

Fernando Luiz Biesek

Modelo para integração das áreas de conhecimento de Projeto e Manufatura por intermédio do MRL (Manufacturing Readiness Level) e do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) na fase de desenvolvimento de tecnologia de produto.

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira.

Coorientador: Prof. Dr. Regis Kovacs Scalice.

Joinville
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Biesek, Fernando Luiz

Modelo para integração das áreas de conhecimento de Projeto e Manufatura por intermédio do MRL (Manufacturing Readiness Level) e do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) na fase de desenvolvimento de tecnologia de produto / Fernando Luiz Biesek ; orientador, Cristiano Vasconcellos Ferreira, coorientador, Regis Kovacs Scalice, 2018. 150 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas, Joinville, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia e Ciências Mecânicas. 2. MRL. 3. DFMA. 4. Avaliação de Maturidade. 5. Engenharia Simultânea. I. Vasconcellos Ferreira, Cristiano. II. Kovacs Scalice, Regis. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas. IV. Título.

Fernando Luiz Biesek

Modelo para integração das áreas de conhecimento de Projeto e Manufatura por intermédio do MRL (Manufacturing Readiness Level) e do DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) na fase de desenvolvimento de tecnologia de produto.

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Joinville, 07de Março de 2018.

Prof. Breno Salgado Barra, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Cristiano Vasconcellos Ferreira, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Regis Kovacs Scalice, Dr.
Coorientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Carlos Maurício Sacchelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. André Marcon Zanatta, Dr.
Institutos SENAI de Inovação

Prof. Pedro Paulo de Andrade Júnior, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado minha esposa
Carolina, meus filhos Bernardo (*in
memoriam*), Fernando e Manuela e aos
meus pais.

AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente minha esposa Carolina Pinheiro Biesek pela compreensão, apoio e parceria.

Aos meus pais Valdomiro Luiz Biesek (*in memoriam*) e Odila Salete Debona Biesek pelas diretrizes e exemplos de vida.

Ao professor e orientador Cristiano V. Ferreira, pelo suporte e incentivo ao trabalho.

Ao professor e coorientador Regis Kovacs Scalice, pelas sugestões e dicas.

A Whirlpool S.A- Unidade Compressores Embraco na pessoa de Sergio Luiz Maganhoto pelo incentivo ao meu desenvolvimento profissional.

A equipe de desenvolvimento de produtos que contribuiu com participação e validação do material

À UFSC, pela oportunidade de realizar este mestrado.

“A simplicidade é o último grau da
sofisticação”
Leonardo da Vinci

RESUMO

O processo de desenvolvimento de produtos (Product development process; PDP) é complexo. Para muitas empresas que competem no cenário internacional é um importante fator para conseguir vantagens competitivas. Neste contexto as empresas têm reorganizado seus processos de um caminho sequencial para um caminho integrado conhecido como engenharia simultânea, cujo objetivo final é reduzir tempo e custos de desenvolvimento. Este trabalho tem por objetivo propor um modelo que busca melhorar o emprego da engenharia simultânea por meio da integração das áreas de conhecimento de projeto e manufatura baseada nos conceitos de Manufacturing Readiness Level (Nível de Maturidade da Manufatura; MRL), Design for Manufacturing and Assembly (Projeto para Manufatura e Montagem; DFMA) e Technology Readiness Level (Nível de Maturidade de Tecnologia; TRL). Nesta dissertação será apresentada uma revisão bibliográfica sobre MRL, TRL, DFMA e PDP, além de um estudo preliminar do modelo a ser proposto em projeto conduzido ao longo de 1 ano onde foi possível aplicar algumas matrizes de DFMA que forneceram subsídios para posterior elaboração da sistemática proposta. Portanto baseado na revisão bibliográfica e no estudo preliminar é proposto o um modelo de sistemática que consiste em uma sequência de atividades e ferramentas para serem aplicadas nos estágios iniciais do desenvolvimento de produtos visando integrar os processos de desenvolvimento de produto e manufatura. Para avaliar este modelo realizou-se um workshop em uma empresa multinacional do setor metal mecânico envolvendo profissionais que trabalham em desenvolvimento de produtos. Os resultados obtidos mostram que a proposta melhora a integração das áreas de engenharia propostas dentro de um processo de desenvolvimento de produto em seus estágios iniciais, refletidos em uma redução do custo do produto de 20% e 25% em investimentos em manufatura, que estão relacionados principalmente com redução de 33% no número de peças além das mudanças nos conceitos de união e fabricação de componentes. Também ficou comprovada a efetividade do modelo como uma ferramenta de trabalho e modelo referência.

Palavras-chave: MRL, DFMA, Avaliação de maturidade, Engenharia Simultânea.

ABSTRACT

The product development process (PDP) is highly complex. For many companies competing in the international scenario is an important factor to achieve competitive advantage. In this context companies have reorganized their processes from a sequential to an integrated path known as simultaneous engineering, whose final objective is to reduce development time and costs. This paper aims to propose a model that look for improve the use of simultaneous engineering by integrating the areas of project and manufacturing knowledge based on the concepts of Manufacturing Readiness Level (MRL), Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) and Tecnology Readiness Level (TRL). In this dissertation will be presented a bibliographic review on MRL,TRL; DFMA and PDP, in addition a preliminary study of the proposed model conducted over 1 year where was possible to apply some matrices of DFMA that provided subsidies for later elaboration of the systematic proposal. Therefore, based on the literature review and the preliminary study, a model of a systematic approach that consists in a sequence of activities and tools to be applied in the early stages of product development aiming integrate product and manufacturing development processes. To evaluate this model, a workshop was realized in a multinational metalworking company involving professionals that work in product development environment. The results show that the proposal improves the integration of the proposed engineering areas into a product development process in its initial stages, reflected by a 20% of product cost reduction and 25% on manufacturing investments, which are mainly related to a 33% reduction in number of parts besides of changes in the concepts of union and component manufacturing. The effectiveness of the model was also proven as a working tool and reference model.

Keywords: MRL, DFMA, Maturity Evaluation, Concurrent Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos do trabalho acadêmico e suas saídas	30
Figura 2 - Framework colaborativo para projetos	32
Figura 3 - Processo de Desenvolvimento de Produto.....	33
Figura 4 - Visão geral da escala de maturidade de tecnologia	36
Figura 5 – História da evolução da TRL	36
Figura 6 - P&D Pre Competitivo na Indústria Aeronáutica	37
Figura 7 – Ciclo de vida das aquisições	38
Figura 8 - Matriz de riscos tecnológicos (TRAA).....	44
Figura 9 – Etapas do DFMA segundo método de Lucas.....	47
Figura 10 – Fluxo de análise funcional	48
Figura 11 – Fluxo de análise funcional	56
Figura 12 – Matriz de avaliação DFA	59
Figura 13 – Matriz de avaliação DFM	62
Figura 14 – Exemplo de aplicação da matriz DFM.....	63
Figura 15 – Matriz de evolução de maturidade	64
Figura 16 – Exemplo de aplicação de parte da Matriz DFA para a diretriz geral de manuseio.	65
Figura 17 – <i>Framework</i> do modelo proposto	71
Figura 18 – Representação das conexões entre o modelo proposto e modelos já conhecidos.	71
Figura 19 – Elementos representativos e simbologia da metodologia ..	72
Figura 20 – Fluxograma geral da metodologia.....	73
Figura 21 – Tarefas, entradas e saídas do SAT	75
Figura 22 – Modelo esquemático da tabela de classificação das tecnologias.....	77
Figura 23 – <i>Check list</i> de avaliação do SAT	79
Figura 24 – Tarefas, entradas e saídas do GAP.....	80
Figura 25 – Tarefas, entradas e saídas do RPC	82
Figura 26 – Tarefas, entradas e saídas do AEP	84
Figura 27 – Procedimento de avaliação	91
Figura 28 – Exemplos de componentes e indicações das regiões com necessidades de desenvolvimento de tecnologias.	96
Figura 29 – Itens não atendidos no check list SAT para a tecnologia B.	98
Figura 30 – Matriz TRAA com a classificação de riscos das tecnologias A e B	98
Figura 31 – Matriz de indicadores de performance DFMA.	100
Figura 32 – Matriz TRAA com a classificação de riscos dos subsistemas	101

Figura 33 – Matriz de indicadores de performance DFMA.....	103
Figura 34 – Matriz TRAA com a classificação de riscos dos subsistemas	104
Figura 35 – Matriz TRAA com a classificação de riscos dos subsistemas	105
Figura 36 – Avaliação atendimento da sistemática como ferramenta de trabalho	107
Figura 37 – Avaliação da contribuição da sistemática como ferramenta de trabalho para a empresa.....	108
Figura 38 – Avaliação da sistemática como modelo de referência	109
Figura 39 – Índices globais de avaliação da sistemática	112
Figura 40 – Método para realização da RBS	124
Figura 41 – Artigos e periódicos x e ano de publicação.	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Subgrupos similares	34
Quadro 2. Níveis e taxas de probabilidade e consequências das falhas.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Filtros e critérios de inclusão da pesquisa.....	29
Tabela 2 - Coeficientes para cálculo do fator de manuseio Z	50
Tabela 3 - Coeficientes para cálculo do fator de junção e união Z.....	51
Tabela 4 - Principais impactos no projeto e sua relação com os índices	66
Tabela 5 - Síntese do conhecimento e conexão com a metodologia	69
Tabela 6 - Critérios e questões de avaliação da sistemática como ferramenta de trabalho.....	87
Tabela 7 - Critérios de avaliação da sistemática como modelo de referência.....	89
Tabela 8 - Caracterização dos participantes	92
Tabela 9 - Níveis de investimentos para os processos de fabricação ..	101
Tabela 10 - Níveis de investimentos para os processos de fabricação e diferença nos custos do produto.	104
Tabela 11 - Índice de correlação entre respostas dos questionários	111
Tabela 12 - Critérios de inclusão da pesquisa.	124
Tabela 13 - Bases e logaritmos de busca.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEP – Avaliar a Escalabilidade do Projeto
ASR – Alternative System Review
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDR – Critical Design Review
CTE – Critical Technology Elements
DFA – Design for Assembly
DFM – Design for Manufacturing
DFMA – Design for Manufacture and Assembly
DoD – Department of Defense
ERM – Earned Readiness Management
GAO – Government Accountability Office
IMRL – Innovation Manufacturing Readiness Level
IRL – Integration Readiness Level
JDMTP – Joint Defense Manufacturing Technology Panel
MCRL – Manufacturing Capabilities Readiness Level
MOP – Measurement of Performance
MRL – Manufacturing Readiness Level
MTRL – Manufacturing Technology Readiness Level
NASA – National Aeronautics and Space Administration
OSD – Office of the Secretary of Defense
PCA – Physical Configuration Audit
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PDP – Processo de desenvolvimento de produtos
PDR – Preliminary Design Review
PRR – Production Readiness Review
PMBOK – Project Management Body of Knowledge
RBS – Revisão Bibliográfica Sistemática
RPC – Revisar o Projeto dos Componentes
SAT – Selecionar Alternativas de Tecnologia
GAP – Gerar Alternativas de Produto
SCRL – Supply Chain Readiness Level
SG – Stage Gate
SFR – System Functional Review
TNV – Technology Need Value
TR – Technical Review
TRRA – Technology Readiness and Risk Assessment

TRL – Tecnology Readiness Level
TRC – Technical Review Committee;
TSG – Tecnology Stage Gate

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	25
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 Objetivo Geral	26
1.2.2 Objetivos Específicos	26
1.3 JUSTIFICATIVA	27
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA	28
1.4.1 Estrutura da dissertação	30
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	31
2.2 NÍVEL DE MATURIDADE DE TECNOLOGIA (TRL) E NÍVEL DE MATURIDADE DE MANUFATURA (MRL).....	33
2.3 PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA).....	46
2.4 COMENTÁRIOS FINAIS.....	52
3. ESTUDO PRELIMINAR DO MODELO PROPOSTO	55
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	55
3.2 APRESENTAÇÃO DO MODELO A SER ESTUDADO.....	55
3.3 APLICAÇÃO DO MODELO.....	57
3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	65
4. MODELO PROPOSTO	69
4.1 BASE DA METODOLOGIA	69
4.2 DIRETRIZES PARA PROPOSIÇÃO DA METODOLOGIA	70
4.4 FASE DE DESENVOLVER TECNOLOGIA.....	74
4.5 FASE DE ANÁLISE DAS SOLUÇÕES.....	79
4.6 FASE DE DESENVOLVIMENTO AVANÇADO DE TECNOLOGIA.....	82
5 AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA	87

5.1 CRITÉRIOS E QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO	87
5.2 WORKSHOP.....	90
5.2.1 Procedimentos de Avaliação	90
5.2.2 Caracterização dos entrevistados	92
5.3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO	95
5.3.1 Nível 1 – Alternativas de tecnologia selecionadas	95
5.3.2 Nível 2- Alternativas de produto geradas	99
5.3.3 Nível 3- Projeto dos componentes revisado	102
5.3.4 Nível 4 – Escala do projeto avaliada	104
5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO WORKSHOP	106
5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
6. CONCLUSÃO	113
6.1. COMENTÁRIOS FINAIS.....	113
6.2. RECOMENDAÇÕES.....	115
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
8. APÊNDICES	123
9. ANEXOS	137

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) é geralmente complexo pois envolve conhecimentos multidisciplinares, (KARNIEL; REICH, 2011).

