomendações para a projeção dos ST) e 3.2 (encerrar o **projeto** de ER).

Foi então definido o cronograma do **projeto** de ER, a partir das atividades de execução (fases 2 e 3 da sistemática, citadas no escopo), para uma equipe multifuncional de quatro profissionais. O **projeto** de ER terá estrutura por **projetos**, com um gerente fixo. Os demais integrantes da equipe de ER são originados de diversas áreas da organização, selecionados conforme o perfil de cada atividade de ER. Ao final da atividade, os profissionais são devolvidos ao setor original.

A duração das atividades (total de doze dias úteis) foi estimada a partir da experiência da equipe de ER. Já o orçamento do **projeto** de ER foi estimado a partir do cronograma, considerando os custos operacionais da execução do **projeto** de ER: horas de trabalho dos profissionais internos e custo de utilização dos recursos físicos necessários. Foi ainda previsto um valor de R\$200,00 para a aquisição do ST a ser avaliado.




O plano do **projeto** de ER agrupou tais resultados num texto, que foi avaliado e aprovado pela coordenação da organização, autorizando a execução do **projeto**.

Na sequência, é realizada a atividade 1.4 elaborar o plano do **projeto** de ER (PPJ), que integra os resultados da fase 1 para orientar a equipe de ER na execução das atividades do **projeto** de ER. Trata-se de um relatório preliminar que compreende a SER, o escopo do **projeto** de ER, as atividades previstas, bem como o cronograma e o orçamento.

E.2. FASE 2. ANÁLISE DO SISTEMA TÉCNICO

Segundo o escopo do **projeto** de ER, trata-se de uma análise integral de ER, considerando os aparadores de grama com preço até R\$200,00, pois é o mercado pretendido. Portanto, nesta fase foram realizados todos os estudos da sistemática (vide a Fig. 4.4): caracterizar o mercado; interação usuário-ST; desempenho do ST; identificar as soluções de projeto. Isto visa orientar novos **projetos** similares. Como na SER foi definido um mercado de atuação, e não um ST específico, são inicialmente identificados os ST candidatos, na atividade 2.1, para favorecer a seleção da melhor alternativa de ST a ser avaliado.

Considerando que a organização não domina os procedimentos de corte da grama, e que deseja iniciar uma linha de produtos para jardinagem, é importante entender os procedimentos de corte da grama nas residências e conhecer os ST alternativos³³ existentes (Quadro E.2).

 <p>a) Tesoura de cortar grama</p>	 <p>b) Aparador manual helicoidal</p>	 <p>c) Carrinho de cortar grama (elétrico e a combustão)</p>
<p><i>Vantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo e massa; - Fácil manutenção (principalmente limpeza); - Compacta para guardar. 	<p><i>Vantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Médio custo; - Fácil manutenção (principalmente limpeza); - Não precisa sustentar (favorece a ergonomia). 	<p><i>Vantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Custo de manutenção moderado (limpeza fácil, mas motor pode queimar); - Não precisa sustentar (favorece a ergonomia); - Atende área significativa.
<p><i>Desvantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pouca eficácia (muito esforço para pequena área); - Desconforto ergonômico (com possíveis lesões). 	<p><i>Desvantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Média eficácia (médio esforço para pequena área); - Tamanho significativo; - Operação cansativa em terrenos acidentados. 	<p><i>Desvantagens:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tamanho significativo; - Operação cansativa em terrenos acidentados; - Custo de aquisição elevado perante os demais.

Quadro E.2. Equipamentos tradicionais para cortar grama em residências, antes dos aparadores.

³³ Os ST alternativos podem ser os ST similares concorrentes do novo ST, os concorrentes indiretos (realizam funções semelhantes, podem ser substitutos) e os novos entrantes.

A tesoura foi amplamente utilizada no corte e nas operações de acabamento, pelo baixo custo de aquisição e de manutenção e fácil manobrabilidade. No entanto, apresenta algumas desvantagens: muito esforço em áreas maiores de corte e desconforto ergonômico com possíveis lesões. Com o tempo, alguns usuários adotaram um aparador helicoidal para o corte do gramado, tendo a tesoura para o acabamento, pois ambos os ST não consomem energia elétrica e, neste modo combinado de operação, não demandam muito esforço³⁴ do usuário. Do sucesso do aparador helicoidal, surgiram os carrinhos com motores elétricos e de combustão interna, que tem maior eficiência de corte numa área maior (preferencialmente plana), apesar do maior custo de aquisição. Contudo, os aparadores helicoidais e os carrinhos operam principalmente em movimento recíproco de corte da grama (“vai-vem”).





Noutro momento, surgiram os aparadores com motor elétrico de baixa potência, cujo corte é realizado por fio de *nylon* num carretel de alta rotação. Foram desenvolvidos para substituir as tesouras manuais nas operações de acabamento, mas devido à praticidade e baixo preço, passaram a ser adquiridos para aparar todo o gramado das residências. Assim, foi diminuída a procura pelos demais ST (Quadro E.2), onde tais aparadores elétricos foram reforçados³⁵ para as novas condições de uso.




A partir deste estudo sobre os ST que cortam grama, foram identificados os ST concorrentes do novo aparador, apresentados no quadro de representação dos ST candidatos (STC, Quadro E.3), com as especificações técnicas. Foram ainda incluídos alguns ST direcionados a outros mercados, para identificar conceitos e soluções que possam inspirar a inserção de inovações nos novos ST e mapear possíveis novos entrantes e ameaças.

³⁴ Os usuários sentem um maior esforço nos aparadores helicoidais quando a grama está alta e se acumula nas lâminas, pois geralmente ocorre o travamento das lâminas helicoidais.

³⁵ Com a aplicação do aparador de grama no corte de todo o gramado (ao invés de apenas acabamentos), começou a queimar o motor elétrico (principal falha destes aparadores), geralmente ocasionada por superaquecimento, devido às diferenças de demandas energéticas nas operações de corte de todo o gramado e do acabamento. Para amenizar isso, os fabricantes aumentaram gradativamente a potência do motor, o que prolonga a vida do motor, mas aumenta a massa (prejudicando a manobrabilidade) e o esforço do usuário.




Quadro E.3. Quadro de representação dos ST candidatos (STC).

Marca/ modelo	Imagem do ST	Especificações do ST
1 ST A*		<u>Potência:</u> 700W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 2,50 kg <u>Ø corte:</u> 240 mm <u>Lâminas ativas:</u> 1 <u>Preço:</u> R\$140,00
2 ST B*		<u>Potência:</u> 700W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 2,20 kg <u>Ø corte:</u> 290 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$135,00
3 ST C*		<u>Potência:</u> 700W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 2,60 kg <u>Ø corte:</u> 300 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$130,00
4 ST D*		<u>Potência:</u> 700W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 2,80 kg <u>Ø corte:</u> 280 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$125,00

Marca/ modelo	Imagem do ST	Especificações do ST
5 ST E		<u>Potência:</u> 540W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 3,90 kg <u>Ø corte:</u> 360 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$580,00
6 ST F ³⁶		<u>Potência:</u> 500W <u>Fonte:</u> elétrico (bateria: 18V; 1,5Ah; auton.: 3h) <u>Massa:</u> 2,90 kg <u>Ø corte:</u> 260 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$400,00
7 ST G*		<u>Potência:</u> 600W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 2,60 kg <u>Ø corte:</u> 260 mm <u>Lâminas ativas:</u> 1 <u>Preço:</u> R\$150,00

³⁶ Aparelho disponível nos países da Comunidade Européia. Custo médio de £70,00 (UK). Preço estimado no Brasil: R\$400,00.

Continuação do Quadro E.3.

Marca/ modelo	Imagem do ST	Especificações do ST
8 ST H		<p><u>Potência:</u> 600W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 3,50 kg <u>Ø corte:</u> 230 mm <u>Lâminas ativas:</u> 1 <u>Preço:</u> R\$300,00</p>
9 ST I		<p><u>Potência:</u> 1000W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 4,80 kg <u>Ø corte:</u> 290 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$250,00</p>
10 ST J		<p><u>Potência:</u> 1000W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 5,80 kg <u>Ø corte:</u> 290 mm <u>Lâminas ativas:</u> 3 <u>Preço:</u> R\$600,00</p>

Marca/ modelo	Imagem do ST	Especificações do ST
11 ST K		<p><u>Potência:</u> 650W <u>Fonte:</u> gasolina (2T, 27,2 cm³) <u>Massa:</u> 4,10 kg <u>Ø corte:</u> 360 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$800,00</p>
12 ST L		<p><u>Potência:</u> 1050W <u>Fonte:</u> elétrico (tomada) <u>Massa:</u> 8,00 kg <u>Ø corte:</u> 300 mm <u>Lâminas ativas:</u> 2 <u>Preço:</u> R\$400,00</p>

Conforme visto no Quadro E.3, cinco ST concorrentes do novo aparador (preço até R\$200,00, destacados com asterisco no nome) são similares: motor elétrico inferior com o rotor acoplado, alimentação de energia por tomada e extensão, haste de sustentação com alças (massa do ST sustentada pelo usuário) e botão de acionamento sem trava (uso de curta duração). Há poucas diferenças nas especificações, modos de falha e modos de interação externa.

Com os ST candidatos apresentados, se partiu para a atividade 2.2, referente à seleção do ST a ser avaliado. Para tal, foram sintetizadas as características comuns em que os cinco ST concorrentes diretos são submetidos em uso habitual, mediante o preenchimento do quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU), no Quadro E.4.

Características		Informações
Obtenção do ST	Principal forma de obtenção do ST	(X) aquisição; () locação; () empréstimo; () doação Observações (se forem necessárias):
	Classe econômica	() miserável; (X) classe baixa; (X) classe média; () classe alta
	Nível de instrução de quem obtém	() analfabeto; (X) semi alfabetizado; (X) alfabetizado; (X) ensino fundamental; (X) ensino médio; (X) ensino superior
Condições de uso do ST	Quem utiliza o ST (potencial usuário)	(X) quem obtém; (X) familiar; () funcionário da organização; (X) profissional externo; () outros:
	Nível de instrução de quem utiliza	() analfabeto; (X) semi alfabetizado; (X) alfabetizado; (X) ensino fundamental; (X) ensino médio; (X) ensino superior; Observações (se forem necessárias):
	Forma de utilização	(X) conforme sugerido no manual de instruções; (X) uso não recomendado pelo manual, especificar: <i>Usuário remove a capa inferior de proteção para aumentar o raio de corte do fio de nylon e utiliza extensões elétricas com bitola inferior àquela recomendada no manual (varia a tensão e queima o motor)</i>
	Intensidade do ciclo de operação	- Área (m ²) ou distância de uso: até 200 m ² diários (jardins, pátios) - Tempo total de utilização num dia: 3 horas - Tempo ininterrupto (sem paradas) médio de uso: 10 minutos - Frequência de uso: () diário; () semanal; () mensal; () outros: <i>quinzenal (15 dias)</i>
	Características do ambiente de uso	() exposição à água; () exposição à umidade significativa; () exposição ao fogo; () exposição ao calor; (X) contato com pedras; (X) exposição à terra, poeira; () exposição aos ácidos (quais): () outros (complemente): <i>grama³⁷ seca ou com baixa umidade</i>

Quadro E.4. Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU) dos aparadores de grama.

³⁷ Gramados de terrenos pouco acidentados (menos de 30% de inclinação – sobe 3m a cada 10m na horizontal), com poucas pedras e fragmentos de materiais de construção, sendo essencialmente o próprio gramado (altura da grama entre 10 a 15 cm) do tipo São Carlos (vide: <www.fazfacil.com.br/JardimGrama.htm>. Acesso: 04 Jun. 2007).

O preenchimento do quadro CTU ocorreu a partir da experiência da equipe do **projeto** de ER e foi complementado pelas opiniões dos profissionais entrevistados. Tendo sido preenchidos os quadros CST e CTU, foi iniciada a elaboração da matriz preço-valor (MPV), para selecionar o ST. O Quadro E.5 apresenta os elementos da MPV.

Itens	Elementos
ST a serem comparados	<i>Sistemas técnicos citados no quadro CST (Quadro E.4).</i>
Critérios de avaliação ³⁸ (faixa de valores: 1 a 10)	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Potência e faixa de corte</u>: potência do motor (quanto menor, melhor) e faixa de corte (quanto maior, melhor); - <u>Confiabilidade</u>: disponibilidade do ST, sem apresentar falhas. Quanto maior, melhor; - <u>Postura do operador</u>: considera o esforço na coluna (quanto menor o esforço, melhor) e a necessidade de sustentar (pior caso) ou não (melhor caso) a massa do aparador durante o uso. Isso visa evitar lesões de uso; - <u>Peso da máquina</u>: massa do equipamento, onde quanto menor for a massa do aparador, melhor; - <u>Preço</u>: custo de aquisição (quanto menor, melhor); - <u>Manutenção</u>: disponibilidade da assistência técnica (maximizar), custo de manutenção (minimizar) e facilidade de reposição das lâminas. Maximizar; e - <u>Aparência</u>: aspectos de cor, forma, acabamento e a presença de cantos vivos que podem ferir o usuário. Quanto mais atraente e seguro, melhor.
Caracterização da amostra de profissionais consultados	<ul style="list-style-type: none"> - 02 lojas de equipamentos de jardinagem; - 02 usuários; - 01 projetista da equipe de pesquisa de ER.