Um PDP estruturado é essencial para competitividade e sobrevivência em diversas indústrias e é composto de atividades multifuncionais em que cada uma é influenciada por muitos fatores internos e externos, (HADDAD et al ,2012). No que se refere ao PDP, muitas empresas que competem hoje no mercado internacional o consideram como um importante fator para conseguir vantagens competitivas, (VALLE e BUSTELO, 2009).

Para que um projeto seja bem sucedido é importante que as tecnologias que serão utilizadas nos seus produtos estejam maduras suficientes. Projetos de inovação possuem tecnologias que entram na categoria em que se é necessário a pesquisa e desenvolvimento. Um exemplo de tratativa para gerenciamento deste tipo de projetos é dado por MARXT et al (2004), que coloca que em um contexto de projetos inovadores, onde as tecnologias ainda não estão maduras, deve-se acrescentar ao PDP tradicional alguns estágios iniciais para finalização da tecnologia e confirmação de seu potencial comercial (produtos que a mesma pode gerar). Os autores propõem a inclusão destes estágios iniciais, que chamam de *Stage Gates* de tecnologia, os quais são agregados ao tradicional modelo de *Stage Gate* de Cooper (1993). No modelo de Cooper (1993) o desenvolvimento de novos produtos é organizado em uma lista de estágios predeterminados, com uma lista de atividades interfuncionais paralelas e *gates* para tomada de decisão (SILVA et al, 2012).

Considerando o processo de gestão da inovação, Alves (2009 *apud* Araújo 2017) cria uma categoria de inovação chamada de inovação tecnológica pré-competitiva, onde se busca a obtenção do domínio de uma empresa sobre determinadas tecnologias, que poderão, ser adotadas no desenvolvimento de novos produtos. Neste contexto, a avaliação da maturidade da tecnologia é importante, pois projetos que tenham baixa maturidade, necessitam de tempo para o desenvolvimento da mesma.

Para avaliar a maturidade de novas tecnologias, a Agencia Nacional Aeroespacial America (National Aerospace Spacial Agency; NASA) apresenta uma escala chamada de Technology Readiness Level (TRL), (MANKINS, 2009). Além disto o Departamento de Defesa

Norte Americano (Departamento de Defesa; DoD) apresenta uma escala denominada Manufacturing Readiness Level (MRL) que é uma escala para medir a maturidade das tecnologias de manufatura da mesma forma que a tecnologia de produto (OSD Manufacturing Technology Program, 2011).

Em um cenário industrial em que as empresas são afetadas pelo aumento da pressão global na busca por uma melhor competitividade, estas têm reorganizado seus processos de desenvolvimento de produtos de um caminho sequencial para um caminho integrado, conhecido como engenharia simultânea ou engenharia concorrente (VALLE e BUSTELLO, 2009), (DELOITTE, 2011).

A engenharia simultânea é uma abordagem sistemática para o projeto integrado e concorrente ou concomitante dos produtos e seus processos relativos, incluído manufatura e processos de suporte (ROMERO et al, 2010), que visa reduzir tempo e custos de desenvolvimento melhorando a qualidade e competitividade pela integração de diferentes áreas de conhecimento ao longo do ciclo de vida de produtos, sendo o Projeto para Manufatura e Montagem e Montagem (DFMA) uma das principais abordagens para se conseguir aplicar a CE, (TASSLOTI et al, 2016).

Neste cenário de busca de redução de tempo e custo de desenvolvimento de produtos, por meio da integração das áreas de conhecimento de projeto e manufatura, empregando-se ferramentas com TRL, MRL e DFMA é que ocorre o desenvolvimento deste trabalho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral propor um modelo para integração das áreas de conhecimento de projeto e manufatura, na fase de desenvolvimento de tecnologias de produto.

1.2.2 Objetivos Específicos

Considerando o escopo deste trabalho, constituem objetivos específicos:

- Estruturar o conhecimento sobre Nível de Maturidade de Manufatura (MRL), Nível de Maturidade de Tecnologia (TRL) e DFMA, por meio do levantamento do estado da arte.
- Avaliar matrizes estabelecidas com base no MRL, TRL e DFMA, para obter melhoria nos resultados de um projeto.
- Propor um modelo de sistemática para integração das áreas de conhecimento de projeto e manufatura por intermédio do emprego do MRL e do DFMA.
- Avaliar o modelo com um time multifuncional de projetos com experiência em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

1.3 JUSTIFICATIVA

Sabendo que para um projeto aumentar suas chances de sucesso é importante que as empresas usem a abordagem de engenharia simultânea em seus PDP's. Valle et al (2009) chegaram a conclusão que a execução de atividades de projeto sobrepostas, a integração de times interfuncionais e o trabalho em equipe afetam positivamente o PDP em termos de tempo para mudanças incrementais e em termos de custos para inovações radicais. Mudanças incrementais são alterações que ocorrem em produtos já existentes e as radicais em produtos novos com baixo grau de maturidade das tecnologias e que precisam de pesquisa e desenvolvimento.

Um PDP envolve um ciclo completo de desenvolvimento de produtos desde pesquisa e desenvolvimento até a implantação pode ser dividido em cinco fases chamadas de:

1. Pesquisa básica
2. Desenvolvimento tecnológico
3. Estudos conceituais
4. Projeto preliminar
5. Projeto detalhado e certificação de produtos.

As fases 1 e 2, que antecedem a macro fase de inovação de produto composta pelas fases 3, 4 e 5, são aonde ocorrem as pesquisas e os desenvolvimentos tecnológicos que poderão mais tarde resultar em produtos, sendo a fase 2 uma importante etapa denominada por Alves (2009 *apud* Araújo 2017) de inovação tecnológica pré-competitiva.

Neste contexto envolvendo a pesquisa básica e a inovação tecnológica pré-competitiva como elo para um bom projeto de produto é que se observam as principais justificativas para este trabalho, que são:

- Falta de integração das áreas de projeto e manufatura nas fases de pesquisa e desenvolvimento de produtos.
- Necessidade de métricas reais que ajudem a avaliar mais cedo possível as incertezas da pesquisa e desenvolvimento relacionadas a manufatura, como por exemplo o grau de dificuldade.
- Necessidade de ferramentas que possibilitem uma linguagem comum aos times de projeto e manufatura.
- Necessidade de ferramentas que permitam apresentar de forma clara informações de requisitos de projeto para manufatura e que seja possível medir a sua evolução ao longo das fases de maturidade.

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Pela classificação de pesquisas apresentada por Gil (2002), o trabalho de pesquisa aqui proposto é do tipo exploratório, uma vez que objetiva o aprimoramento de ideias.

A Figura 1 apresenta o roteiro de pesquisa, aonde se pode perceber que a pesquisa assumirá tanto a forma de revisão bibliográfica quanto de estudo preliminar do modelo, mais comuns nas pesquisas exploratórias.

A primeira etapa irá apresentar uma revisão bibliográfica da literatura mais aprofundada nos temas principais que envolvem avaliações de níveis de maturidade de projetos de manufatura e tecnologia e DFMA que são a base desta pesquisa, afim de identificar modelos de referência, base teórica e ferramentas que auxiliem a construção do trabalho.

Com objetivo de identificar na literatura alguma proposta ou modelo similar, foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) no dia 04 de julho de 2017 com o logaritmo de busca: TITLE-ABS-KEY ("manufacturing readiness level") OR TITLE-ABS-KEY ("readiness level model") AND TITLE-ABS-KEY ("product development") OR TITLE-ABS-KEY ("dfma"). A pesquisa considera os

últimos 10 anos de publicações nas bases de dados Scopus e Science Direct, com os filtros e critérios de inclusão mostrados na Tabela 1. Foram encontrados 5 documentos na Scopus, destes apenas 1 se enquadraram nos filtros e critérios de inclusão apresentados, sendo este documento um artigo já apresentado pelo autor no ano de 2016.

Tabela 1 - Filtros e critérios de inclusão da pesquisa.

Filtros	Crítérios de Inclusão
F1: Títulos e Palavras Chave	C1: Não tem relação com o tema
F2: Resumo	C2: Baixa relação com o tema
*Serão inclusos apenas documentos que se enquadrarem no critério de inclusão C4.	C3: Relação com um ou outro tema
	C4: Relação com mais de um tema em conjunto.

Fonte: Autor (2017).

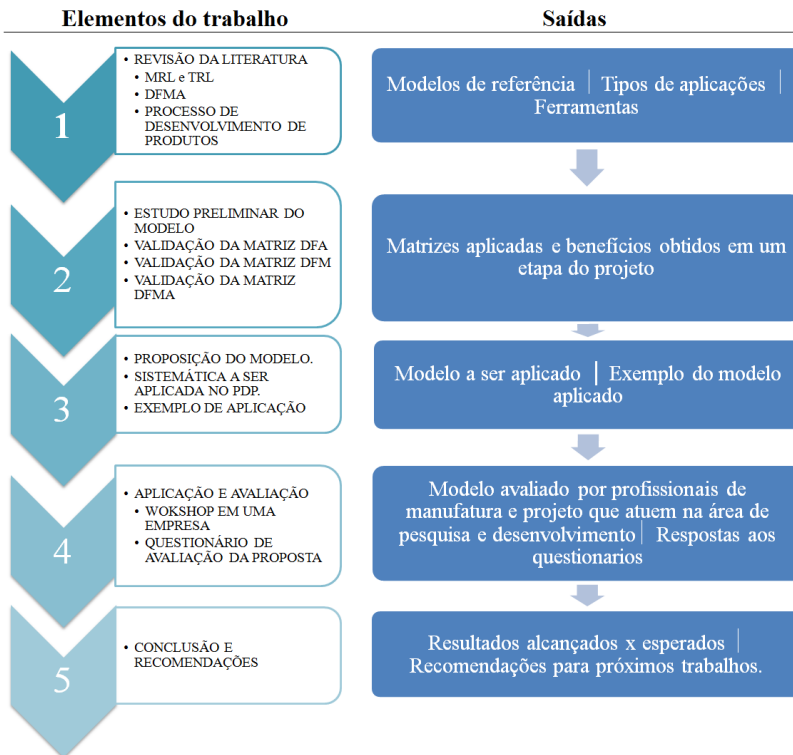
A segunda etapa é um estudo preliminar do modelo para avaliação de um processo, cuja aplicação resulta em 3 matrizes de DFA, DFM e a última DFMA chamada matriz de indicadores de *performance*, que estão inseridos nos estágios iniciais do desenvolvimento de produto. Estas matrizes são parte fundamental para melhoras a integração de projeto e manufatura nas fases iniciais de desenvolvimento de produto bem como contribuir para avaliação dos níveis de maturidade (MRL).

A etapa três envolve a proposição do modelo, objetivo deste estudo, e um exemplo de sua aplicação para melhorar o entendimento do mesmo, e uma de suas bases irá envolver o estudo preliminar apresentado no capítulo 2.

A quarta etapa contempla a aplicação e avaliação do modelo. A aplicação ocorrerá em uma empresa específica. A avaliação será realizada por meio de um workshop com um grupo formado por profissionais de engenharia de produto e processos de manufatura que trabalham com pesquisa e desenvolvimento de projetos. Neste workshop, os participantes serão imersos no tema e farão um exercício simulando um caso real com a aplicação da sistemática desenvolvida, cujas principais matrizes já estarão preenchidas, e a saída será a avaliação deste uso pelos times envolvidos através de um questionário de avaliação. Os resultados serão parte das conclusões e recomendações do trabalho.

A última etapa será uma avaliação das contribuições e limitações da sistemática e seus resultados bem como a recomendação de trabalhos futuros.

Figura 1- Elementos do trabalho acadêmico e suas saídas



Fonte: Autor (2016).

1.4.1 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em sete capítulos: Introdução; Revisão Bibliográfica dos temas Processo de Desenvolvimento de Produto / TRL / MRL / DFMA; Estudo Preliminar do Modelo; Modelo Proposto; Aplicação do Modelo/Resultados; Conclusões e Recomendações e Referências bibliográficas. Além destes capítulos, serão apresentados anexos e apêndices com informações para auxiliar o entendimento da mesma.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática sobre, Nível de Maturidade de Tecnologia, Nível de Maturidade de Manufatura e Projeto para Manufatura e Montagem e Montagem.

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

A gestão da inovação tem ocupado posição central nos meios acadêmico e empresarial. Entretanto, a implantação de uma gestão da inovação eficaz passa necessariamente pela adoção de modelos que norteiem a construção de processos organizacionais por meio dos quais a inovação deve ser conduzida (Silva et al., 2014).

A inovação é um processo multiestágio pelo qual as organizações transformam ideias em bens, serviços ou processos novos ou significativamente melhorados com o objetivo de progredir, competir ou diferenciarem-se com sucesso no mercado, (BAREGHEH, ROWLEY, SAMBROOK (2009) *apud* Silva et al., (2014). Modelos com esse propósito têm sido publicados nas últimas décadas e refletem a grande pluralidade de abordagens, consequência da gestão da inovação enquanto área multidisciplinar.

O processo de desenvolvimento de produtos é representado por modelos compostos por fases, etapas, atividades e tarefas, por meio dos quais, uma equipe multidisciplinar desenvolve um produto, considerando, simultaneamente, ao longo do seu desenvolvimento, as necessidades e as restrições do ciclo de vida (BACK et al., 2008).

Na literatura existem diversos modelos para o processo de desenvolvimento de produtos. Para este trabalho, os modelos utilizados como referência e base teórica são o *Stage Gate* tradicional de Cooper (1994), o *Technology Stage Gate* (TSG) proposto por Marxt et al. (2004) e o modelo de referência proposto por Rozenfeld et al. (2006). O primeiro por ser mais antigo e utilizado pelas empresas nos dias atuais, o segundo por ser um modelo genérico que propôs uma adaptação do modelo tradicional a projetos de inovação e o terceiro por ser um modelo atual aplicado a empresas de manufatura e bens de consumo e capital.

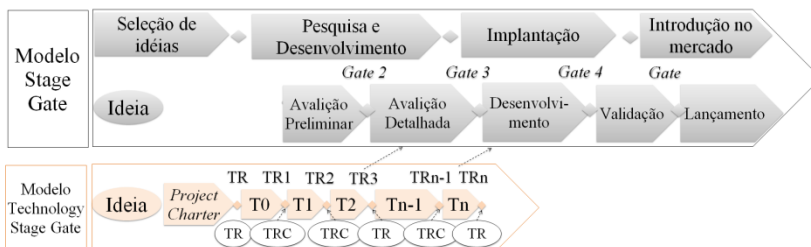
O *Stage Gate* é um modelo caracterizado pela forma processual que materializa o conhecimento ao longo das etapas propostas. Este modelo é organizado em uma lista de estágios predeterminados chamados de *gates* os quais controlam os processos e servem como

pontos de avaliação, são elas : a) Seleção de ideias; b) Pesquisa e Desenvolvimento; c) Implementação e d) Introdução ao Mercado. Estas fases estão representadas na Figura 3.

No *Technology Stage Gate* ocorre a inclusão das fases de desenvolvimento de tecnologia. Estas fases são chamadas de *Technology Stage Gates* (TSG's). Como pode ser visto na Figura 2, a partir da ideia do produto são introduzidos os TSG's. Estes TSG's podem iniciar na fase de Pesquisa e Desenvolvimento do modelo de Cooper (1994), indo até o final do ciclo de vida do produto. Nestes TSG's ocorrem Revisões Técnicas (*Technical Reviews* ; TR), as quais são formalizadas num Comitê de Revisão Técnica (*Technical Review Committee*; TRC). O objetivo principal destas revisões é assegurar o escopo de um projeto ao longo do ciclo de vida do produto. Com esta abordagem é possível associar as fases de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) às fases de desenvolvimento tradicional de produtos.

O principal foco do TSG é ser empregado em projetos que as tecnologias ainda estão em desenvolvimento e existem grandes incertezas quanto ao seu real potencial de mercado, ou seja, em casos típicos de projetos de P&D.

Figura 2 - Framework colaborativo para projetos



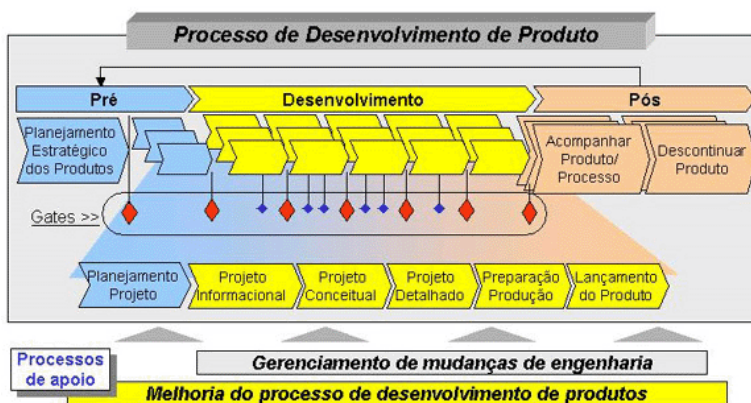
Fonte: Adaptado de Marxt et al. (2004)

O modelo proposto por Rozenfeld et al (2006) está apresentando na Figura 3. Ele é dividido em três macrofases chamadas de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Estas podem em linhas gerais serem divididas em algumas microfases de desenvolvimento chamadas de:

- Planejamento estratégico de produtos: Considera estratégias de mercado e tecnologias.

- Planejamento do projeto: Considera aspectos relacionados ao plano do projeto em si.
- Projeto informacional: Trata de definir as especificações-meta
- Projeto conceitual: Trata da concepção do produto, especificações preliminares e macro processo de produção.
- Projeto detalhado: Tem como saída um produto homologado e suas especificações finais.
- Preparação para a produção: Seu objetivo é a liberação da produção e homologação do processo.
- Lançamento do produto. Trata do processo de vendas, assistência técnica, distribuição e atendimento ao cliente.

Figura 3 - Processo de Desenvolvimento de Produto



Fonte: Rozenfeld et al (2006).

2.2 NÍVEL DE MATURIDADE DE TECNOLOGIA (TRL) E NÍVEL DE MATURIDADE DE MANUFATURA (MRL).

Para auxiliar o desenvolvimento dos projetos desde as fases de pesquisa são apresentadas duas escalas de medida de maturidade de tecnologia tanto do produto que está sendo criado quanto os processos de manufatura. Estas escalas são chamadas TRL e MRL.

Segundo Olechowski et al (2015) a TRL é uma escala criada pela NASA nos anos 1970 para medir a maturidade das tecnologias durante o desenvolvimento de sistemas complexos.

O MRL inicialmente como referido no Programa Tecnológico de Manufatura OSD (2011), foi desenvolvido pela Indústria do Departamento de Defesa Norte Americano (DoD) cujo objetivo foi criar uma escala para ter o mesmo propósito para manufatura que a TRL tem para tecnologia, assim existiria um vocabulário comum e poderiam ser feitas avaliações dos níveis de maturidade da manufatura em projetos.

Para compreender TRL, MRL e suas aplicações foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), que segundo Conforto et al (2011) é um método científico para busca e análise de artigos de uma determinada área da ciência, é um instrumento para mapear trabalhos publicados no tema de pesquisa específico para que o pesquisador seja capaz de elaborar uma síntese do conhecimento existente sobre o assunto pode ser vista como um método padronizado de busca utilizado para responder questões específicas de pesquisa através de critérios de elegibilidade predefinidos. A RBS está apresentada no apêndice A.

Após analisado o material da pesquisa foi classificado em subgrupos divididos por similaridades de temas para melhor entendimento e desdobramento das informações, os temas e subgrupos estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Subgrupos similares

1	Abrangência teórica	Revisão e desdobramentos dos temas
2	Abrangência teórico prática	Usa e traz críticas ao modelo atual
3	Abrangência teórico prática	Propõe melhorias ao modelo atual
4	Abrangência prática	Aplicações em diferentes projetos
5	Abrangência teórico prática	Cria novos modelos

Fonte: Autor (2017).

As medidas de maturidade começam com a escala de maturidade de tecnologia, TRL. Mankins (2009) considera as restrições de tempo, escopo e orçamento para estabelecer uma escala de avaliação da maturidade da tecnologia. O autor acrescenta que na metade dos anos 70, a Administração Nacional da Aeronáutica (NASA) nos Estados Unidos aprimorou este conceito de forma a permitir uma avaliação mais efetiva no que se refere a maturidade de novas tecnologias. Em 1995 a escala sofreu um aprimoramento, deixando mais claras as entregas de cada nível de maturidade. Desde então, foi adotada pelo Department of Defense (Departamento de Defesa; DoD) e pelo Government

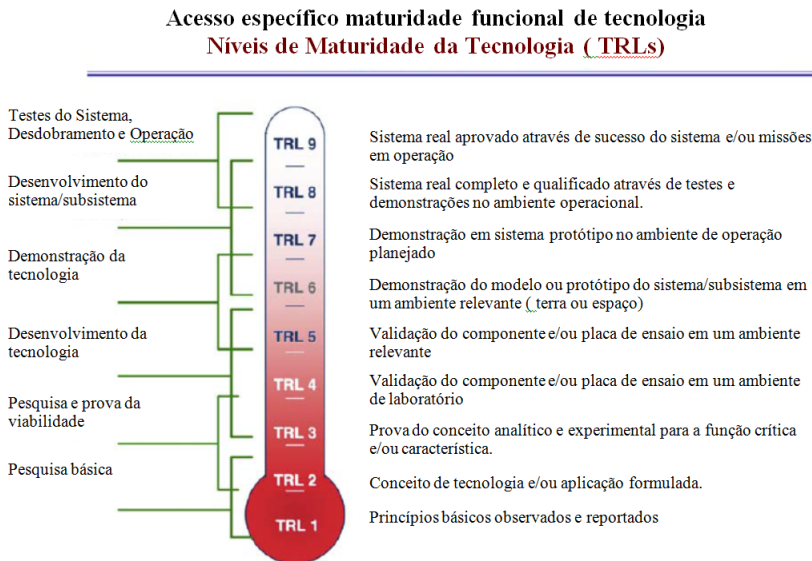
Accountability Office (Escritório de Contabilidade Geral do Congresso Americano; GAO) em projetos de desenvolvimento de novas tecnologias. De uma maneira geral, a TRL vem se mostrando muito efetiva em comunicar o estado das novas tecnologias entre diversas áreas e organizações.

A escala de maturidade de tecnologia possui 9 níveis. Para melhor caracterizar cada nível de tecnologias a Figura 4 apresenta uma visão geral da escala de TRL.

Nesta escala TRL, proposta pela NASA, os produtos apresentados até o nível 5 são componentes ou placas de circuitos que nos níveis posteriores serão conectados em sistemas ou subsistemas maiores. Os 9 níveis de maturidade, então, têm como objetivos principais:

1. Ter os princípios básicos da pesquisa observados e reportados.
2. Formular os conceitos de tecnologia e/ou sua aplicação.
3. Provar de forma analítica e experimental os conceitos de tecnologia já formulados para sua função crítica e/ou outra característica relevante. Neste momento começa a pesquisa e desenvolvimento.
4. Validar o uso da(s) tecnologia(s), já analítica e experimentalmente comprovadas, no componente(s) ou placa(s) de circuitos de sua(s) aplicação, em um ambiente de laboratório.
5. Validar o componente ou placa de circuitos aonde foi aplicada(s) a(s) tecnologia(s) em um ambiente relevante. Neste momento a fidelidade com a realidade aumenta muito.
6. Demonstração do protótipo do sistema aonde foi aplicada a tecnologia em um ambiente relevante (* para a NASA o ambiente relevante pode ser também o espaço)
7. Demonstração em sistema do protótipo do sistema aonde foi aplicada em seu ambiente operacional (* para a NASA este ambiente é o espaço).
8. Sistema real qualificado em seu ambiente operacional. Para a NASA aqui são executados testes padrões.
9. Sistema real aprovado através do sucesso em uma missão real.