Quadro E.5. Elementos para elaborar a matriz preço-valor (MPV).

Na MPV, por exemplo, o critério “potência e faixa de corte” agrupou dois parâmetros selecionados a partir do atributo de “funcionamento” e do atributo de ciclo de vida do ST “função”. O valor de tal critério, em cada ST, é obtido pela multiplicação da potência do motor pela faixa de corte. Por ser um critério quantitativo, as notas foram definidas a partir de uma escala onde o ST com o menor produto “potência x faixa de corte” recebeu nota 1 (mínima), e o maior produto obteve nota máxima, 5. As demais notas foram interpoladas a partir

³⁸ Os critérios foram selecionados a partir da lista de atributos básicos e do ciclo de vida do ST (ABC), no Quadro 4.6.

destas notas extremas. Os pesos dos critérios foram definidos pelas pessoas entrevistadas numa escala de um (menor importância) a dez (maior importância).

Das notas finais e pesos de cada critério, foi determinado o valor de cada ST, pela multiplicação da nota pelo peso do critério. Do valor final do ST e o preço de aquisição, foi elaborada a MPV (Fig. E.1).

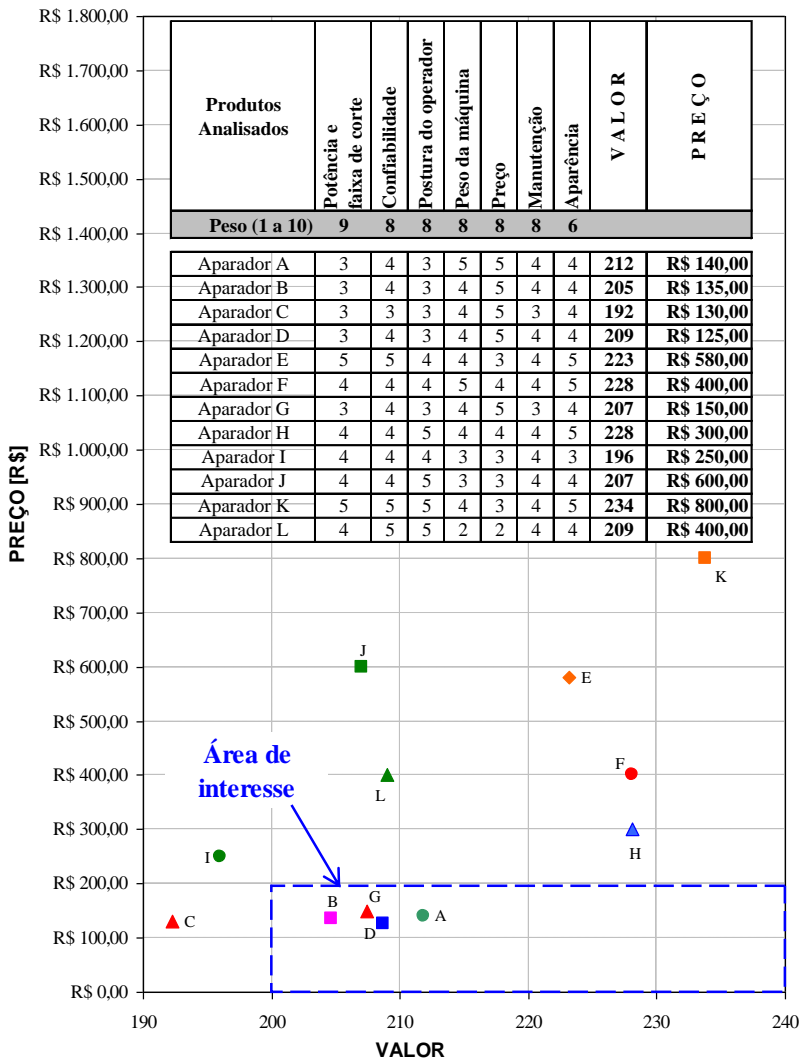


Figura E.1. Mapa preço-valor (MPV) dos aparadores de grama.

A área de interesse da MPV tem valor mínimo de 200 pontos e preço até R\$200,00, onde apenas os ST A, B, D e G se encontram nesta região (potenciais concorrentes do novo aparador). As características destes quatro ST da área de interesse servem para orientar o **projeto** do novo aparador. Pelo consenso da equipe de ER, foi selecionado o ST A, por ter maior valor e menor preço, pois tem maior potencial para ter sucesso comercial. O ST A foi obtido por aquisição, numa loja especializada em comércio de equipamentos industriais e de jardinagem.

Na atividade 2.3, caracterização do ST selecionado e obtido, são inicialmente obtidas as dimensões externas e imagens externas do ST obtido (vide a Fig. E.2), utilizando recursos áudio visuais (RAV).



Vista lateral



Vista frontal



Isométrica



Capa de proteção inferior



Sistema de corte



Sistema de acionamento

Figura E.2. Imagens externas dos pontos de análise do ST A.

O aparador A foi entregue nas condições em que estava exposto na loja, já montado. Como embalagem, havia apenas um saco plástico que armazenava o manual de instruções, fixado no ST por um barbante. Em termos das instruções de uso, o vendedor apenas mostrou como ligar o aparador e recomendou o uso de óculos de proteção.

Na Fig. E.2, foi ainda notado que o sistema de corte possui um carretel com o fio de *nylon* (lâmina) e uma lâmina metálica fixa num canto da capa inferior, para limitar o comprimento do fio. Esta limitação mantém a potência demandada pela operação de corte da grama nos parâmetros de projeto do ST, protegendo o motor, mesmo que alguns usuários a retirem para aumentar o diâmetro de corte. Das observações, foi preenchido o quadro CRS, (Quadro E.6), que avalia as condições iniciais de recebimento do ST.

Critérios	Elementos de avaliação
Embalagem do ST	Tipo de embalagem: () caixa; () saco; (X) nenhuma; () outra: ____
	Material: <i>nenhum para o ST, um saco para o manual</i>
	Impacto ambiental: <i>baixo, somente o saco do manual</i>
	Suportes internos da embalagem: () isopor; () papelão; (X) nenhum
	Nível de proteção do ST pela embalagem: () total; () parcial; () baixo; (X) nenhum
	Facilidade de transporte: (S) tamanho adequado? [S/N]; (N) seguro? [S/N]; (S) ergonomia adequada? [S/N]; ()
Manual de instruções	Idiomas: (X) português; (X) espanhol; (X) inglês
	Detalhamento: () excessivo; (X) adequado; () superficial
	Possui guia rápido com instruções de uso [S/N]; (S)
	Informações sobre uso seguro do ST [S/N]; (S)
Informações presentes no ST para o uso adequado	Uso seguro do ST [S/N]? (S)
	Recomendações para evitar mal-uso [S/N]? (S)
	Informações colocadas em elementos que não deterioram com o uso [S/N]? (<i>Sim, capas e haste de sustentação</i>)
Asseio (limpeza) do ST	Asseio (limpeza) do ST: (X) empoeirado; () engraxado; () limpo; () riscado
Montagem e regulagem	Nível de montagem necessária do ST para uso: () total; () parcial/subsistemas; (X) nenhuma
	Nível de regulagem necessária do ST para uso: () bastante; (X) pouco; () nenhuma
Acessórios e ferramentas fornecidas com o ST	Equipamentos necessários à montagem do ST: () adequado; () insuficiente; (X) nenhum
	Equipamentos necessários à regulagem do ST: () adequado; () insuficiente; (X) nenhum

Quadro E.6. Quadro de análise das condições gerais de recebimento do ST A (CRS).

Junto com a avaliação inicial do ST (Quadro E.6), foi lido o manual de instruções do ST, a fim de identificar os procedimentos de uso do ST. Disso, a equipe de ER preparou o ST para o uso, em termos das regulagens. No ST A, foi apenas necessário regular³⁹ a posição central do punho ajustável para manter a lâmina paralela ao solo.

Também foi analisado o acabamento do ST A, considerando: presença de cantos vivos; conformidade dos encaixes dos componentes externos; materiais e processos de fabricação dos componentes externos; o processo de pintura e as cores; e a proteção contra ataque químico (efeitos da oxidação e dos produtos típicos de higienização do ST). Os resultados destas análises foram inseridos no relatório do *projeto* de ER e foram utilizados na comparação com os ST concorrentes diretos.


Além do quadro CRS, foi preenchido o quadro CST (Quadro E.7). Nele, o ST selecionado é caracterizado com base nas informações do quadro STC (Quadro E.3) e nos resultados da entrevista realizada com os usuários potenciais e os profissionais de assistência técnica dos ST candidatos, durante o preenchimento do quadro CTU (Quadro E.4).

Todas as informações obtidas na atividade 2.3 são inseridas na base de dados (BD) da organização, e podem ser consultadas a qualquer momento pelos profissionais internos credenciados. Por se tratar de uma área estratégica, há restrição de acesso aos resultados da ER. É assim encerrada a atividade 2.3, para seguir nas demais análises do *projeto* de ER, de acordo com o escopo do *projeto* de ER.

Conforme citado no quarto capítulo, por se tratar de uma análise completa do ST, convém que o mercado seja avaliado, na atividade 2.4, antes das análises físicas propriamente ditas (ergonomia, desempenho e desmontagem). Senão, corre-se o risco de descaracterizar o ST ao avaliar aspectos de qualidade e desempenho após ter sido desmontado, onde algum componente pode ser danificado.

Na sequência, foram avaliados os aspectos de interface entre o ST e o usuário (ergonomia), principalmente quanto aos movimentos de uso, esforços e postura do usuário, segundo as recomendações do manual de instruções do ST. Depois foi analisado o desempenho do ST, segundo as condições adequadas de ergonomia. Noutro momento, foi realizada a desmontagem do ST, para avaliar as soluções de projeto do ST. Ao final da desmontagem, o ST ficou desmontado em exposição na organização, para ser visualizado pelos profissionais nele interessados.

³⁹ Foi constatado que, para usuários com mais de 1,70m de estatura, a postura fica inadequada (coluna levemente curvada para frente), mesmo com o apoio posicionado na parte mais alta (encostado no apoio superior). Isto será avaliado em detalhes adiante nas análises ergonômicas.

Marca / modelo do ST	Imagem externa do ST	Principais especificações técnicas do ST	Principais modos de falha ⁴⁰ do ST	Principais modos de interação externa do ST
ST A		<p>Potência: 700W Fonte: elétrico (tomada) Massa: 2,50 kg Ø corte: 240 mm Lâminas ativas: 1 Preço: R\$140,00</p>	<p>- <u>Queima do motor por superaquecimento</u>: a remoção da capa inferior de proteção, que visa aumentar o raio de corte, aumenta a demanda de potência e prejudica o arrefecimento do motor, pois a capa inferior direciona ao motor o ar captado pelas aletas (sem a capa, o ar passa por fora das capas), e permite a entrada de sujeira no motor, o que pode aquecê-lo e até trancá-lo. O motor pode ainda superaquecer pelo uso de extensões elétricas com mais de 10m e finas (1,5 mm²), pois os fios aquecem e criam resistência, variando a tensão de entrada do motor. E queima causada pelo uso do aparador por tempo prolongado;</p> <p>- <u>Parada da operação por ergonomia deficiente</u>: o botão de acionamento não possui trava e exige força significativa, machucando o dedo do usuário. O usuário sustenta a massa do aparador durante o uso, o que causa cansaço muscular excessivo. A postura dos usuários com mais de 1,70m de altura é inadequada para manter as lâminas de corte paralelas ao solo. A posição dos apoios de sustentação é inadequada, pois ficam na parte superior do tubo de sustentação, enquanto o centro de gravidade do aparador está perto do motor (distante da coluna do usuário), gerando um momento fletor na coluna vertebral⁴¹ do usuário, fazendo-o parar para descansar. Vibração gerada pelo motor e pelas lâminas de corte gera desconforto, podendo causar lesões leves nas articulações dos membros superiores, onde tal vibração é amenizada em aparadores que possuam duas lâminas contrapostas (uma lâmina balanceia a outra). Ruído significativo gerado pelo movimento da lâmina (fio de <i>nylon</i>) durante o corte, que pode ser amenizado com o uso de equipamentos de proteção (recomendados no manual de instruções do ST).</p>	<p><u>Outros ST</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - O aparador necessita de uma extensão elétrica para conectar a tomada à rede de energia elétrica, durante o corte da grama; - Os equipamentos de manutenção do aparador podem ser facilmente encontrados e utilizados (até pelo usuário), o que favorece o uso doméstico; <p><u>Usuário</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usuário aciona o ST; - Usuário suporta toda a massa do ST durante o uso; - Usuário manobra o ST para cortar a grama; - Usuário controla a qualidade do corte; - Usuário monitora o estado de conservação do ST durante o corte, para evitar superaquecer e outras falhas; <p><u>Meio ambiente</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Durante o uso, o ST produz fragmentos de grama que devem ser removidos do gramado pelo usuário; - O ST produz calor pelo aquecimento do motor, mas não queima as mãos do usuário nem gera poluição térmica; - O aparador necessita de energia elétrica; - Grande parte dos materiais adotados no ST é reciclável e o descarte não gera muito impacto no meio ambiente.

Quadro E.7. Caracterização do sistema técnico selecionado (CST).

⁴⁰ Os principais modos de falha dos ST foram citados por profissionais credenciados de assistência técnica de cada ST.

⁴¹ Nos aparadores com motor na parte superior, o centro de gravidade fica praticamente alinhado com a coluna vertebral do usuário, o que gera menor momento fletor, apesar da maior massa em relação aos aparadores com motor elétrico na parte inferior.

A atividade 2.4 visa detalhar as características do mercado do ST, para propor ações comerciais e algumas especificações aos novos ST. Esta atividade foi baseada no perfil dos ST candidatos (quadro STC) e potenciais usuários (quadro CTU), bem como nas consultas aos sítios da *Internet* (INT) e na base de dados (BD), referentes aos ST similares. Do quadro CTU (Quadro E.4), foi notado que o ST é geralmente obtido por aquisição, por usuários das classes econômicas, baixa e média. O nível de instrução de quem obtém e utiliza varia, sendo sugerido simplificar os comandos do ST para favorecer os usuários menos instruídos.

Quanto ao uso, o ST é operado segundo o manual de instruções (MIN), mas em muitos casos foi observada a remoção da capa inferior de proteção para aumentar o raio de corte. Isto caracteriza mal-uso, por penalizar a segurança e danificar o motor elétrico. Tais condições serão avaliadas nas análises de ergonomia e desempenho, em busca de maior confiabilidade, segurança e conforto de operação. De modo geral, em termos comerciais, pode-se dizer que o ST A tem características adequadas aos usuários potenciais.

Já a atividade 2.5 avalia se as condições de interação usuário-ST (ergonomia) estão adequadas às características dos usuários (CTU, Quadro E.4), quanto à postura, esforços, controles e demais elementos de operação do ST. Para tal, foram observados os movimentos típicos de usuários operando os ST A, E e J, no Laboratório de Biomecânica (CDS/UFSC), para a análise *OWAS* (OWS). Vide a Fig. E.3.



Figura E.3. Simulação de uso dos ST A, E e J.

Na Fig. E.3, é notado que a postura do usuário, com 1,77m de estatura, está inadequada no aparador A (obtido), por estar com a coluna

inclinada. O aparador E e a roçadeira J⁴² permitem uma postura menos prejudicial, o que evita o surgimento de lesões pelo uso destes ST, considerando que o usuário deve sustentar e manobrar o ST no uso.

Para selecionar as análises de ergonomia, foram avaliadas as formas de interação do usuário com o ST A (quadro CST, Quadro E.7), a partir das recomendações do manual de instruções (MIN), bem como a observação da postura (Fig. E.3) do usuário durante a operação do ST A. Foi sugerido realizar medições antropométricas estáticas⁴³, dinâmicas e funcionais, utilizando algumas variáveis do quadro de variáveis comuns de análises de ergonomia (VAE), baseado em Iida (2005, p.40), vistas no Quadro E.8, de acordo com a solicitação de ER (SER) e as condições de uso do ST A recomendadas no manual de instruções do ST A (MIN).

Homem	Máquina	Ambiente	Sistema
<u>Antropometria e biomecânica:</u> - Dimensões do corpo - Forças musculares	<u>Dimensões:</u> - Formas - Distâncias - Massas	<u>Físico:</u> - Temperatura - Vibrações - Acelerações	<u>Subsistemas:</u> - Interações
<u>Percepções e cognição:</u> - Visão - Tato - Posições do corpo - Esforço	<u>Displays:</u> - Táteis: estático, dinâmico		<u>Postos de trabalho:</u> - Postura - Movimentos - Informações
<u>Subjetivos:</u> - Conforto - Segurança - Fadiga			<u>Confiabilidade:</u> - Tempo de funcionamento

Quadro E.8. Variáveis selecionadas para as análises de ergonomia (VAE).

Partindo das variáveis de ergonomia (VAE) selecionadas⁴⁴, foram identificadas as formas de medição e análise delas e os respectivos equipamentos de análise de ergonomia (EAE). O Quadro E.9 mostra o plano das análises de ergonomia (PAE).

⁴² A roçadeira J foi emprestada para a análise. Está nas condições como foi recebida, sem a capa protetora inferior, removida pelo proprietário para aumentar a faixa de corte.

⁴³ As análises de ergonomia foram realizadas no Laboratório de Biomecânica do Centro de Desportos da UFSC, por intermédio da cordial ajuda do Prof. John Peter Nasser, Dr. (peter@cds.ufsc.br), que orientou e auxiliou nos testes ali realizados.

⁴⁴ Algumas variáveis selecionadas também serão utilizadas na análise de desempenho do ST.

Itens do plano	Planejamento das análises de ergonomia
Tipos de análise dinâmica	Simulação de movimentos de corte em laboratório
	Utilização do ST A nas simulações em laboratório e nos testes de desempenho
Tipos de análise	Análise subjetiva da postura do usuário (observação)
	Análise <i>OWAS</i> : muitas variáveis selecionadas e análises são relacionadas à postura e esforços do usuário
Local das análises	Laboratório: laboratório de biomecânica (CDS/UFSC)
	Campo: cortar grama próximo ao bloco B (EMC/UFSC)
Equipamentos utilizados	Balança digital, prancha marcada, trena, prumo, câmera fotográfica, e ferramentas para a montagem e regulagem dos ST avaliados
ST avaliados	Aparadores A e E, roçadeira J
Envolvidos na análise	UFSC: equipe de pesquisa (NeDIP/EMC) ⁴⁵ ; Prof. John P. Nasser (Laboratório de Biomecânica/CDS); pessoal que corta grama na UFSC (observação informal); e Roberto Andrade (técnico NeDIP/EMC) por emprestar a roçadeira J e auxiliar nas análises de ergonomia
	Externos: loja Dominik, Florianópolis/SC (empréstimo do ST E para as análises de ergonomia)

Quadro E.9. Plano das análises de ergonomia (PAE).

Com o plano das análises de ergonomia (PAE), foram preparadas as análises de ergonomia: obtenção dos EAE e dos ST selecionados, e o agendamento das análises com o Prof. John Peter Nasser (CDS/UFSC). Conforme visto no PAE, as análises consistem na observação inicial de usuários cortando grama, para conhecer os movimentos típicos de uso dos aparadores. Noutro momento, é realizada a análise *OWAS*, pois muitas variáveis estão relacionadas aos esforços e à postura do usuário.

A análise *OWAS* (OWS) foi realizada com os três ST da Fig. E.3: ST A (obtido), E e J. Além da análise visual da postura do usuário, foi identificado o centro de gravidade do conjunto “usuário + ST” para estimar o momento fletor gerado pelo ST na coluna vertebral do usuário. Foi utilizada uma prancha com marcações e dois apoios triangulares inferiores (um em cada base, distantes 1885 mm entre si). Num apoio foi colocada uma balança, para medir a força de reação da massa do conjunto. A Fig. E.4 mostra a prancha, o usuário e o ST A.

⁴⁵ Convém destacar o auxílio de Fernando Matsunaga, estudante de engenharia mecânica, que fez parte da equipe de pesquisa durante as análises de ergonomia realizadas com o aparador.

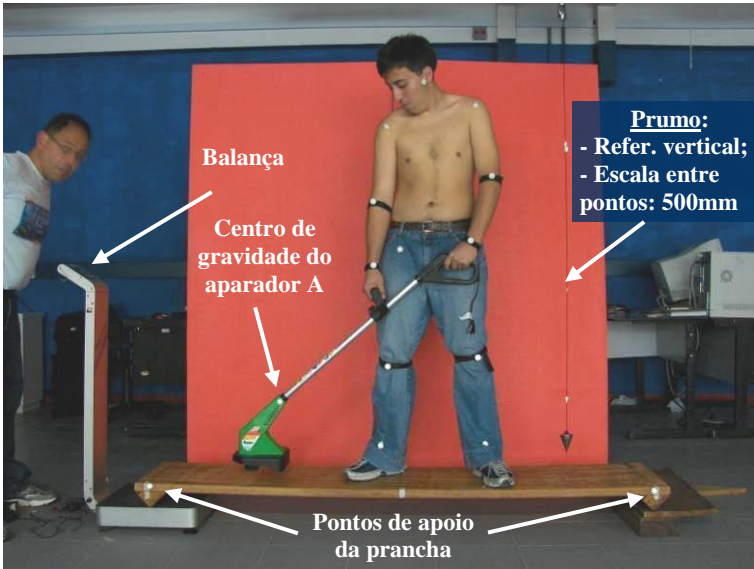
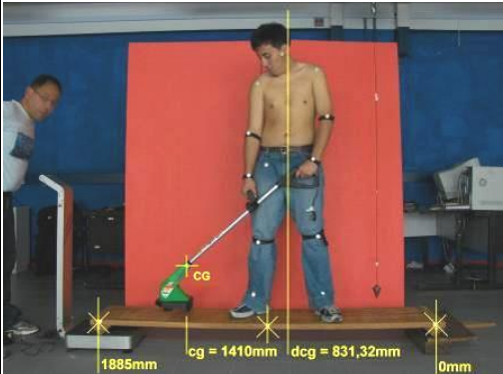


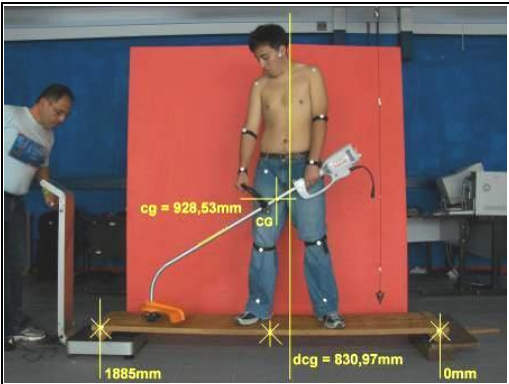
Figura E.4. Identificação do centro de gravidade do conjunto “usuário + ST”.

Devido à baixa massa dos ST, é identificada a posição do centro de gravidade do ST equilibrando-o com o dedo, como numa gangorra. Neste, é colocada uma meia-esfera de isopor colada. Foi adotada a linha média da coluna vertebral do usuário como centro de gravidade do usuário. Disto, o usuário foi visualmente posicionado no centro da prancha, e foi calculada a massa na balança (reação), de onde a equação d_{cg} (mostrada no Quadro E.10) define a distância do CG do conjunto. A análise realizada nos três ST avaliados é mostrada no Quadro E.10. Nele, tem a imagem do conjunto “usuário + ST”, as medidas obtidas e a análise de postura do usuário pelo sistema *OWAS* (Iida, 2005, p.169).

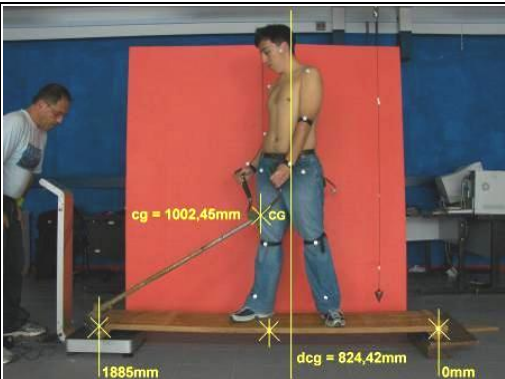
ST analisado	Medidas e análise de postura (sistema OWAS)
<p><u>Dados gerais da análise</u></p> <p>Distância entre apoios da prancha (d_{app}) = 1885mm</p> <p>Massa do usuário (P_{usu}) = 82,30kg</p> <p>Estatura do usuário (h_{usu}) = 1,77m</p>	<p><u>Cálculo do centro de gravidade (D_{CG})</u></p> $D_{CG} = \frac{(P_{med} \times d_{app})}{(P_{usu} + P_{ST})}$
	<p><u>Aparador A (obtido)</u></p> <p><u>Medidas:</u></p> <p>Massa ST: (P_{ST}) = 2,05kg</p> <p>Massa na balança (P_{med}) = 37,20kg</p> <p>D_{CG} = 831,32mm</p>
<p><u>Análise OWAS de postura do aparador A</u></p> <p><u>Dorso:</u> inclinado e torcido (4); $t = 10\%$ de 3 horas = <u>18 min</u></p> <p><u>Braços:</u> dois braços para baixo (1); $t = 100\%$ de 3 horas = <u>180 min</u></p> <p><u>Pernas:</u> deslocamento com pernas (6); $t = 20\%$ de 3 horas = <u>36 min</u></p> <p><u>Carga:</u> até 10kg (1).</p> <p>4161. Pela Tabela 6.3 (Iida, 2005, p.169) a postura tem <u>classe 4</u> (merece atenção imediata). <u>Duração máxima = 18 min</u> (menor tempo – dorso).</p> <p><u>Momento fletor coluna</u> = $d_x \cdot (P_{ST} \cdot g) = (1,41m - 0,83132m) \cdot (20,11N) = \mathbf{11,64N \cdot m}$</p>	

Quadro E.10. Análise OWAS (OWS) dos ST A, E e J.

Continuação do Quadro E.10.