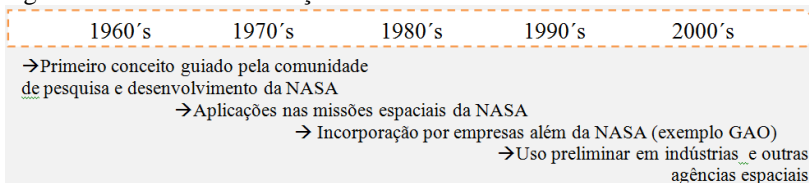
Figura 4 - Visão geral da escala de maturidade de tecnologia



Fonte: Mankins (2009).

Mankins (2009) resalta, a escala citada na Figura 4 não nasceu toda de uma vez. O desenvolvimento da escala teve muitos passos de aprovações em comunidades na indústria de tecnologia aeroespacial ao longo de várias décadas, desde os primeiros usos por grupos de pesquisa fechados da NASA até o uso preliminar na indústria e outras agências espaciais. A Figura 5 traz um panorama geral desta evolução.

Figura 5 – História da evolução da TRL



Fonte: Mankins (2009).

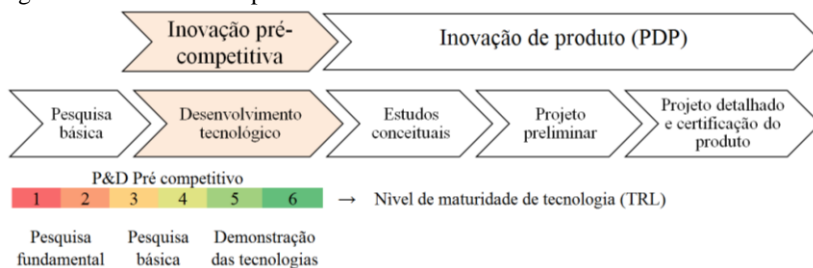
Apesar de todo este tempo de uso e melhorias, ainda existem várias dúvidas a respeito da avaliação da maturidade, como por exemplo, fazer avaliação da maturidade entre múltiplos subsistemas e componentes, e a necessidade de métricas reais que ajudem avaliar o

mais cedo possível as incertezas da pesquisa e desenvolvimento, como por exemplo o seu grau de dificuldade.

Com o objetivo de integrar o PDP tradicional ao desenvolvimento de tecnologia, Araújo (2017) fez em uma empresa do setor aeronáutico, a integração do PDP aos níveis de maturidade de tecnologia incluindo também os estágios de P&D, como ilustrado na Figura 6. Este processo é dividido em duas grandes fases chamadas de Inovação Tecnológica Pré Competitiva e Inovação de Produtos (PDP) além da fase de pesquisa básica.

A pesquisa básica e o P&D pré-competitivo estão correlacionados aos nível 1 a 6 da escala original de TRL. Nota se que o TRL apesar de ter sido concebido para aplicações aeroespaciais pode ser facilmente adaptado a qualquer tipo de ambiente, inclusive outros setores industriais.

Figura 6 - P&D Pre Competitivo na Indústria Aeronáutica



Fonte: Araújo (2017)

Segundo Alves (2009 *apud* Araújo 2017) a inovação tecnológica pré-competitiva endereça em sua essência a obtenção do domínio por uma dada empresa sobre determinadas tecnologias de seu interesse que poderão mais tarde ser adotadas no desenvolvimento de novos produtos. As tecnologias aqui trabalhadas tem baixo nível de maturidade e necessitam amadurecimento até que possam ser definitivamente adotadas no desenvolvimento de novos produtos.

Em paralelo ao desenvolvimento das medidas de escala de maturidade de tecnologia surgiu a necessidade de uma escala similar para a área de manufatura. Esta escala foi chamada de MRL.

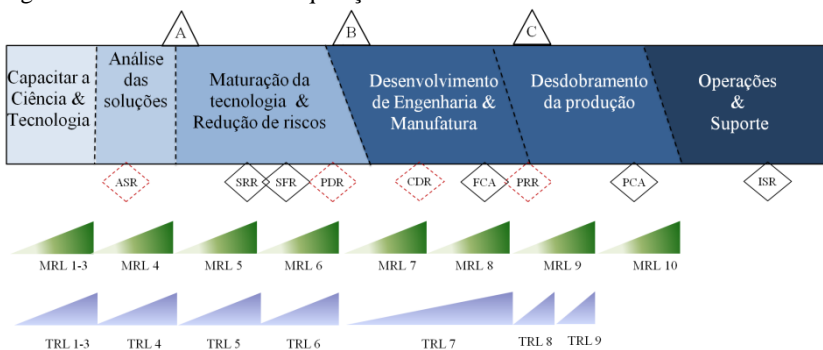
As definições sobre MRL, segundo OSD Manufacturing Technology Program (2016) foram desenvolvidas por um grupo de trabalho da indústria do DoD sob a coordenação do Joint Defense

Manufacturing Technology Panel (Painel Conjunto de Tecnologia de Manufatura para Defesa; JDMTP). A intenção foi criar uma escala para medir maturidade da manufatura com o mesmo propósito da escala de medida da maturidade da tecnologia, para prover vocabulários e métricas comuns.

Na Figura 7 está representado o ciclo de vida das aquisições proposto no Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016) e a sua relação com a escala TRL. No modelo são condensados três *milestones* representados por A, B e C.

O *milestone A* tem o objetivo de validar a capacidade de produzir a tecnologia em um ambiente de laboratório, B validar a capacidade de produzir o produto em um ambiente relevante de produção e C validar a capacidade de produzir o produto em uma linha piloto.

Figura 7 – Ciclo de vida das aquisições



Fonte: Adaptado de Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016).

A escala do MRL desenvolvida contempla 10 passos como descrito a seguir:

1. Implicações básicas de manufatura identificadas, ou seja, pesquisa básica e identificação das deficiências de manufatura.
2. Conceitos de manufatura identificados através da tradução de pesquisa básica em pesquisa aplicada e soluções. Nesta fase os riscos e estudos de viabilidade começam a ser identificados.
3. Comprovação dos conceitos de manufatura desenvolvidos por meio de experimentos analíticos e laboratoriais.
4. Capacidade de produzir a tecnologia em ambiente de laboratório. Esta fase indica que (s) tecnologia(s) esta(ão)

madura(s) o suficiente para entrar na fase de aquisição e redução de riscos. Os parâmetros de *performance* já foram validados e os direcionadores de custos bem como planos de mitigação de riscos atualizados.

5. Capacidade de produzir protótipos de componentes em ambiente relevante de produção. Aqui a base industrial já foi acessada e o plano de mitigação de riscos já está integrado a estratégia de manufatura. Ferramentais e materiais protótipos bem como equipamentos para testes já foram construídos.
6. Capacidade de produzir protótipos de sistemas e subsistemas em um ambiente relevante de produção, para permitir a entrada na próxima fase chamada de fase de desenvolvimento de Engenharia e Manufatura.
7. Capacidade de produzir protótipos de sistemas, subsistemas ou componentes em um ambiente representativo de produção, para permitir que a fase de projeto detalhado seja finalizada.
8. Capacidade de produção demonstrada na linha piloto. Nesta fase começam as produções em baixa escala com um ambiente completo de produção.
9. Produção em baixa escala demonstrada através do atendimento das metas estabelecidas.
10. Capacidade em larga escala demonstrada. Nesta fase o produto já está sendo fabricado em um ambiente normal de produção, ou seja, é a manutenção do negócio.

No modelo estão contempladas as fases de capacitar a ciência & tecnologia, análise das soluções, maturação da tecnologia & redução dos riscos, desenvolvimento de engenharia e manufatura, desdobramento da produção e operações e suporte. Estas fases são associadas a revisões técnicas representadas por ASR (Revisão das Alternativas de Produtos), SSR (Revisão dos Requisitos de Produtos), SFR (Revisão Funcional do Produto), PDR (Revisão do Projeto Preliminar, CDT (Revisão Crítica do *Design*), PRR (Revisão da Maturidade da Produção, PCA (Autidoria da Configuração Física) e ICT (Revisão da Operação), dentre as quais 4 se destacam como fundamentais para as tomadas de decisões do projeto, são elas: ASR, PDR e PRR por antecederem os *milestones* A, B e C e CDR onde é finalizada a análise detalhada do *design*.

As revisões técnicas devem ocorrer durante o ciclo em etapas chaves e embasar as decisões gerenciais. A seguir são apresentados os principais aspectos a serem considerados em cada uma das revisões:

1. ASR: Revisão das alternativas de produtos, é a primeira revisão mais importante e é a base para a tomada de decisão do *milestone A*. Os critérios de sucesso nesta revisão técnica são :
 - Identificar os processos de fabricação preliminares e os riscos
 - Identificar os investimentos necessários para o desenvolver e produzir as tecnologias.
 - Concluir avaliações iniciais da produtividade dos conceitos de projeto.

2. PDR: Revisão do projeto preliminar, é a segunda revisão mais importante e ocorre ao final da fase de maturação da tecnologia e redução de riscos, e é a base para a tomada de decisão do *milestone B*. Os critérios de sucesso nesta revisão técnica são :
 - Ter caracterizado a maior parte dos processo de fabricação.
 - Documentar como o produto será manufaturado.
 - Ter avaliado a produtividade dos processos relacionados a tecnologias chave.
 - Ter construído o modelo de custos de produção.
 - Ter uma base industrial para suportar o desenvolvimento.
 - Ter identificado os fornecedores chaves e maiores *lead times*.

3. CDR: Revisão crítica do *design*, é a terceira revisão mais importante durante a fase de desenvolvimento das soluções que é caracterizada pelo projeto detalhado. Os critérios de sucesso nesta revisão técnica são :
 - Ter identificado os processos de fabricação relativos a tecnologias chaves e comprovados que atendem aos requisitos de projeto.
 - Ter desenvolvido os planos de controle para estes processos de fabricação chaves.

- Terem os processos de fabricação sido demonstrados em um ambiente relevante de produção.
 - Estarem em andamento as negociações dos equipamentos.
 - Ter disponíveis materiais e ferramentas para atender ao cronograma da linha piloto.
 - Ter atualizado o modelo de custos de produção bem como suas metas definidas.
4. PRR: Revisão da maturidade da produção é a quarta revisão mais importante ao final da fase de desenvolvimento das soluções que é caracterizada pela produção em linha piloto, sendo a base para a tomada de decisão do *milestone C*. Os critérios de sucesso nesta revisão técnica são :

- O produto pode ser produzido dentro do orçamento previsto.
- As utilidades de produção devem estar disponíveis e a mão de obra treinada.
- O processo já é estável para começar a produção em baixa escala.
- A cadeia de fornecimento já deve estar estabelecida e pronta para atender a produção em baixa escala.
- Ter aprovado os processos de fabricação em linha piloto.
- Ter finalizado todas as análises comerciais e também a análise de riscos.
- Ter validado o modelo de custos de produção.

Após o DoD ter implementado o MRL em 10 passos, ocorreram derivações. A primeira citada por Ward (2011) fala sobre a Rolls-Royce, responsável por desenvolvimento de turbinas para aeronaves, que criou uma escala de 9 passos baseada na escala proposta do DoD, chamada de Nível de Maturidade da Capacidade de Manufatura (MCRL), onde cada um dos 9 passos da TRL é ligado diretamente com a MCRL, e é aplicada a toda a cadeia de suprimentos. Esta abordagem foi inicialmente usada para no desenvolvimento da turbina do Boeing

787 cumprindo alguns papéis como o comunicar e determinar a viabilidade de implementação de projetos em uma escala de tempo.

Ward (2011) e Cavalheiro et al (2013) também citam outras duas escalas voltadas a determinar o nível de maturidade de processos de manufatura. A primeira com foco em inovação (IMRL) foi criada pela indústria de nanotecnologia devido ao alto apelo diferencial de inovação, sendo esta também baseada no modelo TRL. A segunda utilizada pelo Departamento de Aviação da General Electric em 2010 onde confirmam que o uso das TRL's e MRL's são a maneira correta de atuar sistematicamente em queimar os riscos e criar uma linguagem comum através da base industrial. A abordagem do MRL especificamente dá seu retorno à empresa pela adição de valor a capacidade do processo e a maturação do plano de produção.

Com a divulgação e adoção destes modelos por outras empresas, os mesmos foram sendo modificados. Katz et al (2015) trazem uma grande avaliação estatística de 37 programas de sistemas de armamento do DoD para entender a relação entre a maturidade do projeto e sua tecnologia com o orçamento e o tempo do projeto, onde concluíram que a recomendação de ter 90% dos desenhos liberados até o CDR ou *Milestone B* e um indicador significante na mudança de custo e cronograma do projeto.