ST analisado	Medidas e análise de postura (sistema OWAS)
	<p align="center"><u>Aparador E</u></p> <p><u>Medidas:</u> Massa ST: (P_{ST}) = 3,90kg Massa na balança (P_{med}): (P_{med}) = 38,00kg D_{CG} = 830,97mm</p>
<p align="center"><u>Análise OWAS de postura do aparador E</u></p> <p><u>Dorso:</u> reto e torcido (3); $t = 20\%$ de 3 horas = <u>36 min</u> <u>Braços:</u> dois braços para baixo (1); $t = 100\%$ de 3 horas = <u>180 min</u> <u>Pernas:</u> deslocamento com pernas (6); $t = 20\%$ de 3 horas = <u>36 min</u> <u>Carga:</u> até <u>10kg</u> (1).</p> <p><u>3161.</u> Pela Tabela 6.3 (Iida, 2005, p.169) a postura tem classe 1 (postura normal). <u>Duração máxima</u> = <u>36 min</u> (menor tempo – dorso e pernas).</p> <p><u>Momento fletor coluna</u> = $d_x \cdot (P_{ST} \cdot g) = (0,928m - 0,83097m) \cdot (38,26N) = \mathbf{3,71N \cdot m}$</p>	

Continuação do Quadro E.10.

ST analisado	Medidas e análise de postura (sistema OWAS)
	<p style="text-align: center;"><u>Rocadeira J</u></p> <p><u>Medidas:</u> Massa ST: (P_{ST}) = 5,50kg Massa na balança (P_{med}): (P_{med}) = 38,40kg D_{CG} = 824,42mm</p>
<p style="text-align: center;"><u>Análise OWAS de postura da rocadeira J</u></p> <p><u>Dorso:</u> reto (1); $t = 100\%$ de 3 horas = <u>180 min</u> <u>Braços:</u> dois braços para baixo (1); $t = 100\%$ de 3 horas = <u>180 min</u> <u>Pernas:</u> deslocamento com pernas (6); $t = 20\%$ de 3 horas = <u>36 min</u> <u>Carga:</u> até 10kg (1).</p> <p><u>1161.</u> Pela Tabela 6.3 (Iida, 2005, p.169) a postura tem classe 1 (postura normal). <u>Duração máxima = 36 min</u> (menor tempo – pernas).</p> <p><u>Momento fletor coluna</u> = $d_x \cdot (P_{ST} \cdot g) = (1,002m - 0,82442m) \cdot (53,95N) = \mathbf{9,58N \cdot m}$</p>	

A primeira coluna do Quadro E.10 mostra a imagem do conjunto “usuário + ST”, na prancha, com os dados das medições. Abaixo de cada imagem, há a análise de postura pelo sistema OWAS (OWC, Quadro 4.12, e OWD, Quadro 4.13) e o cálculo do momento fletor na coluna vertebral do usuário. O momento fletor foi calculado utilizando a força gerada pela massa do ST (massa dele multiplicada pela aceleração gravitacional) e a distância resultante, no eixo X, entre o centro de gravidade do ST⁴⁶ diminuída da posição do CG do conjunto (d_{cg}).

A partir da análise do Quadro E.10, e considerando somente os aspectos ergonômicos, é recomendável o uso do ST A por 18 minutos, com uma pausa de cinco minutos por ciclo, mesmo que o equipamento tenha resistência mecânica superior ao tempo sugerido de uso contínuo.

⁴⁶ A distância do CG do ST foi obtida a partir da marcação do CG dele na imagem, utilizando regra de três, em relação à escala de medida do prumo, mostrada na Fig. F.4, como referência.

Já os ST E e J permitem tempo de uso contínuo de 36 minutos por ciclo. Por isso, recomenda-se melhorar a distribuição de massa do aparador A e do ST a ser projetado, a fim de reduzir a distância entre o seu centro de gravidade e do centro de gravidade do usuário, para reduzir os esforços. Os resultados foram inseridos na base de dados (BD), para orientar novos projetos similares de ST, sob a ótica da ergonomia.

Para analisar o desempenho do ST, na atividade 2.6, foi avaliada a solicitação de ER (SER), quanto aos pedidos de análises específicas de desempenho. Como não houve pedidos destes, foram avaliadas as condições típicas de uso do ST, os parâmetros de desempenho citados no manual de instruções (MIN), e a ocorrência dos modos de falha do ST relacionados aos aspectos técnicos (quadro CST).

Para tal, foi elaborado o roteiro de testes de desempenho (RTD)⁴⁷, mostrado no Quadro E.11, de onde foram definidos os equipamentos dos testes de desempenho (ETD).

Aspectos a serem testados no ST	Variáveis relacionadas	Por que testar tal variável?	Como testar?	Quem participa?	Equipamentos dos testes de desempenho (ETD)
Modo de falha: queima do motor elétrico por superaquecimento	Rotação do motor elétrico	O arrefecimento do motor elétrico é realizado pela rotação das aletas da tampa do rotor de corte (quanto maior a rotação, maior a eficiência da exaustão)	Medir a frequência do motor elétrico ou a rotação das pás	Equipe de ER, pesquisadores do Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA - EMC/UFSC)	01 microfone e 01 acelerômetro (emprestados do LVA - EMC/UFSC)
	Temperatura do motor elétrico	Visa avaliar se, em condições normais de uso, a temperatura do motor elétrico se eleva demasiadamente	Instalando termômetros ou termopares no motor elétrico	Equipe de ER, profissionais do Laboratório de Ciências Térmicas (LabTermo - EMC/UFSC)	01 termopar fixado no motor elétrico do ST A, conectado num termômetro
	Tensão de entrada no motor elétrico	Segundo alguns profissionais de assistência técnica, houveram casos de motores elétricos queimados pela variação da tensão de entrada do motor, proveniente do uso de extensões elétricas mais compridas e de bitola mais fina que a especificada	Medir a tensão de entrada do motor elétrico durante o uso e comparar com a tensão da rede em Santa Catarina (220V)	Equipe de ER	01 multímetro conectado nos fios de entrada do motor elétrico do aparador

Quadro E.11. Roteiro de testes de desempenho (RTD) do ST A.

⁴⁷ O RTD parte das recomendações de uso do ST no manual de instruções (MIN), das normas técnicas de operação do ST (NOS, Quadro. 4.11), dos tipos de testes solicitados na SER (quando forem definidos), bem como dos elementos de caracterização do ST no quadro CST (Quadro F.7) e dos usuários (CTU, Quadro F.4).

Continuação do Quadro E.11.

Aspectos a serem testados no ST	Variáveis relacionadas	Por que testar tal variável?	Como testar?	Quem participa?	Equipamentos dos testes de desempenho (ETD)
Condições não recomendadas: remover a capa inferior de proteção do ST	Raio de corte do aparador aumentado (de 120mm para 200mm)	De acordo com profissionais de assistência técnica e a observação dos usuários do ST A, é removida a capa inferior para aumentar o raio de corte da grama. Mas é preciso avaliar se isto aumenta o desempenho de corte em relação ao ST original, ou apenas aumenta o risco de danos ao motor. Testes de rotação e temperatura devem ser repetidos.	Remover a capa inferior e utilizar o aparador	Equipe de ER	Chave de fenda, câmera fotográfica, termopar, acelerômetro e microfone
	Quantidade de sujeira (fragmentos) que entra no compartim. do motor elétrico	Ao remover a capa inferior de proteção, é permitida a entrada de fragmentos (sujeira) no compartimento do motor elétrico. Isto pode trancar o motor e impede a circulação de ar em tal compartimento, prejudicando o arrefecimento	Remover a capa inferior e utilizar o aparador conforme observado. Depois, são removidas as capas laterais de proteção para observar as consequências.	Equipe de ER	Chave de fenda, câmera fotográfica, termopar, acelerômetro e microfone

Conforme notado no Quadro E.11, foram avaliados dois aspectos do ST A: modo de falha da queima do motor por superaquecimento; e as condições não recomendadas de uso do ST, pela remoção da capa inferior de proteção. Cada aspecto foi desdobrado em variáveis mensuráveis e seus equipamentos de teste de desempenho (ETD).

A rotação do motor foi medida em duas situações: rotação máxima com motor sem carga (o manual indica 10500 rpm); e a variação de rotação durante instantes de corte da grama, para verificar se a rotação diminui muito devido à demanda de energia no corte, para avaliar a eficiência das aletas de arrefecimento que dependem da rotação do motor. Em paralelo, foram previstas medições de temperatura do motor, em sessões de uso do ST, conforme mostra o Quadro E.12.

Nas medições de temperatura, foi utilizado um termômetro digital Omega HH21⁴⁸, com resolução de 0,1 °C, ligado num termopar com fios de cobre, conector tipo T. O termopar foi fixado no dissipador de calor do motor elétrico do aparador, com fita. Foram propostos três ciclos de uso do aparador, onde cada ciclo teve 15 minutos de uso contínuo, recomendado nas análises de ergonomia, com cinco minutos de repouso.

⁴⁸ Termômetro gentilmente emprestado pelo técnico Edevaldo, do Labtermo (EMC/UFSC). As informações técnicas do termômetro estão no sítio do fabricante: <www.omega.com/ppt/pptsc.asp?ref=HH21_22_23&nav=tcm104>.

Condição	Medição	Uso
Temperatura inicial	24,2 °C	Normal, recomendado pelo manual de instruções (MIN)
Após um ciclo de 15 minutos	33,9 °C	
Após um ciclo de 15 minutos	36,6 °C	
Após um ciclo de 15 minutos	41,4 °C	
Após um ciclo de 10 minutos	52,1 °C	Não recomendado (sem a capa inferior)

Quadro E.12. Medições de temperatura do motor do aparador A.

Pode-se notar no Quadro E.12 que a temperatura do motor foi crescendo até estabilizar próxima a 40 °C. Provavelmente se manteria assim se for adotado esse ritmo, pois no tempo de repouso há o arrefecimento do motor por convecção.

Nas medições de rotação do motor elétrico, houve o apoio de pesquisadores do Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA, EMC/UFSC), por intermédio do Prof. Arcanjo Lenzi. Conforme mostra a Fig. E.5, foram utilizados um acelerômetro e um microfone, que mediram simultaneamente a frequência do motor do aparador em Hz e rpm.



Figura E.5. Equipamentos de medição de rotação do motor.

Já a Fig. E.6 apresenta o esquema de ligação dos equipamentos de medição de rotação do motor elétrico do ST A.

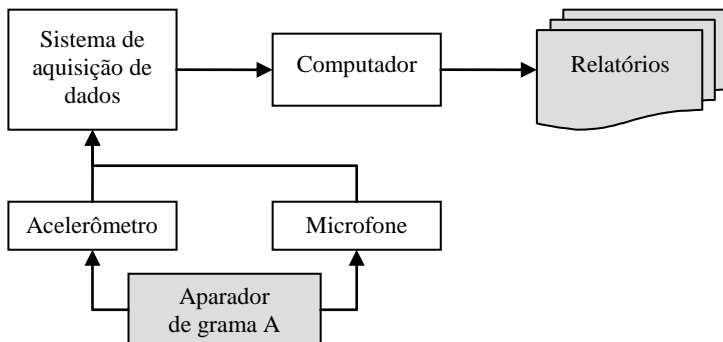


Figura E.6. Esquema de ligação dos equipamentos de medição de rotação do motor elétrico do ST A.

A Fig. E.7 apresenta o resultado das medições do acelerômetro sobre a rotação do motor elétrico do aparador A, onde foram analisados dados de rotação (rpm) e de aceleração (vibração em m/s^2), em duas situações: motor sem carga (linha mais clara, verde) e aparador cortando grama (variando carga, linha azul, mais escura).

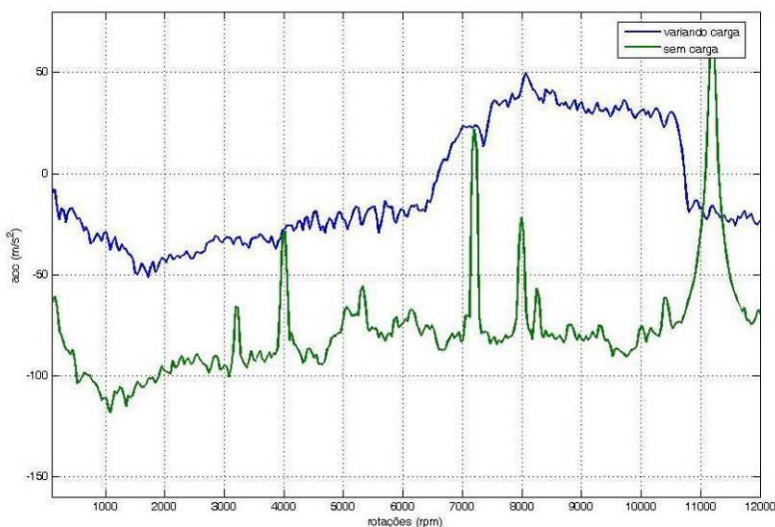


Figura E.7. Resultados da medição de rotação do motor do aparador, obtida pelo acelerômetro.

Pode ser notado na Fig. E.7 que a rotação, em situação de corte, diminuiu de 12000 rpm (máxima, com motor sem carga) para a faixa de 4000 a 6000 rpm, pois nesta faixa de rotação a vibração se manteve estável. Mesmo com a queda na rotação, pode ser notada a eficiência das aletas de arrefecimento do motor, conforme o Quadro E.12. Pode ser dito que o aparador A tem desempenho adequado, onde a queima do motor deverá ocorrer mais pelo mal-uso do que por falhas de projeto, apesar das deficiências técnicas e ergonômicas identificadas.

Neste sentido, a equipe de ER removeu a capa inferior de proteção e aumentou o comprimento do fio de *nylon* (raio de giro) para 200 mm. Isto foi feito para avaliar o uso do aparador nestas condições (vide Fig. E.8), que são comuns, apesar de caracterizadas como mal-uso.



a) Sujeira na capa lateral do motor



b) Imagem da sujeira no motor

Figura E.8. Contaminação do compartimento do motor do aparador ao operar por dez minutos sem a capa inferior de proteção.