Madison et al (2015) identificam que é preciso padronizar a maneira de avaliar a evolução da tecnologia em diferentes projetos para facilitar a transferência de tecnologia para fora da entidade.

No intuito de evitar atrasos ou disparidades de orçamento Mankins (2009) propõe um modelo matricial de avaliação chamado de Technology Readiness and Risk (Avaliação dos Riscos e Maturidade da Tecnologia; TRRA) que irão auxiliar o gerente do projeto a deixar claro e documentado as maturidades das tecnologias principalmente em estados iniciais do projeto. Este modelo leva em consideração três fatores:

- O TRL, para saber qual o nível da maturidade a tecnologia está.
- O R&D3 que mede a probabilidade de sucesso ou falha de uma tecnologia relacionado ao grau de dificuldade de Pesquisa e Desenvolvimento(P&D);
- O valor da necessidade da tecnologia (TNV) que fala da importância para o desenvolvimento da tecnologia para o projeto.

Então, para qualquer esforço de desenvolvimento de tecnologia a matriz de riscos (TRAA) sintetiza os riscos na forma de dois índices: a Probabilidade da Falha (Pf) e a Consequência da Falha (Cf).

A Probabilidade da Falha (Pf) está diretamente relacionada ao R&D3 e tem por objetivo direcionar a pergunta de como provavelmente esta nova tecnologia irá seguir ou provavelmente falhar.

A Consequência da Falha (Cf) procura responder a pergunta de quais serão as consequências ou benefícios desta falha e está diretamente relacionado com o (TNV) e o (TRL), ou seja, quanto mais inicial for o estágio de desenvolvimento e maior for o valor da necessidade do desenvolvimento desta tecnologia maior será a consequência da falha.

Tanto para (Pf) quanto para o (Cf) foram criados 5 níveis relacionados as taxas de probabilidade e consequência das falhas apresentados no Quadro 2 que devem ser relacionados com a matriz de risco (TRAA) da Figura 8. Este dois índices são apresentados em forma qualitativa de avaliação, cujos detalhes sobre a forma de classificar os níveis de tecnologias são apresentados no apêndice B.

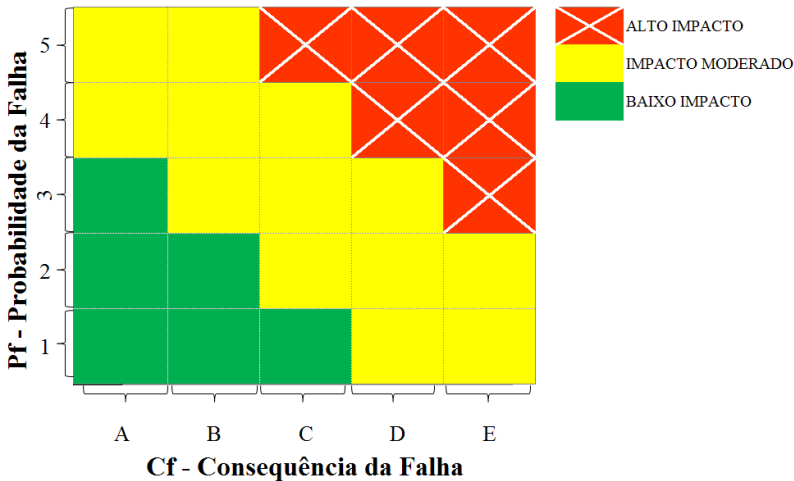
Quadro 2. Níveis e taxas de probabilidade e consequências das falhas.

Taxa de probabilidade da falha (Pf)		Taxa de consequência da falha (Cf)	
Nível	Probabilidade	Nível	Impacto
1	Remota	A	Mínimo
2	Improvável	B	Algum
3	Provável	C	Moderado
4	Altamente Provável	D	Grande
5	Quase Certa	E	Inaceitável

Fonte: Adaptado de Mankins (2009)

Cada tecnologia avaliada deve estar localizada em algum quadrante do gráfico exposto na Figura 8. Se estiver na região verde não é necessário maiores preocupações ou ações, se estiver na área amarela deve ser olhada com atenção já se estiver na região vermelha é um ponto de parada de projeto até que uma solução seja encontrada.

Figura 8 - Matriz de riscos tecnológicos (TRAA).



Fonte: Mankins (2009)

Em uma atuação na empresa Bombardier, Pahud et al (2013) criaram uma nova metodologia para gerenciamento do conhecimento baseada no relatório A3 da Toyota, sendo este um modelo que busca identificar a situação atual, a natureza do problema, a gama de contramedidas possíveis, a melhor contramedida, as maneiras de colocá-las em prática e a evidência de que o problema foi efetivamente solucionado (SHOOK, 2008). Os autores fazem uma modificação no mesmo documento para garantir o alinhamento dos campos com as saídas de cada estágio do MRL e TRL que hoje são padrão de medição de maturidade das tecnologias..

Para entender as diversas possibilidades do uso das escalas de maturidade, na sequencias são apresentados alguns casos reais com aplicações específicas:

- Govea e Uzdz (2013) apresentam uma proposta para fechar um gap que é gerenciar sistemas de engenharia, o foco é entender a dependência de uma nova tecnologia em termos de impacto em termos da maturidade global da tecnologia, custos e desempenho ao longo do tempo. O resultado é um framework que consiste em ajustar uma conexão lógica entre

as várias métricas usando as perguntas: porque, aonde, quando, como e o que.

- Magnave (2014) identifica que as técnicas de gerenciamento e ferramentas não estão sendo adequadas para monitorar o desenvolvimento de tecnologia em produtos complexos. Para melhorar este processo, o autor apresenta um modelo de gerenciamento chamado Earned Readiness Management (Gerenciamento da Maturidade Adquirida; ERM).
- Tucker et al (2009) apresentam a criação de uma nova escala de avaliação da maturidade para avaliar o Supply Chain chamada Supply Chain Readiness Level (Nível de Maturidade da Cadeia de Fornecimento; SCRL) . A escala foi criada para aumentar a robustez na análise de todo o supply chain de missões da NASA, olhando para o produto como um todo.
- Peters (2015) apresenta um modelo chamado Manufacturing Technology Readiness Level (Avaliação da Maturidade das Tecnologias de Manufatura; MTRL) focado em avaliação de capacidade, flexibilidade e desempenho, diferente do modelo TRL e MRL que é guiado por novas tecnologias de produto.
- Yasseri (2013) apresenta uma proposta para avaliação de uma nova tecnologia a ser utilizado em submarinos. A proposta envolveu o TRL, Integration Readiness Level (Nível de Maturidade da Integração; IRL) e System Readiness Level (Nível de Maturidade do Systema; SRL) tomando mais efetiva e eficiente a decisão por compra e integração do produto, através de métricas padronizadas entre as áreas envolvendo os mais diversos estágios de tecnologia.
- O IRL é necessário para componentes que envolvem mais de uma fonte, este tem o mesmo o valor do TRL para ser fácil de utilizar e entender. Já o SRL tem como objetivo medir o nível de maturidade de todo o sistema submarino, para amarrar as escalas de TRL e IRL foi desenvolvido um índice chamado SRL este é retirado de uma matriz que combina o TRL e IRL.

2.3 PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

O termo Design for Manufacturing (Projeto para manufatura; DFM) está relacionado ao projeto para fácil fabricação de peças que formam o produto após sua montagem e Design for Assembly (Projeto para montagem; DFA) está relacionado a questões de projeto do produto para a fácil montagem. Projeto para Manufatura e Montagem e montagem (DFMA) é uma combinação de DFA e DFM, (BOOTHROYD; DEWURST; KNIGHT, 2011).

Existem vários métodos DFMA ou técnicas para desenvolvimento de engenharia concorrente. Os três mais conhecidos são o método Boothroyd Dewurst DFMA, Hitachi Assemblability Evaluation Method e a Técnica Lucas, (EHRS, 2012)

O método de Lucas DFA foi desenvolvido pela Universidade de Hull e tem a mesma base de pesquisa de Boothroyd & Dewhurst (2011), por isto apresentam algumas características comuns, que são: reduzir o número de peças e a análise da geometria das peças para o processo de montagem (ESQUILANDER, 2001).

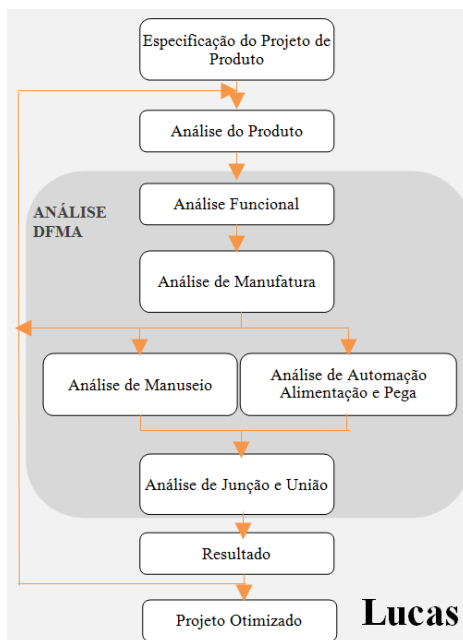
Os métodos propostos pelos autores apresentam algumas diferenças. O método de Boothroyd e Dewurst tende a necessitar de maiores informações sobre o produto, como tempos de processamento e montagem, por exemplo. Por outro lado, o método de Lucas baseia-se em fatores de penalidades padronizadas e tabeladas parametrizadas, que permite uma maior flexibilidade nos dados de entrada e até mesmo na avaliação. Em virtude disto, optou-se neste trabalho pelo emprego do método de Lucas, o qual será aprofundado a seguir.

Para completar o processo de aplicação do método é importante seguir as etapas apresentadas na Figura 9, como descrito a seguir.

2.3.1. Etapas 1 e 2, especificação do projeto e análise do produto.

O processo só começa com a especificação ou a existência de um projeto de um produto. Com isto é possível fazer uma análise preliminar dos aspectos gerais construtivos no intuito de deixar o time de projeto familiarizado e preparado para a próxima etapa que é a análise funcional, bem como tirar as principais dúvidas.

Figura 9 – Etapas do DFMA segundo método de Lucas



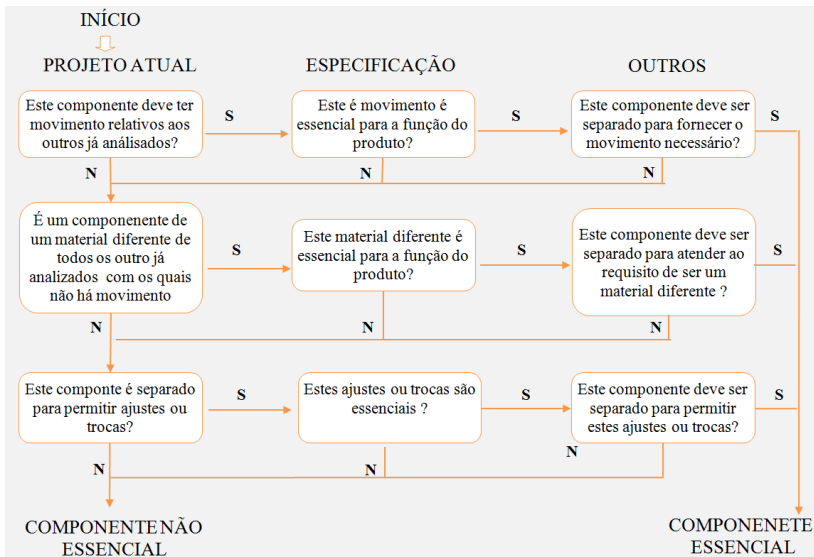
Fonte: Lucas Engineering Systems (1993).

2.3.2. Etapa 3, análise funcional

É considerada uma etapa fundamental no processo por serem pontos onde é realizada a análise para determinar a quantidade mínima teórica de peças e também estimular a equipe do projeto a pensar em otimização do conceito do produto de modo a unir funções em uma única peça e até mesmo entender as necessidades de serviços a serem realizados para assistência técnica.

Lucas 1993 *apud* Mital et al 2012 sugere uma análise que usa os princípios básicos de avaliação de movimentos relativos entre componentes, necessidade dos componentes serem de diferentes materiais e por último se os componentes precisam realmente ser separados uns dos outros. Esta análise é realizada pela sequência do fluxograma apresentado na Figura 10. Após esta análise os componentes são divididos em 2 grupos: tipo A, essenciais; e, tipo B, que não são essenciais (MITAL et al , 2012).