Pode ser notado na Fig. E.8 que, sem a capa inferior de proteção houve acesso de sujeira ao motor elétrico do aparador, a qual é formada por fragmentos de grama seca cortada e terra. A sujeira se acumulou no motor elétrico e também nos respiros das capas laterais do motor (parte a, na Fig. E.8), o que prejudicou ainda mais o arrefecimento do motor. Pode ser notado que a remoção da capa é realmente um fator de risco para ocasionar a queima do motor elétrico por superaquecimento.

Nesta operação inadequada do aparador sem a capa inferior, foi notado aumento da temperatura do motor, antes estabilizado em 40 graus Celsius no Quadro E.12, para 52 graus Celsius, em apenas dez minutos de operação ininterrupta. Isto sugere que o sistema de arrefecimento é adequado somente com a capa de proteção inferior, pois canaliza o ar das aletas ao motor e ainda evita o acesso de sujeira.

Em geral, os resultados obtidos nos testes foram inseridos no quadro de avaliação de desempenho do ST (ADS), no Quadro E.13.

<i>Parâmetros de desempenho</i>	<i>Unidade</i>	<i>Valor citado no manual</i>	<i>Valor medido no teste</i>
Rotação do motor elétrico	rpm	10500 (máx.)	12000 (máx.)
Temperatura do motor elétrico	° C	Não informado	40° C (máxima estabilizada)
Aceleração (vibração) do aparador A em uso normal (variando carga, cortar grama de 100mm de altura)	m/s ²	Não informado	-50 a +50 (Fig. E.6)

<i>Avaliação preliminar das condições de operação do ST, recomendadas pelo manual de instruções do ST</i>
Postura e esforços do operador: as análises de ergonomia mostram que a postura do usuário está inadequada no ST A, pois o dorso fica torcido e inclinado para manter o rotor de corte paralelo ao solo. O usuário necessita sustentar e manobrar o ST ao longo do tempo de uso, o que gera cansaço, considerando ainda que os apoios manuais e o centro de gravidade do ST estão distantes da coluna vertebral do usuário, causando significativo momento fletor e cansaço
Segurança de operação do ST: no manual de instruções do ST A, são sugeridos os equipamentos de proteção individual (EPI) necessários à operação segura do ST A. No próprio ST A, existem capas de proteção contra objetos que podem ser lançados no operador durante o uso do ST, bem como para promover o isolamento elétrico do ST, evitando choques
Cansaço do usuário: causado pela postura inadequada, para pessoas maiores de 1,70m de estatura, pela necessidade de o usuário sustentar e manobrar o ST A durante todo o tempo de uso, e pelas vibrações do ST A durante o corte da grama
Lesões geradas no usuário: mesmo utilizando todos os EPI recomendados no manual, são geradas lesões nas articulações dos membros superiores (cotovelos, ombros e mãos) pela vibração do ST A durante o uso. São geradas dores nas costas e ombros pela sustentação do ST e pelo momento fletor na coluna vertebral do usuário, pois o centro de gravidade do ST A é afastado da coluna vertebral

<i>Condições típicas de uso não recomendado do ST (citadas por profissionais de assistência técnica)</i>	<i>Efeito(s) do uso não recomendado</i>	<i>Observações</i>
Remoção da capa inferior de proteção para aumentar o raio de corte do aparador	Aumento da demanda de potência do motor elétrico	
	Prejudica o arrefecimento do motor elétrico (o ar deixa de ser direcionado, pela capa, ao compartimento do motor)	
	Perde a proteção ao usuário	
Uso de extensão elétrica com bitola inferior (1,5mm ²) àquela sugerida no manual (2,5mm ²)	Aumento da resistência elétrica, queima o motor	

<i>Impressões sobre a ocorrência, os efeitos e as causas dos modos de falha do ST</i>	<i>Ocorrência [S/N]</i>	<i>Efeito do modo de falha</i>	<i>Causa do modo de falha</i>
Queima do motor elétrico por superaquecimento	Não	Queima do motor elétrico	Superaquece por remoção da capa inferior
Parada de operação por ergonomia deficiente	Sim	Lesões e cansaço no usuário	Projeto de ergonomia inadequado

Quadro E.13. Quadro de avaliação de desempenho do ST A (ADS).

As informações do quadro ADS (Quadro E.13) e os demais resultados obtidos foram armazenados na base de dados da organização, e auxiliaram na elaboração das recomendações de projeção dos novos ST similares. Também foram limpos: o ST A e os equipamentos de teste (ETD) utilizados. Alguns ETD foram devolvidos e outros armazenados.






Tendo sido concluída a análise de desempenho do ST, é iniciada a atividade 2.7, identificação das soluções de projeto. Para o propósito da tese, esta é a principal atividade da sistemática de ER, pois nela são identificadas as funções, os princípios de solução, o arranjo físico do ST e as características dos componentes, a partir da desmontagem do ST, com base no procedimento *SOP* (Otto e Wood, 2001, p.161, 205).

De acordo com o escopo do *projeto* de ER, foi realizada uma análise física completa do ST A, considerando todos os componentes e as análises de ER desta atividade. Para tal, foram sugeridos os seguintes equipamentos de desmontagem (EDM): paquímetro, câmera fotográfica, trena, balança, multímetro, chave de fenda média e alicate médio.

O sentido de desmontagem foi de cima para baixo, e a sequência de desmontagem do ST foi dos componentes externos para os internos. Disto foi iniciada a desmontagem do ST A, conforme o procedimento *SOP*, em todos os 26 componentes, de forma individual, utilizando a estrutura de informações mostrada no quadro SID (Quadro E.14).

Foram identificadas 46 funções dos componentes do aparador A, das quais algumas estão representadas do quadro SID (Quadro E.14). Destas, 33 são funções primárias (A), que influenciam diretamente na qualidade do corte da grama, e 13 funções secundárias (B), que apoiam as funções primárias.

Ao finalizar as análises individuais com todos os componentes do ST A, utilizando o procedimento *SOP*, o ST A foi todo desmontado, e os componentes posicionados em vista explodida, para ser fotografado com os recursos audiovisuais (RAV). Foram identificados os códigos definitivos dos componentes, para o quadro SID, a partir da VES. O ST A permaneceu desmontado, para ser analisado fisicamente pelos profissionais da organização, conforme a necessidade.

Informações da lista de materiais (BOM – Bill of Materials)						Informações do procedimento SOP				
Código	Imagem do componente	Nome do componente	Materiais e dimensões	Quantid.	Massa unitária [g]	Efeitos da remoção	Sequência de desmontagem	Funções associadas	Import.	Tipo
26		Parafuso 4 x 20mm	Aço 1020	06	1,42	- Má fixação do punho direito (25); Obs.: o anel trava e a mão do usuário compensam.	-	Fixar o punho direito no punho esquerdo	B	U
25		Punho direito	Plástico PE/ 235 x 110 x 15mm	01	57,06	- Má fixação do tubo (15) e sustentação do ST deficiente; - Má fixação do botão de acionamento (23); - Corte da grama prejudicado; - Exposição de cabos elétricos (risco de choque elétrico).	26,14	- Permitir apoio da mão do usuário para suportar e manobrar o aparador; - Fixar o tubo de sustentação; - Fixar o botão de acionamento; - Proteger o usuário de choques elétricos; - Melhorar acabamento	A	U
24		Cabo elétrico com plug 2 x 1 x 320mm	Diversos	01	41,02	- Não permite a passagem de energia para o motor (10); - Não aciona motor; - ST não corta grama.	26, 14, 25	- Captar energia elétrica da tomada; - Transmitir energia elétrica para o motor.	A	U
23		Botão de acionamento	Diversos/ 47 x 29 x 15 mm	01	18,54	- Não permite a passagem de energia para o motor (10); - Não aciona motor; - ST não corta grama.	26, 14, 25, 24, 21	- Transmitir energia elétrica para o motor; - Proteger o usuário de choques elétricos; - Acionar o motor.	A	U
22		Punho esquerdo	Plástico PE/ 235 x 110 x 25 mm	01	63,59	- Perde a fixação do tubo (15), pois tem guias internas; - Sustentação defic.; - Perde a fixação do botão (23); - Corte da grama prejudicado; - Exposição de cabos elétricos (risco de choque elétrico).	26, 14, 25, 24, 23	- Permitir apoio da mão do usuário para suportar e manobrar o aparador; - Fixar o tubo de sustentação; - Fixar o botão de acionamento; - Proteger o usuário de choques elétricos; - Melhorar acabamento	A	U

Quadro E.14. Informações da desmontagem (SID) do ST A.

A vista explodida do ST A é mostrada na Fig. E.9.

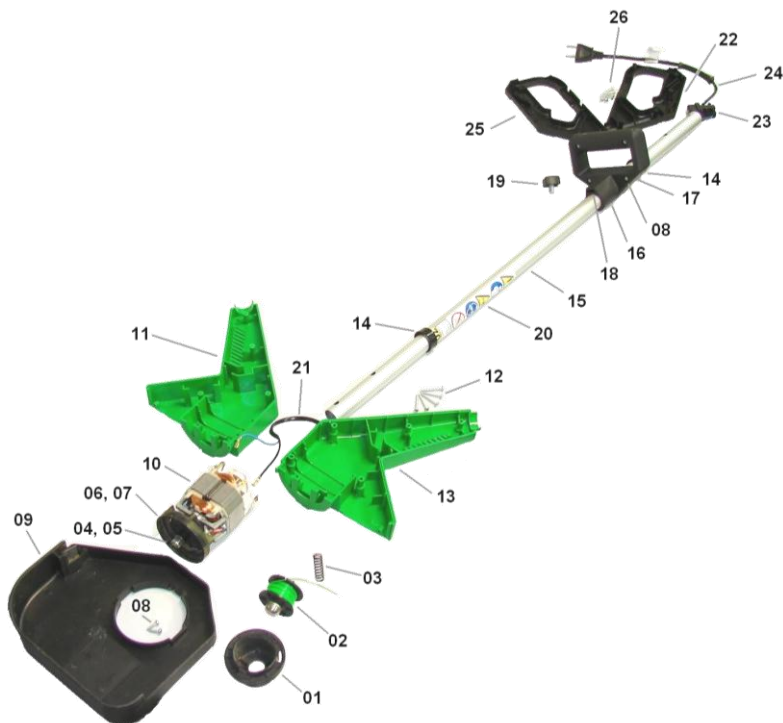



Figura E.9. Vista explodida do ST A.

Na sequência, foram identificados os princípios de solução do ST A. Por exemplo, no quadro SID, o componente AGD-001_023 (botão de acionamento, mostrado no Quadro E.1) tem três funções: transmitir energia elétrica para o motor; proteger o usuário de choques elétricos; e acionar o motor. Destas, a função principal subjetivamente selecionada foi “acionar o motor”, pois é o propósito do componente no aparador A.

A Fig. E.10 ilustra o procedimento de identificação dos princípios de solução. Conforme visto no Quadro E.1, a descrição do componente AGD-001_023 (botão de acionamento) é: “botão de acionamento do motor elétrico, com retorno por mola helicoidal. Enquanto pressionado, fecha contato elétrico que transmite a energia elétrica entre os cabos. Não possui trava, necessita ser pressionado durante toda a operação de corte”.

Quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID)										
Informações da lista de materiais (BOM – Bill of Materials)					Informações do procedimento SOP					
Código	Imagem do componente	Nome do componente	Materiais e dimensões	Quant.	Massa unitária [g]	Efeitos da remoção	Seqüência de desmontagem	Funções associadas	Import.	Tipo
23		Botão de acionamento	Diversos/ 47 x 29 x 15 mm	01	18,54	- Não permite a passagem de energia para o motor elétrico; - Não aciona o motor elétrico; - ST não corta a grama.	26, 14, 25, 24, 21	- Transmitir energia elétrica para o motor; - Proteger o usuário de choques elétricos; - Acionar o motor.	A	U

Consulta aos princípios de solução cadastrados na base de dados, para a função **ACIONAR** (dentre as três funções, é a função mais importante do componente AGD-001_023)

O princípio de solução cujo funcionamento tem maior similaridade com o componente avaliado (AGD-001_023 – botão de acionamento) é o princípio PS 18.02, ilustrado ao lado.




<i>Código do PS:</i>	18.01
<i>Nome do PS:</i>	Chave liga-desliga (com trava)
<i>Descrição do PS:</i>	Botão que aciona o ST e só permite duas posições: liga ou desliga. Mantém o botão travado na posição que o usuário deixou
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	Elétrico, contato elétrico
<i>ST relacionadas:</i>	AGD-002
<i>Funções relacionadas:</i>	F.17. Transmitir energia elétrica F.18. Acionar F.21. Isolar
<i>Componentes relacionados:</i>	AGD-002_011
<i>Código do PS:</i>	18.02
<i>Nome do PS:</i>	Botão sem trava
<i>Descrição do PS:</i>	Botão que aciona o ST mas não mantém o botão travado na posição que o usuário deixou (retorna à posição de origem). Obriga o usuário mantê-lo pressionado durante a operação do ST. Geralmente adotado em botões do tipo gatilho
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	Elétrico, contato elétrico
<i>ST relacionadas:</i>	AGD-001
<i>Funções relacionadas:</i>	F.17. Transmitir energia elétrica F.18. Acionar F.21. Isolar
<i>Componentes relacionados:</i>	AGD-001_023
<i>Código do PS:</i>	18.03
<i>Nome do PS:</i>	Sem botão (ligação direta)
<i>Descrição do PS:</i>	Acionamento direto, sem interruptores
<i>Imagem do PS:</i>	
<i>Efeito relacionado ao PS</i>	
<i>ST relacionadas:</i>	PCV-001
<i>Funções relacionadas:</i>	F.18. Acionar
<i>Componentes relacionados:</i>	

Figura E.10. Exemplo de identificação do princípio de solução do componente AGD-001_023 (botão de acionamento).