Figura 10 – Fluxo de análise funcional



Fonte: Lucas Engineering Systems (1993).

Sabendo então quais são as peças essenciais do produto é possível avaliar a eficiência do projeto em relação a sua montagem, como apresentado na Equação 1 onde “A é o número mínimo teórico de partes e A + B é o número total de partes” (MITAL ET AL 2012).

$$AEf = A / (A + B) \quad (1)$$

O índice sugerido como um limiar de eficiência de projeto é de 60%, porém, frequentemente pode ser considerado bom na prática já acima de 45% . (Huang, 1996).

2.3.3. Etapa 4, análise de manufatura

Esta análise uso o conceito de grupos de tecnologia para classificar os componentes com base nas características do *design* e material. Isto é estimado por um índice chamado de Índice de Custos de Manufatura (Mi), que é utilizado para analisar a adaptabilidade dos processos de fabricação e a operação. Este índice pode ser calculado pela Equação 2 onde o coeficiente Rc é o custo relativo e Mc é o custo do material calculados pelas equações (3) e (4), já Pc que é o custo de

processamento primário é um valor tabelado. Os valores para Pc bem como para cada coeficiente destas formulas são padronizados e estão detalhados nos Anexos D, E, F, G, H, I, J, K e L. Apesar de não apresentar um custo real ela ajuda o time por apresentar um resultado já relativizado.

$$Mi = Rc \times Pc + Mc \quad (2)$$

$$Rc = Cc \times Cmp \times Cs(Ct \text{ ou } Cf) \quad (3)$$

$$Mc = V \times Cmt \times Wc \quad (4)$$

O custo de processamento primário (Pc) é baseado nos conceitos de *near net shape*, onde a primeira etapa de fabricação é muito próxima da forma final. Desta forma o melhor processo de fabricação é escolhido baseado no componente ter a maioria de suas características próximas a forma final.

Outra informação é custo relativo (Rc) que incorpora a complexidade do *design* e está associado ao processamento das características que esta complexidade traz. Este índice é composto pelos coeficientes abaixo:

- Cc, que é relativo a complexidade da forma.
- Cmp, que é relativo a complexidade do material
- Cs, que é relativo a complexidade de fabricar relativo a menor seção do componente
- Cr ou Cf, que é relacionado a complexidade de atender as tolerâncias de projeto ou acabamento de superfície.

Para calcular o custo de material (Mc), como mostrado na Equação 4 basta apenas multiplicar o volume (V) do componente pelos seus coeficientes de perda Wc e o custo padronizado do material por volume Cmt, ambos encontrados nos anexos I e L.

2.3.4. Etapa 5, análise de manuseio

Esta análise está em associada ao manuseio de componentes e subconjuntos antes deles admitidos no sistema de montagem. Ao responder a um grupo de perguntas sobre o tamanho, peso, dificuldades de manuseio e orientação de uma peça, seu índice pode ser calculado

pela Equação 5. Este índice leva em consideração um fator de manuseio Z e a quantidade de componentes essenciais A , e seu objetivo é ser menor ou igual a 2,5.

$$I_{\text{Manuseio}} = Z / A \quad (5)$$

Para se calcular o fator de manuseio Lucas 1993 *apud* Mital et al 2012 apresenta a Equação 6, que tem seus coeficientes a , b , c e d retirados da Tabela 2.

$$Z = a + b + c + d \quad (6)$$

Tabela 2 - Coeficientes para cálculo do fator de manuseio Z

Fatores	Pontuação
(a). Tamanho e peso	
Muito pequeno, requer ferramentas.	1,5
Conveniente, mãos apenas.	1,0
Grande e / ou pesado, requer mais de uma mão.	1,5
Grande e / ou pesado, requer uma talha ou duas pessoas.	3,0
(b). Dificuldades de manipulação	
Delicado.	0,4
Flexível.	0,6
Pegajoso/Grudento.	0,5
Fácil de se emaranhar.	0,8
Severamente aninhado.	0,7
Afiado ou abrasivo.	0,3
Não tocável.	0,5
Escorregadio.	0,2
Sem problemas de manipulação.	0,0
(c). Orientação do componente	
Simétrico, não é necessária orientação	0,0
É fácil ver toda a peça	0,1
Não é todo visível	0,5
(d) Orientação de rotação do componente	
Simetria de rotação.	0,0
Orientação de rotação, fácil de ver.	0,2
Orientação de rotação, difícil de ver.	0,4

Fonte: Adaptado de Lucas (1993) *apud* Mital et al (2012).

2.3.5. Etapa 5, análise de junção e união

A análise de junção e união é semelhante à análise de manuseio. Um índice de menor ou igual a 1,5 é uma referência no entanto, geralmente existe uma maior variação e pode ser reajustado para menor ou igual a 2,5.

Seu cálculo leva em consideração um fator de junção&união H e a quantidade de componentes essenciais A , e seu método de cálculo é apresentado na Equação 7.

$$I_{\text{Junção \& União}} = H / A \quad (7)$$

A Equação 8 apresenta o método de cálculo para o fator de junção & união, que tem seus coeficientes a , b , c , d , e , f retirados da Tabela 3.

$$Z = a + b + c + d + e + f \quad (8)$$

Tabela 3 - Coeficientes para cálculo do fator de junção e união Z

Fatores	Pontuação
(a). Posicionamento dos componentes	
Auto - Localizado	1,0
Necessita localização	2,0
Mais um dos seguintes:	
Necessita travamento/fixação (ex. snap on)	1,3
Necessita parafusos	4,0
Necessita rebites	4,0
Necessita de dobra	4,0
(b). Direção do processo	
Em linha reta de cima para baixo	0,0
Em linha reta mas não de cima para baixo	0,1
Não alinhado	1,6
(c). Inserção	
Um única inserção	0,0
Múltiplas inserções	0,7
Múltiplas e simultâneas inserções	1,2
(d). Acesso / Visão	
Direto	0,0
Restrito	1,5

Continuação Tabela 3. Coeficientes para cálculo do fator de junção e união

(e). Alinhamento	
Fácil para alinhar	0,0
Difícil para alinhar	0,7
(f) Força de inserção	
Sem resistência	0,0
Com resistência	0,6

Fonte: Adaptado de Lucas (1993) apud Mital et al (2012).

2.4 COMENTÁRIOS FINAIS

Os modelos de maturidade de tecnologias apresentaram-se aplicáveis nos mais diversos tipos de situações de projetos e as lacunas encontradas em algumas aplicações foram sendo complementadas em outros trabalhos. Os trabalhos analisados mostram que a aplicação ainda está restrita aos Estados Unidos e Europa, e com forte apelo à indústria aeroespacial, militar e de alta tecnologia. É possível constatar que as empresas que começaram a utilizar o modelo ou fizeram melhorias e adaptações para seu uso tiveram grandes melhorias voltadas a padronização de medidas entre áreas e até mesmo projetos, por existir uma escala de maturidade comum a todos. Além da comunicação, gestão de tempo e gestão de riscos foram beneficiadas por modelos numéricos e matrizes de correlações que conectaram diversas escalas.

Tendo em vista a revisão da literatura sobre TRL e MRL observa-se que, existe uma lacuna em trazer estas avaliações para outras empresas que não das áreas já citadas, como por exemplo, de bens de consumo e manufatura. Fica claro que na maioria das vezes as escala precisam de adaptações para modelos específicos de empresa e podem ser moldadas não perdendo sua essência inicial.

No que se refere ao DFMA fica claro que os dois métodos mais utilizados são o Boothroyd Dewurst DFMA, e a Técnica Lucas. Por ambos terem a mesma origem e base de pesquisa possuem muitas similaridades principalmente nas primeiras etapas aonde ocorrem as principais interações visando a otimização e mudança do *design* do produto, e por ser uma parte que é composta de um fluxo de perguntas acaba por estimular a discussão em time.

O método de Lucas se mostra mais amigável para as análises posteriores que envolvem o projeto de montagem e fabricação, principalmente em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento. É nestas

etapas que o time do projeto vai entender aspectos relativos a manuseio, junções, uniões e custos de manufatura dos componentes. Lucas se baseia em coeficientes de penalidades relacionados a requisitos claros e descritivos já tabelados, os quais são mais adaptáveis a serem aplicados ainda em projetos conceituais, diferente de Boothroyd Dewurst que além de ter regras mais detalhistas para avaliação dos componentes necessita também de análise envolvendo tempos, o que exige um projeto mais completo e uma análise mais demorada.

3. ESTUDO PRELIMINAR DO MODELO PROPOSTO

O estudo preliminar do modelo proposto se propõe avaliar a aplicação de algumas matrizes desenvolvidas com base na revisão bibliográfica.

Para fazer parte do desenvolvimento desta dissertação o estudo aqui propõe ser elaborado baseado em uma metodologia de composta das seguintes etapas:

1. Contextualização do problema
2. Apresentação do modelo a ser estudado
3. Aplicação do modelo
4. Análise dos resultados

Estas etapas serão descritas a seguir:

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Um resultado preliminar deste trabalho envolveu o uso de 3 matrizes, compostas pelas regras do DFMA, durante desenvolvimento tecnológico de um novo subsistema de um produto, que foram tanto guias e referências para o projeto do produto como indicadores de evolução da maturidade deste.

A proposta de Biesek e Ferreira (2016) teve como objetivo avaliar o uso das diretrizes de projeto do DFMA organizados em matrizes de avaliação a serem utilizadas pelo time de projeto como meio de tornar um produto mais competitivo em custo e tempos, e também acompanhar a evolução de maturidade em aspectos relacionados a manufatura. O modelo proposto considera as técnicas do DFMA como direcionadores técnicos e também propõe a geração indicadores de referência correlacionados a três etapas de maturidade de manufatura.

3.2 APRESENTAÇÃO DO MODELO A SER ESTUDADO

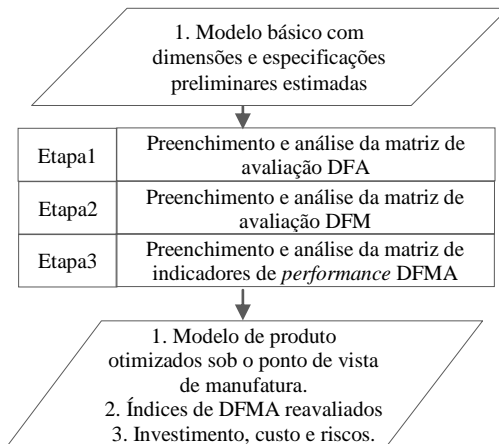
O desenvolvimento do estudo ocorreu na fase de desenvolvimento de tecnologia de um projeto. Para sua elaboração foram utilizadas matrizes de avaliação do DFA, DFM e como resultado obteve-se uma matriz de indicadores de *performance* DFMA que apresenta a evolução da maturidade do produto considerando aspectos de manufatura e montagem.

Para entender o nível de maturidade em que o Projeto X se encontrava, foi feita uma correlação entre as definições das etapas propostas na escala de MRL com as definições das etapas de maturidade do Processo de Desenvolvimento de Produto da Empresa R e os estágios de maturidade ficaram definidos por MRL2, MRL3 e MRL4.

O processo de execução do estudo está apresentado na Figura 11. Na etapa 1 o objetivo foi avaliar o produto sob o ponto de vista de projeto para montagem preenchendo a matriz de DFA, na etapa 2 foi realizada a avaliação sob o ponto de vista de fabricação como matriz DFM. Estas atividades foram realizadas por um time multifuncional com especialidades de projeto e manufatura. Na etapa 3 os índices resultantes das matrizes DFA e DFM foram preenchidos na matriz de indicadores de *performance* DFMA.

Para que este processo possa ocorrer a entrada deve ser um modelo de produto, mesmo que conceitual, que contenha suas dimensões principais, e a saída do processo será um modelo de produto otimizado sob os pontos de vista de manufatura e montagem, que viabiliza também a composição de investimento em equipamentos de produção e custos do produto.

Figura 11 – Fluxo de análise funcional



Fonte: Autor (2016).

3.3 APLICAÇÃO DO MODELO

Na etapa 1, foi utilizada a matriz proposta na Figura 12, adaptada de um modelo de Stienstra (2016) onde os componentes são avaliados em relação aos critérios de DFA utilizando o símbolo Y (Sim) e N (Não). Na matriz proposta a avaliação de maturidade é realizada com base em diretrizes de projeto e fatores de penalidades, propostos pela metodologia de Lucas (1993) que são utilizados para calcular os índices de montabilidade chamados medidas de *performance* (MOP) (ESQUILANDER,2001). Isto torna o processo mais ágil principalmente por permitir extrair resultados de um projeto sem necessitar índices numéricos de processo como tempo ciclo das operações.