Como mostra a Fig. F.10, a partir da descrição do componente, foram consultados os princípios de solução nas planilhas do Apêndice D cujo funcionamento fossem similares (vide o Quadro D.3) ao princípio descrito no componente. Neste exemplo, foi encontrado o princípio de solução 18.02 (botão sem trava), que tem a seguinte descrição: “botão que aciona o ST mas não mantém o botão travado acionado (retorna à posição de origem). Obriga o usuário mantê-lo pressionado durante a operação do ST. Geralmente adotado em botões do tipo gatilho”.

Como foi encontrado um princípio de solução similar (vide o exemplo da Fig. E.10), este é vinculado ao componente sob análise e, ao mesmo tempo, tal componente é vinculado ao princípio de solução. No terceiro passo, o funcionamento e a função “acionar” foram comparados com os efeitos físicos do quadro TEF (Quadro 4.14), de onde foram identificados efeitos de natureza mecânica (mola = material + forma) e elétrica (Coulomb I⁴⁹).

Além dos catálogos de efeitos do Apêndice B, foi utilizado o quadro AIP (Quadro E.15) para registrar os resultados do terceiro passo, a partir das informações dos componentes (quadro SID). Como pode ser notado no quadro AIP, foi considerada a função principal de cada componente (sublinhada), a partir do quadro SID (Quadro E.14), e foram ainda identificados os portadores do efeito (partes do componente onde os efeitos estão inseridos) nos componentes do ST para tal função. Tal procedimento foi repetido para todos os componentes do ST A.




Assim, foi notado que a identificação dos princípios de solução dos componentes é um processo de avaliação da similaridade entre o funcionamento dos PS e dos componentes. Na sequência, foi realizada a atividade 2.9, representar a concepção do ST analisado, onde foram vinculadas as funções do ST sob análise aos princípios de solução identificados. Esta representação se torna uma referência para a geração de concepções dos ST similares a serem desenvolvidos na organização.

⁴⁹ No Quadro B.3, do Apêndice B, Fiod Neto (1993, p.301) propõe os efeitos da função “ligar”, similar à função “acionar” abordada neste estudo do ST A. Foi identificado o efeito “Coulomb I”, para o princípio “impermeabilidade de campos de força.”

Código	Nome do componente	Imagem do componente	Funções	Efeitos físicos	Portador do efeito	Princípio de solução
AGD-001_026	Parafuso 4 x 20mm		- <u>Fixar o punho direito no punho esquerdo</u>	<u>Mecânico</u> (atrito) + forma	Rosca do parafuso	14.03 (parafuso)
AGD-001_024	Cabo elétrico com plug 2 x 1 x 320mm		- <u>Captar energia elétrica da tomada;</u> - Transmitir energia elétrica para o motor.	<u>Mecânico</u> (forma); e <u>Elétrico</u> (Coulomb I)	Pinos e fios da tomada que captam a energia elétrica da rede de distribuição	16.01 (tomada com fio)
AGD-001_023	Botão de acionamento		- Transmitir energia elétrica para o motor; - Proteger o usuário de choques elétricos; - <u>Acionar o motor.</u>	<u>Mecânico</u> (mola = material + forma); e <u>Elétrico</u> (Coulomb I)	<u>Mecânico</u> : mola <u>Elétrico</u> : contatos elétricos que se encostam quando o botão é pressionado	18.02 (botão sem trava)

Quadro E.15. Quadro de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST A (AIP).

Para tal representação, foi utilizada a matriz morfológica (MMF), conforme ilustrado no Quadro E.16.

Funções	<i>Princípios de solução</i>		
Fixar o punho direito no punho esquerdo	 <i>14.03 Parafuso</i>		
Captar energia elétrica da tomada	 <i>16.01 Tomada com fio</i>		
Acionar o motor	 <i>18.02 Botão sem trava</i>		
<i>Função n (F_n):</i>	<i>PS 01</i>	<i>PS 02</i>	<i>PS 03</i>

Quadro E.16. Visão parcial da matriz morfológica do aparador avaliado (MMF).

A partir do preenchimento da MMF, foram combinados os princípios de solução que representam a concepção do ST sob análise. Isto se torna útil quando são comparados os princípios de solução do ST avaliado com os PS dos ST similares, para cada função identificada, visando identificar as tecnologias obsoletas e as tendências tecnológicas dos ST do mercado pretendido.

Conforme mostrado no Quadro STC (Quadro E.3), os aparadores possuem configurações similares, portanto o ST A não está obsoleto em relação aos concorrentes diretos. Entretanto, devem ser introduzidas inovações no novo aparador, que aumentem a eficiência, o conforto e a segurança de operação, sem aumentar muito o preço, para aumentar a atratividade comercial dele. Algumas destas inovações foram sugeridas na atividade 3.1, da terceira fase, conforme será mostrado na próxima seção.

E.3. FASE 3. ORIENTAÇÕES PARA A PROJETAÇÃO

Na terceira fase, foram sugeridas orientações para a projeção dos novos ST similares, as quais são mostradas no Quadro E.17.

Entradas	Recomendações
Solicitação de ER (SER)	Mesmo sendo de uma análise integral, a partir de um mercado pretendido (sem especificar qual ST a ser avaliado), foi possível definir com precisão o perfil dos ST similares, e disso selecionar o ST de referência para ser estudado. A SER deste projeto pode servir de exemplo para as demais análises integrais de ER.
Plano do projeto de ER	Por ser uma análise integral de ER, envolvendo praticamente todas as atividades propostas na sistemática de ER, foi necessário definir com precisão o cronograma e os custos do projeto de ER, para que a execução dele seja viável.
Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU)	- Considerando a diversidade do perfil dos usuários deste tipo de ST, as informações do ST A parecem adequadas, tanto no manual de instruções quanto no próprio ST A, pela facilidade de operação e manutenção dele. Porém, é preciso avaliar as condições de interação usuário-ST, pois o usuário sustenta e manobra o ST durante o uso, podendo cansá-lo e lesioná-lo.
Manual de instruções do ST (MIN)	- Elaborar ilustrações de montagem e de uso do ST, para evitar condições de mal-uso, devido às limitações de tempo e de condições físicas do usuário (cansaço e lesões); - Ilustrar as aplicações típicas coerentes do aparador (o que pode ou não ser feito), pois os usuários geralmente retiram ou modificam componentes do aparador para aumentar o rendimento dele, mesmo sacrificando a segurança de uso.
Matriz preço-valor (MPV)	Identificar o que será avaliado no ST, com o peso de cada critério, a partir dos atributos do ciclo de vida (quadro ABC) e das necessidades dos clientes: sugere-se a realização de entrevistas com os potenciais clientes envolvidos com o ST. Neste projeto , foi assim realizado, sendo um exemplo para os novos projetos integrais de ER.
Quadro de análise das condições de recebimento do ST (CRS)	Por ser um ST simples e relativamente compacto, já foi entregue montado e regulado, conforme exposto na loja. A embalagem (saco plástico) protegia apenas o manual de instruções, deixando o aparador sujeito aos impactos e riscos do transporte (após aquisição). O manual de instruções é completo, tem ilustrações de uso e de manutenção, e informa a rede de assistência técnica. As peças estão bem encaixadas.
Quadro de caracterização dos sistemas técnicos (CST)	As especificações de projeto do aparador estão no quadro CST, e são mostradas no quadro ESS (Quadro E.18).

Quadro E.17. Recomendações de projeção dos ST (RTP), baseada na análise de ER do aparador A.

Continuação do Quadro E.17.

Entradas	Recomendações
Dados e análise das condições de interface usuário-ST	<ul style="list-style-type: none"> - Estudar um novo arranjo físico para o novo aparador, onde não é recomendado posicionar o motor na parte inferior, junto ao sistema de corte (como foi observado no ST A). Sugere-se um arranjo similar àquele do ST E, com motor na parte superior e corte na parte inferior, para que o centro de massa do ST fique alinhado à coluna vertebral do usuário, reduzindo o momento fletor gerado na coluna (diminui o cansaço e os riscos de lesões na coluna); - Apesar da falta de conveniência, sugere-se manter o botão de acionamento sem a trava, para evitar o risco de acidentes com a máquina operando sem controle e com o botão travado (caso de algum mal súbito do usuário). Porém, deve ser diminuído o esforço de acionamento do botão; - Estudar a instalação de rodinhas (com sentido livre de giro), para sustentar o aparador durante o uso, tornando a operação do ST mais confortável e sem riscos significativos à coluna.
Quadro de avaliação de desempenho do ST (ADS)	<ul style="list-style-type: none"> - Apesar da falta de conveniência, sugere-se manter o botão de acionamento sem a trava, para evitar o risco de danos ao motor (principalmente elétrico) por superaquecimento, caso o usuário esqueça o aparador ligado (em movimento); - O sistema de arrefecimento do motor (principalmente elétrico) não deve ser dependente da rotação do motor, pois terá pouca eficiência em operações pesadas que reduzam a rotação (e a eficiência do arrefecimento); - Aumentar a eficiência e a faixa de corte do aparador: é um desejo do usuário (remove a capa inferior para aumentar a faixa de corte, mesmo comprometendo a segurança); - Inserir um sistema de proteção contra queima do motor (se for elétrico), que o desligue temporariamente caso haja variação da tensão de entrada por uso de extensões muito compridas e com fios de bitola menor àquela sugerida; - Se for usado fio de nylon como lâmina de corte, adotar carretel com duas lâminas contrapostas, para aumentar a eficiência de corte e favorecer o balanceamento do sistema de corte, que reduz as vibrações (aumenta o conforto).
Quadro de informações da desmontagem (SID)	<ul style="list-style-type: none"> - Por ser um aparador simplificado e de menor custo, foram reduzidos os custos de produção: tem poucos componentes, boa proporção de integração de funções nos componentes (principalmente de plástico injetado) e facilidade de montagem. Assim, é sugerido reduzir a quantidade de componentes e de processos de montagem no novo ST; - Apesar da simplificação do ST A, muitas funções dele tem significativa importância para apoiar a operação de corte da grama, o que deve ser observado no novo aparador; - Muitos componentes do ST A foram criados para uma família de aparadores do fabricante do ST A, reduzindo os custos de produção e montagem, e o preço. Sugere-se inserir conceitos de projeto para a montagem (DFA) e modularidade no novo ST, pensando numa família de aparadores.

Continuação do Quadro E.17.

Entradas	Recomendações
Princípios de solução dos componentes do ST	- Foram sugeridos novos princípios de solução para as funções existentes na base de dados; - Estimular ainda mais os profissionais da organização quanto à inserção de novos princípios de solução que possam ser utilizados nos projetos dos novos ST. A mesma sugestão vale para os efeitos, no catálogo de efeitos.
Matriz morfológica (MMF)	- Ao comparar os princípios de solução das funções mais significativas do aparador A com os PS dos ST similares no mercado (há poucas mudanças entre eles), foi notado que os ST diretamente concorrentes são similares. Portanto, o novo aparador pode usar tais soluções como referência, desde que não confronte as recomendações anteriormente listadas.

Conforme citado no Quadro E.17, é necessário expor alguns parâmetros técnicos do ST avaliados, dos quais alguns podem se tornar referências iniciais de especificações técnicas para o novo aparador a ser desenvolvido. Estas podem ser vistas no quadro ESS (Quadro E.18), que é baseado nas informações do manual de instruções do ST (MIN), no quadro de caracterização do ST (CST, Quadro E.7) e no quadro de avaliação de desempenho do ST avaliado (ADS, Quadro E.13).

Especificação de projeto	Unidade	Quantidade
Potência do motor elétrico	W	700
Rotação máxima do motor elétrico	rpm	10500 (nominal) 12000 (medida)
Diâmetro (faixa) de corte do aparador	mm	240
Temperatura do motor elétrico durante o uso	°C	40 (estabilizada)
Vibração do aparador (medido na capa externa)	m/s ²	-50 a +50
Número de lâminas ativas (fios de nylon)	Unidade	1
Massa total do aparador A	kg	2,50

Quadro E.18. Quadro com as especificações de projeto para os ST similares àquele analisado na ER (ESS).

Pode ser notado que o quadro ESS (Quadro E.18) se assemelha intencionalmente com a lista de especificações técnicas gerada ao final da fase de projeto informacional, a fim de auxiliar os projetistas. As demais recomendações, de acordo com o escopo do *projeto* de ER e a SER, são inseridas no quadro com recomendações de *projeto* dos ST (RPS, Quadro E.19).