A matriz de avaliação DFA tem 3 campos principais identificados na Figura 12 como A, B e C, sendo eles:

- Campo A - apresenta as diretrizes gerais e parciais de projeto com base no DFA, alinhados com os critérios Stienstra (2016) e Lucas (1993). As diretrizes gerais são 6 e estão apresentadas como tópicos no Nível N1. As diretrizes parciais são 21 e estão apresentadas tópicos ou perguntas em N2. A divisão segue a sequência descrita:
 1. Diretriz geral DFA:
 1. Quantidade real de componentes (este critério não será uma entrada Y ou N , deverá ser preenchida a quantidade real de cada componente)
 2. Quantidade mínima teórica de componentes
 2. Diretriz geral Custos BOM:
 3. Análise de componente padrão
 4. Análise dos custos relativos.
 3. Diretriz geral Qualidade:
 5. Possibilidade de montar o componente errado
 6. Possibilidade de montar o componente da forma errada.
 4. Diretriz geral Manuseio:

7. Não emaranhado, enosado, pegajoso ou colado
8. Não flexível
9. Não frágil
10. Não abrasivo ou afiado
11. Não escorregadio
12. Não é difícil de ver a orientação rotacional
13. Não necessário uso de alicates, pinças ou 2 mãos

5. Diretriz geral Junção/União:

14. Não difícil de alinhar ou alocar
15. Direção de montagem de cima para baixo?
16. É suave para inserir?(Não existe resistência)
17. Não existe acesso obstruído?(boa visibilidade)
18. O componente pode ser auto-localizado?
19. Pode ser montado sem parafusar, dobrar, furar, rebitar, crimpar ou curvar?
20. Pode ser montado sem "*snap-on*"?

6. Diretriz geral Outras Uniões:

21. É possível montar sem solda ou adesivo?
(relativo a fixação)

- No campo B são descritos os componentes do produto, sendo estes avaliados e comparados em relação as regras do nível N2. Os componentes são organizados em subconjuntos (SB01, SB02,...).
- O campo C apresenta as respostas da avaliação que são os índices numéricos calculados com base nas diretrizes gerais e parciais. N5 tem o objetivo de transformar as respostas Y e N em números empregando as equações (9) e (10). A Equação 9 tem como objetivo apenas de apontar o número de respostas Y e é válida para colunas de para (a) até (f). A equação 10 tem por objetivo apontar o número de respostas Y ou N e multiplicá-las pelos fatores de penalidades relacionados a diretriz de DFMA do nível 2 (N2) propostos pelo método de cálculo de Lucas (1993). A

Equação 2 é válida para as colunas (g) até (u). Estes valores são a base numérica para o cálculo dos indicadores nos níveis N6 e N7.

Figura 12 – Matriz de avaliação DFA

MATRIZ DFA																							
Seção	Níveis	Aspectos de avaliação																					
A	N1→	Diretrizes gerais de avaliação de projetos segundo DFA	1 ↓	2 ↓	3 ↓	4 ↓						5 ↓						6 ↓					
	N2→	Diretrizes parciais avaliação de projetos segundo DFA	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
	N3→	Fatores de penalidades	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
B	N4→	SB 01																					
		Componente A	X	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	
		Componente B	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N
		Componente n	Z	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N
		SB n																					
		Componente A	X	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
Componente B	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	
Componente n	Z	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	
C	N5→	Índice quantitativo	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
	N6→	Índice parcial DFA	-	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
	N7→	Índices gerais DFA	AA	BB	CC	DD						EE						FF					

Fonte: Autor (2016).

$$Total = ContaY \quad (9)$$

$$Total = ContaN \times PFMax + ContaY \times PFMin \quad (10)$$

Os níveis N6 e N7 agrupam as respostas numéricas do nível 5 gerando índices parciais e gerais de DFA que serão utilizados para acompanhar a evolução da maturidade do *design* ao longo do PDP.

O N6 relaciona as diretrizes específicas de DFMA apresentadas no N2, já o N7 agrupa estas diretrizes apresentadas em N1 e isto é feito através das equações 3, 4, 5, 6 e 7.

A Equação 11 apresenta o percentual que o conjunto de componentes avaliados está aderente as diretrizes de DFA e é utilizada em N6 para os índices de A a D e sua melhor pontuação é 100%.

$$Índices _ (A \leftrightarrow D) = \frac{\sum YES}{\sum YES + \sum NO} \times 100\% \quad (11)$$

A Equação 12 é aplicada para os índices de E a S e traz uma relação entre as penalidades aplicadas ao projeto no N5 com o número mínimo teórico de peças, que é o índice quantitativo b, com intenção de

poder comparar não só a evolução do mesmo projeto como também com outros visto que o número mínimo teórico é um padrão utilizado para medir a eficiência do projeto em termos de DFMA, sua melhor pontuação é Zero, o que significa que não foi aplicado nenhum fator de penalidade.

$$\text{Índices } _ (E \leftrightarrow S) = \frac{\text{Total}}{b} \quad (12)$$

Em N7 AA é obtido pela Equação 13 apresentada no método de Lucas para cálculo da eficiência do projeto de montagem e a melhor pontuação é 100%.

$$\text{Índice } _ (AA) = b/a \quad (13)$$

BB e CC seguem a Equação 14 que é uma média de duas diretrizes parciais.

BB é chamado do custo BOM e precisa da lista técnica do produto para ser composto pois trabalha com base comparativa entre os componentes. Está ligado as diretrizes parciais 3 e 4, análise de componente padrão e análise de impactos dos custos no projeto, quanto menor este índice mais componentes despadronizados e/ou com alto impacto em custo existem.

CC é relativo análise da montagem sob o ponto de vista da qualidade pelo conceito, *Poka Yoke*, que visa garantir que a montagem do produto seja a prova de erros e está ligada às diretrizes 5 e 6, possibilidade de montar o componente errado e possibilidade de montar o componente da forma errada, já apresentados na Figura 12. Quanto menor for este índice menos este critério é atendido pelo projeto.

$$\text{Índices } _ (BB \leftrightarrow CC) = \frac{1}{2}(A + B)(ou) \frac{1}{2}(C + D) \quad (14)$$

DD e EE estão relacionados a Equação 15 que é a soma das penalidades dentro das diretrizes gerais de projeto 4 e 5, manuseio e junção/união. Já FF é igual a T por ser uma diretriz de projeto escolhida para ser medida individualmente por sua complexidade de controle em seus processos de fabricação. Quanto menor for este índice mais o projeto está atendendo aos critérios.

$$\tilde{\text{Índices}} \text{ } _ (DD \leftrightarrow EE) = \sum_{i=E}^K i(\text{ou}) \sum_{i=L}^R i \quad (15)$$

A segunda etapa do estudo envolveu a análise de DFM, por intermédio da matriz proposta de avaliação DFM baseada na metodologia de Lucas (1993), como ilustrada na Figura 13. A análise da manufatura de componentes tem o objetivo identificar índices de manufaturabilidade para que seja possível medir a evolução do projeto em relação as mudanças de formas ou de tipos de processos de fabricação, para esta análise devem ser considerados os componentes que necessitem desenvolvimento para sua fabricação, não entrando na análise então os componentes padrões já existentes para compra no mercado. Os índices de DFM, da mesma forma que o DFA, também são obtidos por meio de três diretrizes parciais e uma geral, sendo as parciais apresentadas como:

- Rc: Custos relativos de manufatura, que está associada a complexidade do *design* do componente analisado. Esta diretriz gera o índice parcial T que é calculado empregando a Equação 3.
- Pc: Custos de processamento, que está associada a quanto o componente está próximo de ser obtido próximo a forma final em uma única vez. Esta gera o índice parcial U que é obtido pela tabela apresentada no anexo G.
- Mc: Custos de materiais, que relativizam a fabricação de cada componente por valores padronizados de custo por volume e perdas que associadas entre o material e o processo de fabricação escolhido. Esta diretriz gera o índice parcial V que é calculado empregando a Equação 4.

As três diretrizes parciais combinadas, resultam na diretriz geral chamada de Custos Gerais de Manufatura (Mi), que é calculado empregando a Equação 2 para obter-se o índice geral GG.

Os índices T, U, V e GG são obtidos pela somatória dos índices referentes ao processo de fabricação de cada subconjunto ou submontagem (SB), como demonstrado nas equações 16, 17, 18 e 19.

$$\acute{I}ndice_T = \sum_{i=A}^{An} i \quad (16)$$

$$\acute{I}ndice_U = \sum_{i=B}^{Bn} i \quad (17)$$

$$\acute{I}ndice_V = \sum_{i=C}^{Cn} i \quad (18)$$

$$\acute{I}ndice_GG = \sum_{i=D}^{Dn} i \quad (19)$$

A Equação 20 mostra a lógica para encontrar o valor de A, que é obtido pela soma dos resultados para cada etapa dos processos de fabricação do seu respectivo subconjunto (SB) e deve ser seguida também para os demais itens B, C, D, An, Bn, Cn e Dn.

$$A = \sum_{i=a1}^{an} i \quad (20)$$

Figura 13 – Matriz de avaliação DFM

MATRIZ DFM											
Diretrizes de Manufatura											
		Re	Cc	Cmp	Cs (Ct ou Cf)	Pc	Me	V	Cmt	We	MI
	Complexidade da forma - Cf	Qtd									
SB 1			A				B	C			D
Componente A - Processo fabricação etapa 1											
Componente A - Processo fabricação etapa n											
Componente n - Processo fabricação etapa 1											
Componente n - Processo fabricação etapa n											
SB n			An				Bn	Cn			Dn
Componente B - Processo fabricação etapa 1											
Componente B - Processo fabricação etapa n											
Componente n - Processo fabricação etapa 1											
Componente n - Processo fabricação etapa n											
Índices parciais e geral DFM →			T				U	V			GG

Fonte: Adaptado de Lucas (1993).

Para melhor entender a lógica da matriz de avaliação DFM a Figura 14 apresenta um exemplo de aplicação com um produto composto por duas submontagens.

A análise de manufatura deste produto tem como resultado os índices referentes as diretrizes parciais e geral que são: Mi, medida pelo índice GG de 30,38, e Rc, Pc e Mc com seus respectivos índices de 24,48, 6,16 e 2,64.

A submontagem 1 é composta por 2 componentes, Válvula que é obtida pelo processo de estampagem e Placa que é obtida pelos processos de estampagem e usinagem. Na sequência da matriz são apresentados os cálculos de seus índices, seguindo as fórmulas já apresentadas. Da mesma maneira, a submontagem 2 é composta pelos componentes Válvula b, Elástico e Fixador 2 tem seus índices calculados na matriz.

Figura 14 – Exemplo de aplicação da matriz DFM

MATRIZ DFM													
Diretrizes de Manufatura													
			Rc			Cs (Ct ou Cf)	Pc	Mc			Mi		
	Complexidade da forma - Cf	Qtd		Cc	Cmp				V	Cmt	We		
Submontagem 1			11,56				3,13	1,67				14,97	
	Valvula - Estampagem	C1	1	3,96	1,20	1,50	2,20	0,83	0,14	34,36	0,00	1,20	3,43
	Placa - Estampagem	C3	1	1,80	1,50	1,20	1,00	0,83	0,76	802,83	0,00	1,40	2,26
	Placa - Usinagem	C1	1	5,80	1,00	1,40	4,14	1,47	0,76	802,83	0,00	1,40	9,28
Submontagem 2			12,92				3,13	0,97				15,41	
	Válvula b - Estampagem	C1	1	3,17	1,20	1,20	2,20	0,83	0,07	80,24	0,00	1,20	2,69
	Elástico - Estampagem	C1	1	3,96	1,20	1,50	2,20	0,83	0,14	34,36	0,00	1,20	3,43
	Fixador 2 - Usinagem	C3	1	5,80	1,00	1,40	4,14	1,47	0,76	802,83	0,00	1,40	9,28
Índices parciais e geral DFM				24,48				6,26	2,64				30,38

Fonte: Autor (2017)

Todos estes índices, tanto para DFA quanto para DFM devem ser transcritos para a matriz da Figura 15, que tem como objetivo apresentar um resumo numérico das análises do projeto segundo critérios de DFMA e possibilitar o acompanhamento para análise dos pontos fracos e fortes do projeto bem como acompanhar sua evolução.