	Categoria de análise	Subsistema do ST	Recomendações de <i>projeto</i> do ST
1	Materiais	Todo o ST	Estudar materiais recicláveis para as capas externas do aparador, sobretudo plástico (se for injetado, pode agregar as funções de outros componentes).
2	Funções do ST	Todo o ST	Priorizar as funções de corte (grama) e segurança do usuário, mas considerar as funções: proteger o motor do superaquecimento e favorecer a ergonomia (apoiar e movimentar o ST). Ambas as funções estão relacionadas aos principais modos de falha dos aparadores domésticos.
3	Operação, uso	Segurança, todo o ST	Informar o usuário das condições adequadas de uso do aparador, para evitar situações de mal-uso. Sugerir equipamentos de proteção individual (EPI).
4	Operação, uso	Segurança, todo o ST	Disponibilizar procedimentos de interrupção emergencial da operação, durante incidentes ou acidentes, e informar o usuário destes processos.
5	Operação, uso	Manual de instruções e embalagem	Informar o usuário quanto aos procedimentos de manutenção do aparador, bem como os pontos de assistência técnica autorizados.

Quadro E.19. Quadro com recomendações de *projeto* dos ST (RPS).

Por exemplo, uma recomendação de priorização de funções de um aparador de grama pode ser assim inserida no quadro RPS:

Categoria de análise: funções do ST;

Subsistema do ST: todos;

Recomendação: priorizar as funções de corte (grama) e segurança do usuário, mas considerar as funções: proteger o motor do superaquecimento e favorecer a ergonomia (apoiar e movimentar o ST). Ambas as funções estão relacionadas aos principais modos de falha dos aparadores domésticos.

Além destas recomendações, podem ser sugeridas recomendações de projeto para a montagem (*DFA, Design for Assembly*), vide Andreasen *et alii.* (1988). Disto, parte-se para a atividade 3.2, encerrar o *projeto* de ER. Os resultados obtidos são inseridos no relatório do *projeto* de ER, e alguns na base de dados, onde os documentos (catálogos, imagens e arquivos eletrônicos) são arquivados na pasta do *projeto* de ER. Os profissionais credenciados podem consultar os documentos, sendo assim encerrado o *projeto* de ER.

APÊNDICE F. ANÁLISE FÍSICA PARCIAL DE ER: COMPRESSOR

É aqui apresentado um projeto parcial de ER, com a análise das soluções de projeto de um compressor compacto selecionado no Quadro 5.1. O mesmo estudo foi utilizado na avaliação da sistemática de ER e da base de dados (BD), conforme mostrado no quinto capítulo. Serviu de referência para comparar os resultados obtidos no referido processo de avaliação. O Quadro F.1 mostra a solicitação de engenharia reversa.

Nome da organização	Projeto:
<i>Nome do solicitante:</i> Gerson Silva	<i>Matrícula:</i> 0035
<i>Setor:</i> Projetos – compressores	<i>Telefone:</i> Ramal 218
<i>E-mail:</i> gerson.silva@xxxxxx.com.br	<i>Data:</i> 22/11/2010
<i>Descrição e justificativa da solicitação de ER</i>	
<u>Descrição e justificativa da solicitação:</u> Estudo completo das soluções de projeto do compressor compacto C1, para comparar com as soluções de um compressor da empresa, a ser aperfeiçoado	
<u>Origem da solicitação</u> (setor, atividade do PDP): Projetos, conceitos	
<u>Nicho(s) de mercado de interesse:</u> Compressores compactos de aplicação residencial e automotiva	
<i>Projeto(s) relacionado(s):</i> compressor médio para pintura CP-001	

Quadro F.1. Solicitação de ER (SER) do estudo do compressor.

Conforme a SER (Quadro F.1), o **projeto** de ER realizou a identificação das soluções de projeto do compressor compacto C1, para comparar com as soluções do compressor médio de pintura, modelo CP-001, a ser aperfeiçoado na organização.

F1. FASE 1. PLANEJAMENTO DO PROJETO DE ER

Em termos do escopo do **projeto** de ER, é uma análise física parcial, que visa obter informações sobre as soluções de projeto de um ST definido na SER. Segundo o escopo e o quadro ASA (Quadro 4.2), serão realizadas estas atividades: 1.2 (definir o cronograma do **projeto** de ER); 1.3 (definir o orçamento do **projeto** de ER); 1.4 (elaborar o plano do **projeto** de ER); 2.3 (caracterizar o ST selecionado e obtido); 2.7 (identificar as soluções de projeto); e 3.1 (recomendações para a projeção dos ST).

Foi então definido o cronograma do **projeto** de ER, a partir das atividades de execução (fases 2 e 3 da sistemática, citadas no escopo), para uma equipe multifuncional de três profissionais. A duração das atividades (total de dois dias úteis) foi estimada a partir da experiência da equipe de ER. Já o orçamento do **projeto** de ER foi estimado a partir do cronograma, considerando os custos operacionais da execução do **projeto** de ER: horas de trabalho dos profissionais internos e custo de utilização dos recursos físicos necessários. Foi ainda adicionado o custo de aquisição do ST a ser avaliado (sugerido na SER).

O plano do **projeto** de ER agrupou tais resultados num texto, que foi avaliado e aprovado pela coordenação da organização, autorizando a execução do **projeto**.

F2. FASE 2. ANÁLISE DO SISTEMA TÉCNICO

Na caracterização do ST, primeiro são obtidas imagens externas do ST, com recursos áudio visuais (RAV), como mostra o Quadro F.2. Na sequência, são avaliadas as condições iniciais de recebimento do ST.



Quadro F.2. Imagens externas do compressor.


As imagens externas mostram que no conjunto há um compressor elétrico, um fio de 2,5 m de comprimento com tomada automotiva 12V, e uma mangueira de 370 mm de comprimento e bico conector, onde são acoplados os bicos pneumáticos. Também mostra a embalagem do ST. As condições de recebimento do ST estão no quadro CRS (Quadro F.3).

Critérios	Elementos de avaliação
Embalagem do ST	Tipo de embalagem: (<input checked="" type="checkbox"/>) caixa; () saco; () nenhuma; () outra: _____
	Material: Papelão
	Suportes internos da embalagem: () isopor; () papelão; (<input checked="" type="checkbox"/>) nenhum; () outro: ____
	Nível de proteção do ST pela embalagem: () total; (<input checked="" type="checkbox"/>) parcial; () baixo; () nenhum
	Facilidade de transporte: (<input checked="" type="checkbox"/>) tamanho adequado? [S/N]; (<input checked="" type="checkbox"/>) seguro? [S/N]; (<input checked="" type="checkbox"/>) ergonomia adequada? [S/N]
Manual de instruções	Idiomas: (<input checked="" type="checkbox"/>) português; () espanhol; () inglês
	Detalhamento: () excessivo; (<input checked="" type="checkbox"/>) adequado; () superficial
	Possui guia rápido com instruções de uso [S/N]: (<input checked="" type="checkbox"/>)
	Informações sobre uso seguro do ST [S/N]: (<input checked="" type="checkbox"/>)
Informações presentes no ST para o uso adequado	Uso seguro do ST [S/N]? (<input checked="" type="checkbox"/>)
	Recomendações para evitar mal-uso [S/N]? (<input checked="" type="checkbox"/>)
	Informações colocadas em elementos que não deterioraram com o uso [S/N]? (<input checked="" type="checkbox"/>)
Asseio (limpeza) do ST	Asseio (limpeza) do ST: () empoeirado; () engraxado; (<input checked="" type="checkbox"/>) limpo; () riscado
Montagem e regulagem	Nível de montagem necessária do ST para uso: (<input checked="" type="checkbox"/>) total; () parcial/subsistemas; () nenhuma
	Nível de regulagem necessária do ST para uso: () bastante; () pouco; (<input checked="" type="checkbox"/>) nenhuma
Acessórios e ferramentas fornecidas com o ST	Equipamentos necessários à montagem do ST: () adequado; () insuficiente; (<input checked="" type="checkbox"/>) nenhum
	Equipamentos necessários à regulagem do ST: () adequado; () insuficiente; (<input checked="" type="checkbox"/>) nenhum

Quadro F.3. Quadro de análise das condições gerais de recebimento do compressor (CRS).

Com o preenchimento do quadro CRS, podem ser comparadas as condições de recebimento do compressor obtido com os compressores da organização a serem aperfeiçoados (vide Quadro F.1), para orientar as ações comerciais e técnicas (PDP) que melhorem a aceitação comercial e o desempenho técnico dos novos ST da organização.

Além do quadro CRS, é preenchido o quadro CST (Quadro F.4). Nele, o ST selecionado é caracterizado com base nos resultados da entrevista realizada com os usuários potenciais e os profissionais de assistência técnica dos ST candidatos. Neste caso, foram consultados os profissionais de assistência técnica e os vendedores especializados.

Marca / modelo	Imagem externa do ST	Principais especificações técnicas do ST	Principais modos de falha do ST	Principais modos de interação externa do ST
Marca: Powner – Modelo: Mini		<p><u>Pressão máxima:</u> 250 psi; 17,2 bar; 1724 kPa</p> <p><u>Tensão:</u> 12V/DC</p> <p><u>Corrente:</u> 10A</p> <p><u>Tempo de uso:</u> Máximo 10 minutos (com pausas de 30 minutos)</p> <p><u>Massa total:</u> 536g</p>	<p>- Superaquecimento com queima do motor: exceder o tempo de uso ininterrupto máximo (10 minutos), sem respeitar as pausas de descanso (30 minutos);</p> <p>- Superaquecimento com queima do motor: pressão de trabalho acima da recomendada no manual do ST.</p>	<p><u>Outros ST:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Conexão da tomada do compressor na tomada 12V/DC do veículo; - Conexão do bico da mangueira do compressor no bico pneumático do ST que será inflado. <p><u>Usuário:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Conectar a tomada do compressor na tomada 12V/DC do veículo; - Conectar o bico da mangueira do compressor no bico pneumático do ST que será inflado; - Verificar a pressão de trabalho e o tempo de uso. <p><u>Meio ambiente:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aquecimento da carcaça (pouco aumento da temperatura do ambiente).

Quadro F.4. Caracterização do compressor selecionado (CST).



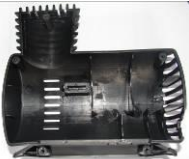




No Quadro F.5, apesar de não ter sido solicitado, no escopo e na SER, a identificação dos modos de falha e de interação externa entre o ST com outros ST, usuário e meio ambiente, tais informações auxiliam

na contextualização da análise das soluções internas do compressor, identificadas durante a desmontagem do ST. Todas as informações obtidas na atividade 2.3 são inseridas na base de dados (BD) da organização e podem ser consultadas pelos profissionais internos. É assim encerrada a atividade 2.3, para seguir com a atividade 2.7, identificação das soluções internas do ST, mostrada no item que segue.

A atividade 2.7 é a principal atividade do modelo, pois nela são identificadas as soluções de projeto do ST, a partir da desmontagem do ST. Foram considerados: o arranjo físico, as funções, os princípios de solução e as características de todos os componentes do compressor.





Antes da desmontagem, é planejada a sequência de desmontagem dos componentes (da parte externa para a interna) e foram definidos os equipamentos para a desmontagem (EDM) e análise: chave Philips, régua graduada, balança com precisão de 1g e alicate médio, além dos recursos áudio visuais (RAV). A desmontagem do ST ocorreu com base no *SOP* (Otto e Wood, 2001, p.161, 205), onde cada componente do ST é removido e analisado individualmente.

Os resultados obtidos são registrados no quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID), visto no Quadro F.5.

Quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID)										
Informações da lista de materiais (BOM – Bill of Materials)						Informações do procedimento SOP				
Código	Imagem do componente	Nome do componente	Materiais e dimensões	Quantid.	Massa unitária [g]	Efeitos da remoção	Sequência de desmontagem	Funções associadas	Import.	Tipo
01		Parafuso externo de fixação	Aço SAE 1020 – M2 x 14mm	05	1 g	- Má fixação das capas externas; - Má fixação dos componentes internos (motor e compressor).	-	- Fixar as capas externas.	B	U
02		Capa frontal do compressor	Plástico PP – 137 x 118 x 35mm	01	52 g	- Má fixação dos componentes internos (motor e compressor); - Redução da proteção dos componentes internos de choques e sujeira; - Remoção do isolamento elétrico (risco de choque); - Redução do isolamento acústico.	01	- Fixar os componentes internos (motor e compressor); - Proteger os componentes internos de choques e sujeira; - Proteger o usuário de choques elétricos; - Reduzir o ruído do sistema de compressão.	A	U
03		Capa traseira do compressor (possui adesivo com instruções)	Plástico PP – 137 x 118 x 35mm	01	53g	- Má fixação dos componentes internos (motor e compressor); - Redução da proteção dos componentes internos de choques e sujeira; - Remoção do isolamento elétrico (risco de choque); - Redução do isolamento acústico; - Remoção das informações sobre o uso adequado do compressor.	01, 02	- Fixar os componentes internos (motor e compressor); - Proteger os componentes internos de choques e sujeira; - Proteger o usuário de choques elétricos; - Reduzir o ruído do sistema de compressão; - Informar o usuário quanto ao uso adequado do compressor.	A	U
04		Cabo de alimentação elétrica	Diversos – 2 x 1,5 mm ² x 2,5m	01	68g	- Motor do compressor não aciona; - Não transmite energia entre a tomada 12V DC do veículo e o motor elétrico.	01, 02, 03	- Acionar o motor elétrico do compressor; - Transmitir energia entre a tomada 12V DC do veículo e o motor elétrico	A	U
05		Parafuso de fixação do conjunto de transmissão do compressor	Aço SAE 1020 – M2 x 8mm	02	1g	- Prejudica a fixação do sistema de transmissão ao motor.	01, 02, 03	- Fixar o sistema de transmissão ao motor.	A	U
06		Motor elétrico (120W)	Diversos – Ø36 x 66mm	01	158g	- Compressor não aciona.	01, 02, 03, 04, 05	- Acionar o compressor.	A	U
07		Sistema de transmissão	Diversos – 48 x 48 x 51mm	01	54g	- Transmissão de rotação do motor para o compressor prejudicada ou nula; - Compressor não aciona; - Risco de dano ao compressor e ao sistema de transmissão.	01, 02, 03, 05, 08, 09, 10	- Transmitir a rotação do motor para o compressor; - Ampliar o torque do motor elétrico para acionar o compressor.	A	U

Quadro F.5. Quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID).

Continuação do Quadro F.5.

Quadro de sistematização das informações da desmontagem técnica (SID)										
Informações da lista de materiais (BOM – Bill of Materials)						Informações do procedimento SOP				
Código	Imagem do componente	Nome do componente	Materiais e dimensões	Quantid.	Massa unitária [g]	Efeitos da remoção	Sequência de desmontagem	Funções associadas	Import.	Tipo
08		Parafuso de fixação da camisa do pistão do compressor	Aço SAE 1020 – M4 x 38mm	02	3g	- Perda da fixação da camisa do pistão do compressor; - Não é possível comprimir o ar, pois a camisa do pistão fica livre.	01, 02, 03,	- Fixar a camisa do pistão do compressor; - Alinhar a camisa do pistão do compressor em relação à base do sistema de compressão.	A	U
09		Conjunto mangueira e manômetro	Diversos – mangueira de Ø12 x 370mm, manômetro de Ø50 x 95mm x 22mm	01	121g	- Não informa a pressão de ar do compressor; - Não permite o direcionamento do ar comprimido para os bicos pneumáticos; - Aumento do ruído do compressor; - Não há proteção da câmara de compressão contra contaminação.	01, 02, 03, 08, 10	- Informar a pressão de ar do compressor; - Direcionar o ar comprimido para os bicos pneumáticos; - Diminuir o ruído do compressor.	A	U
10		Camisa do pistão	Aço SAE 1020 – Ø18 x 25mm	01	11g	- Pistão não tem guia para movimento linear; - Pistão não comprime o ar.	01, 02, 03, 08, 09	- Comprimir o ar; - Orientar o movimento linear do pistão.		
11		Conjunto pistão-biela	Aço SAE 1020 – Ø15 x 42mm	01	14g	- Não comprime o ar na saída da mangueira.	01, 02, 03, 08, 09, 10, 07	- Comprimir o ar.	A	U

Total = 17 536g

Conforme o quadro SID (Quadro F.5), o compressor tem 11 componentes, de onde foram identificadas 19 funções. Após as análises individuais com os componentes, foi feita a desmontagem completa, para posicionar os componentes em vista explodida e fotografar, como ilustra a Fig. F.1. A partir dos códigos dos componentes, na vista explodida e no quadro SID, são anexadas etiquetas nos componentes, pois o ST permanece desmontado para ser analisado pelos profissionais internos, sobretudo projetistas.



Figura F.1. Vista explodida do compressor analisado.

Na sequência, são identificados os princípios de solução (PS) dos componentes do compressor. A busca por princípios de funcionamento priorizou a função principal (propósito) do componente, considerando as relações de identificação entre o material, energia e fluxos de sinal, bem como a geometria⁵⁰ e os sistemas associados ao componente.

⁵⁰ Vide aspectos de geometria em Pahl *et alii.* (2007, p.95).

Assim, foi inicialmente identificada a função mais importante de cada componente no quadro SID (Quadro F.5). Num segundo momento, foi analisado o princípio de funcionamento do componente, deduzido a partir das funções e do efeito da remoção do componente. No terceiro passo, tal funcionamento foi comparado com os principais efeitos físicos do quadro TEF (Quadro 4.14), quanto à similaridade de ambos.



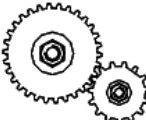

Como apoio ao terceiro passo, pode ser utilizada a estrutura AIP, vista no Quadro F.6, a partir de informações dos componentes do ST, no quadro SID (Quadro F.5). Para exemplificar foram mostrados alguns componentes do compressor avaliado.

Código	Nome do componente	Imagem do componente	Funções	Efeitos físicos	Portador do efeito	Princípio de solução
01	Parafuso externo de fixação		Fixar as capas externas	Mecânico (atrito); forma	Rosca do parafuso	14.03 (parafuso)
06	Motor elétrico (120W)		Acionar o compressor	Mecânico (inércia); elétrica (eletrodinâmica); magnética (eletromagnética)	Rotor e estator do motor	Rotor magnético (motor elétrico ou gerador)
07	Sistema de transmissão		Transmitir a rotação do motor para o compressor	Mecânico (atrito e inércia); forma	Engrenagem e volante de inércia	Engrenagem; e disco de inércia
			Ampliar o torque do motor elétrico para acionar o compressor			
11	Conjunto pistão-biela		Comprimir o ar	Mecânico (atrito e inércia); forma	Pistão	Compressão por pistão*

Quadro F.6. Estrutura de apoio à identificação dos princípios de solução dos componentes do ST (AIP).

Conforme notado no quadro AIP (Quadro F.6), cada componente foi avaliado a partir das funções, de onde são avaliados os efeitos físicos (no Quadro 4.14) e os portadores do efeito (elementos do componente onde os efeitos são inseridos). Disto, a equipe de ER comparou as informações dos efeitos e portadores de efeitos dos componentes, do Quadro F.6, com a descrição dos PS disponíveis da base de dados (BD, Apêndice E), vinculados às funções. Assim, foram identificados os PS que mais bem representam o funcionamento do componente, para cada função do compressor avaliado.

Na sequência, foi representada a concepção do ST avaliado, com base nos resultados do quadro AIP (Quadro F.6), onde foi utilizada a matriz morfológica (MMF), como parcialmente ilustra o Quadro F.7.

Funções	Princípios de solução		
Fixar as capas externas	 14.03 Parafuso		
Acionar o compressor	 06.01. Rotor magnético (motor elétrico ou gerador)		
Transmitir a rotação do motor para o compressor	 15.05 Engrenagem		
Comprimir o ar	 31.01. Compressão por pistão		
Função n (F_n):	PS 01	PS 02	PS 03

Quadro F.7. Visão parcial da matriz morfológica do compressor avaliado (MMF).

Com o preenchimento da MMF (Quadro F.7), foi realizada a combinação dos princípios de solução que representam a concepção do ST sob análise. Estas informações da MMF são registradas no relatório do *projeto* de ER, e na BD, as quais ficam disponíveis, favorecendo a geração das concepções do ST, bem como a definição das necessidades e especificações dos novos ST, dados de dimensões, entre outras. Com isto, a atividade 2.7 se encerrou, para iniciar a terceira fase.

F.3. FASE 3. ORIENTAÇÕES PARA A PROJETAÇÃO

A atividade 3.1, recomendações para a projeção dos ST, visa auxiliar a execução das atividades de projeção dos novos ST da organização, a partir da execução do **projeto** atual de ER (lições aprendidas) e dos resultados das atividades da fase 2 do modelo de ER. Tais recomendações são vistas no Quadro F.8.

Entradas	Recomendações
Quadro de características dos usuários potenciais do ST e as condições de uso do ST (CTU)	Por ser um compressor simples, que não envolve condições críticas de interação entre usuário-ST, não há sugestões de adequação física para os usuários.
Manual de instruções do ST (MIN)	- Elaborar ilustrações de montagem, e de uso do ST, para evitar condições de mal-uso, devido às limitações de tempo e de pressão de funcionamento; - Ilustrar as aplicações típicas coerentes do compressor (o que pode ou não ser feito), pois o manual e a embalagem indicam aplicações que o compressor claramente não satisfaz.
Quadro de análise das condições de recebimento do ST (CRS)	Por ser um compressor simples e compacto, já foi entregue montado e regulado. A embalagem, de papelão, protegeu bem o compressor e os acessórios. O manual de instruções não é completo: deve ter ilustrações de uso, indicar procedimentos de manutenção, e informar a rede de assistência técnica.
Quadro de caracterização dos sistemas técnicos (CST)	Devido ao fato do compressor compacto ser direcionado para outro mercado, não é necessário citar as especificações de projeto (ESS) do compressor. Mas elas estão no quadro CST.
Quadro de informações da desmontagem (SID)	Por ser um compressor simplificado e de baixo custo, foi projetado para reduzir os custos de produção: tem poucos componentes, boa proporção de integração de funções nos componentes (principalmente de plástico injetado) e facilidade de montagem. Assim, é sugerido integrar ⁵¹ os componentes do compressor de pintura, para reduzir a quantidade de componentes e de processos de montagem.
Princípios de solução dos componentes do ST	Foram sugeridos novos princípios de solução para as funções existentes na base de dados. É o caso do PS “compressão por pistão” (vide o Quadro F.7), que também é utilizado no compressor de pintura a ser aperfeiçoado.
Matriz morfológica (MMF)	Foi observado que os princípios de solução do compressor compacto são similares aos PS do compressor de pintura a ser aperfeiçoado. Portanto, foram notadas poucas mudanças entre eles, em termos de princípios de solução, mas significativas mudanças em termos de materiais e formas que podem reduzir o custo final do compressor de pintura.

Quadro F.8. Recomendações de projeção dos ST (RTP), baseada na análise de ER do compressor.

⁵¹ Para integrar pares de componentes, é avaliada a necessidade de movimento relativo entre eles e a necessidade de elaboração de ambos em materiais diferentes.

As demais recomendações, de acordo com o escopo do **projeto** de ER em questão e a SER, são inseridas no quadro com recomendações de **projeto** dos ST (RPS, Quadro F.9).

	Categoria de análise	Subsistema do ST	Recomendações de projeto do ST
1	Materiais	Todo o ST	Estudar materiais recicláveis para as capas externas do compressor, sobretudo plástico (se for injetado, pode agregar as funções de outros componentes).
2	Materiais	Reservatório de ar	Avaliar a elaboração do reservatório de ar em material plástico, visando favorecer a reciclagem e a montagem, baixando o custo e a massa da peça.
3	Operação, uso	Sistema de compressão	Prever meios de proteção da integridade do sistema de compressão, em usos por tempo prolongado.
4	Operação, uso	Interface (medidores)	Informar as condições adequadas de pressão do compressor (nominal e máxima), cujo grafismo do manômetro de ter fácil leitura e compreensão.
5	Operação, uso	Segurança, todo o ST	Informar o usuário das condições adequadas de uso do compressor, para evitar situações de mal-uso. Sugerir equipamentos de proteção individual (EPI).
6	Operação, uso	Segurança, todo o ST	Disponibilizar procedimentos de interrupção emergencial da operação, durante incidentes ou acidentes, e informar o usuário destes processos.
7	Operação, uso	Manual de instruções e embalagem	Informar o usuário quanto aos procedimentos de manutenção do compressor, bem como os pontos de assistência técnica autorizados.

Quadro F.9. Quadro com recomendações de **projeto** dos ST (RPS).

No quadro RPS (Quadro F.9), cada recomendação é identificada pela categoria e subsistema do ST relacionado. Com isto, os projetistas podem consultar diretamente as recomendações de interesse, a respeito de um subsistema específico do ST, ao invés de procurar as recomendações numa lista. Além destas recomendações, podem ser sugeridas recomendações de projeto para a montagem (*DFA, Design for Assembly*), vide *Andreasen et alii.* (1988).

Disto, parte-se para a atividade 3.2, encerrar o **projeto** de ER. Os resultados obtidos nas atividades executadas são inseridos no relatório do **projeto** de ER, e alguns na base de dados, onde os documentos (catálogos, imagens e arquivos eletrônicos) são arquivados na pasta do **projeto** de ER. Os profissionais da organização credenciados podem consultar estes documentos, sendo assim encerrado o **projeto** de ER.

APÊNDICE G. QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

No Quadro G.1 é apresentado o questionário de avaliação da sistemática de ER e da estrutura da base de dados, citados no capítulo 5.

Quadro G.1. Questionário de avaliação.

Participante/empresa:		
Questões	Respostas (notas): escala de 0 (não atende) a 10 (atende totalmente)	O que falta para atender totalmente?
1	O método auxilia na identificação e descrição das funções e princípios de solução dos objetos físicos?	
2	A sistemática e a base de dados (BD) permitem a comparação de dados, funções e princípios de solução de diversos sistemas técnicos?	
3	Foi notado se a estrutura da BD permite a inserção de funções e de princípios de solução de qualquer área de conhecimento?	
4	A sistemática e a BD podem ser adequadas à realidade de cada organização?	
5	A sistemática e a BD permitem a inserção de informações de outras fases do PDP (além do projeto conceitual)?	
6	A sistemática e a BD estão adequadas ao contexto da fase de projeto conceitual?	
7	Na sua percepção, a sistemática e a BD podem ser facilmente modificadas?	
8	A sistemática e a BD se mostram de forma clara e objetivas, no âmbito da ER?	
9	Os meios de apoio e ferramentas auxiliam significativamente as atividades de ER?	
10	O detalhamento do processo de ER está adequado para uma sistemática de referência?	