O campo A é o cabeçalho da tabela, onde são apresentadas as etapas de maturidade consideradas, os critérios gerais (AA, BB, CC, DD, DD, FF, GG) obtidos da matriz de avaliação DFA , Figura 12, e os valores referência para cada critério geral. Quando não houver um valor de referência aparece a indicação Bt2, que significa que o último estágio de avaliação deve ter um valor melhor que o anterior.

O campo B apresenta uma lista das diretrizes parciais e seus respectivos índices, cada um considerando a última etapa de avaliação, para este caso a etapa MRL4. Estas pontuações são os índices resultantes da análise DFA, que no caso de manuseio estão exemplificadas na Figura 16.

O campo C conecta os índices parciais aos índices gerais. A Figura 16, que é uma parte da matriz DFA, exemplifica a lógica da conexão do índice geral Manuseio (DD) aos índices parciais (E, F, G, H, I, J, K), sendo estes obtidos pelas equações já apresentadas anteriormente.

Os resultados detalhados para todas as diretrizes e seus índices podem ser vistas nos apêndices D, E, F, G e H.

Figura 15 – Matriz de evolução de maturidade

	Melhor ↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓
Etapa de avaliação	MRL 4						
MRL 4	70%	42%	76%	2,2	3,5	1,1	88
MRL 2	47%	29%	67%	2,7	6,1	2,9	166
Límite referência	>=60	100%	100%	<=2,5	<=2,5	*Bt2	*Bt2
	Diretrizes gerais →						
Diretrizes parciais ↓	Índice DFA (AA) →	Custos BOM (BB) →	Qualidade (CC) →	Manuseio (DD) →	Junção/União (EE) →	Outras Uniãoes (FF) →	Custos de Manufatura (GG) →
Quantidade real de componentes (a)	20						
Quantidade mínima teórico de componentes (b)	14						
Componentes padrão (A)		21%					
Custo relativos (B)		63%					
Montar o componente errado (C)			100%				
Montar de maneira errada (D)			53%				
Emaranhado , enosado, pegajoso, colado (E)				0,7			
Flexível (F)				0,1			
Frágil (G)				0,0			
Abrasivo ou afiado (H)				0,0			
Escorregadio (I)				0,0			
Orientação rotacional (J)				0,0			
Uso de alicates, pinças ou 2 mãos (K)				1,4			
Alinhar ou alocar (L)					0,4		
Direção de montagem de cima para baixo (M)					0,3		
Suave para inserir (Não existe resistência) (N)					0,1		
Acesso obstruído (boa visibilidade) (O)					0,3		
Auto-localizado (P)					1,5		
Pode ser montado sem parafusar, dobrar, furar, rebitar, crimpar ou curva (Q)					0,9		
Sem "snap-on" (R)					0,1		
Montar sem solda ou adesivo (S)						1,14	
Custos relativos de manufatura (T)							54
Custos de processamento (U)							17
Custos de materiais(V)							26

Fonte: Autor (2016).

Figura 16 – Exemplo de aplicação de parte da Matriz DFA para a diretriz geral de manuseio.

Identificação do componente		Manuseio						
Sequência	-	Emaranhado, enosado, pegajoso, colado (E)	Flexível (F)	Frágil (G)	Abrasive ou afiado (H)	Escorregadio (I)	Orientação rotacional (J)	Uso de alçates, pinças ou 2 mãos (K)
		-	-	-	-	-	-	-
	Penalidade Mínima	-	-	-	-	-	-	1,0
	Penalidade Máxima	2,0	0,6	0,4	0,3	0,2	0,4	1,5
1 Submontagem 1								
1.1	Valvula	n	n	y	y	y	y	y
1.2	Placa	y	y	y	y	y	y	y
1.3	Fixador	y	y	y	y	y	y	y
1.4	Parafusos	y	y	y	y	y	y	y
2 Submontagem 2								
2.1	Válvula b	n	y	y	y	y	y	y
2.2	Elástico	n	y	y	y	y	y	y
2.3	Fixador de válvula	y	y	y	y	y	y	y
2.4	Fixador 2	y	y	y	y	y	y	y
2.5	Parafusos	y	y	y	y	y	y	y
3 Submontagem 3								
3.1	Corpo	y	y	y	y	y	y	y
3.2	Cabeça	y	y	y	y	y	y	y
3.3	Mola	y	y	y	y	y	y	y
3.4	Acionamento	y	y	y	y	y	y	y
3.5	Conexões elétricas	n	n	y	n	y	y	y
4 Submontagem 4								
4.1	Corpo	y	y	y	y	y	y	y
4.2	Tampa do corpo	y	y	y	y	y	y	y
4.3	Bocal da tampa	y	y	y	y	y	y	y
5 Submontagem 5								
5.5	Linha 1	y	y	y	y	y	y	y
5.6	Fixador de linha	n	y	y	y	y	y	n
	Total	10,0	1,2	0,0	0,3	0,0	0,0	19,5
	Índice parcial	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
	Índice global	2,2						

Fonte: Autor (2016)

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.

O desenvolvimento da proposta mostrou a possibilidade de acompanhar a evolução do projeto com base nas diretrizes gerais e

parciais obtidas por meio do uso e da adaptação das técnicas de DFMA nas matrizes DFA, DFM e DFMA ao longo das etapas de maturidade do projeto definidas como MRL2, MRL3 e MRL4. A possibilidade e acompanhar a evolução do projeto e a facilidade em identificar os pontos de melhoria do produto foram elementos chaves para guiar a mudança no conceito do produto.

As mudanças no conceito de produto estão refletidas nas melhorias dos valores das diretrizes gerais e parciais. O principal impacto foi redução do investimento e custo do produto em 25% e 20% avaliados pelo time do projeto. Também foi possível perceber que a antecipação do projeto de fabricação e montagem, permitiu a depuração mais confiável do produto, permitindo uma redução no tempo de execução.

O aumento nos valores de 47% para 70% na diretriz geral DFA nas etapas de maturidade MRL2 para MRL4 é um exemplo de resultado obtido pela redução e simplificação no *design*, que além de reduzirem os custos de transformação e investimento reduzem riscos de montagem, com a troca de tecnologias não conhecidas ou complexas para mais simples com o mesmo atendimento aos requisitos funcionais.

A Tabela 4 faz um resumo das evoluções das diretrizes principais entre as fases MRL2 e MRL4, e também faz uma descrição que relaciona qual a melhoria no produto está refletida nesta evolução.

Tabela 4 - Principais impactos no projeto e sua relação com os índices

Etapa	Diretriz - DFA	Relação da melhoria da diretriz com a mudança do produto
MRL2→	47%	<p>Redução de 33% do número de peças</p> <p>* O índice de 47% do estágio de maturidade MRL 2 estimulou a equipe de projeto a trabalhar na redução de componentes através de uma análise funcional mantendo a função do produto. A redução do número de componentes é um fator que aliado a uma boa análise de fabricação levou a redução do custo do produto</p>
MRL4→	70%	

Continuação Tabela 4. Principais impactos no projeto e sua relação com os índices

Etapa	Diretriz - Junção/ União	Relação da melhoria da diretriz com a mudança do produto
MRL2→	6,1	O índice de junção/união foi melhorado pela identificação nas planilhas de DFA os pontos críticos do projeto nas submontagens 1, 3 e 5. O conceito de produto trabalhado permitiu ter montagens mais simples, que além de atenderem as diretrizes resultou em menores necessidades de investimentos no processo de manufatura.
MRL4→	3,5	
Etapa	Diretriz - Outras uniões	Relação da melhoria da diretriz com a mudança do produto
MRL2→	2,9	O trabalho foi específico para eliminar a necessidade de utilizar adesivo principalmente em uma união de topo entre três peças cilíndricas de parede fina da submontagem 1, além de outros pontos da submontagem 2. Isto eliminou a necessidade de ter um ambiente de sala limpa e também equipamentos de precisão para dosagem, o que resulta em uma menor necessidade de investimentos e também menos controles quando em produção de larga escala.
MRL4→	1,1	
Etapa	Diretriz - Custos de manufatura	Relação da melhoria da diretriz com a mudança do produto
MRL2→	166	Dentro do desdobramento dos custos de manufatura os principais impactados foram a Submontagem 1 e o Corpo da Submontagem 3. Ambos necessitavam de processos de fabricação com altos níveis de investimento (Retíficas para acabamentos e Centros de usinagem para formas complexas) com a mudança no conceito os processos de fabricação também mudaram para processos mais simples com menores níveis de investimento necessários (Estampagem e usinagem com tornos convencionais) considerando também que a empresa já possui prensas e seriam apenas necessárias ferramentas para estampagem.
MRL4→	88	

Fonte: Autor (2017)

4. MODELO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o método para melhorar a integração entre as áreas de projeto e manufatura na fase de desenvolvimento tecnológico. O método proposto é baseado na revisão da literatura e análise preliminar do modelo.

4.1 BASE DA METODOLOGIA

Para sintetizar o conhecimento obtido pela a revisão da literatura e análise preliminar do modelo, a Tabela 5 apresenta uma descrição dos principais pontos de conexão entre a metodologia proposta e as base.

Tabela 5 - Síntese do conhecimento e conexão com a metodologia

Base	Proposta da metodologia	Conexão com referências
1. Revisão da literatura	Matriz de avaliação de riscos referente a tecnologia de manufatura	Adaptada a metodologia para avaliação de riscos em produtos proposta por Mankins (2009), para a manufatura.
	Avaliar os níveis de maturidade da manufatura	Utilizadas as referências de escala do Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016) e também reutilizadas ou adaptadas por Mankins (2009), Ward (2011), Madison (2015), Peters (2015), Eckhause (2008), Gavankar (2014), Tucker et al (2010).
	<i>Framework</i> gerencial do processo de gestão e inovação tecnológica pré-competitiva sob o ponto de vista de DFMA.	Tanto as propostas de TRL quanto MRL do Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016) apresentam um <i>framework</i> gerencial para referenciar o ciclo de desenvolvimento de produto com seus principais pontos de decisão em cada fase.

Continuação Tabela 5. Síntese do conhecimento e conexão com a metodologia

Base	Proposta da metodologia	Conexão com referências
2. Estudo preliminar do modelo proposto.	Avaliar o nível de maturidade da montagem sob o ponto de vista de <i>design</i> - DFA	Adaptação da matriz de avaliação de produtos com algumas regras de DFA de Stienstra (2016) , onde as entradas qualitativas se traduzem em números, com regras de cálculo baseadas nos regras de design de Lucas (1993).
	Avaliar o nível de maturidade da manufatura sob o ponto de vista de <i>design</i> – DFM	Adaptação da matriz de proposta por Lucas (1993).
	Gerar indicadores de DFMA que possam ser utilizados para acompanhar a evolução da maturidade da manufatura.	Proposição de uma matriz que combina as duas já apresentadas para DFA e DFM

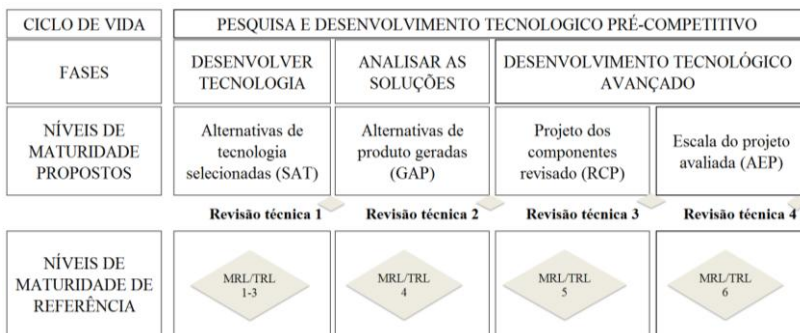
Fonte: Autor (2017).

4.2 DIRETRIZES PARA PROPOSIÇÃO DA METODOLOGIA

A sistemática proposta para melhorar a integração entre as áreas de projeto e manufatura na pesquisa e desenvolvimento tecnológico pré-competitivo, é composta das seguintes fases: Desenvolver Tecnologia, Análise das Soluções, e Desenvolvimento Tecnológico Avançado. A Figura 17 apresenta esta estruturação

No modelo apresentado, estas fases estão associadas a níveis de maturidade de tecnologia: Selecionar alternativas de tecnologia (SAT), gerar de alternativas de produto (GAP), revisar o projeto dos componentes (RPC) e avaliar a escalabilidade do projeto (AEP). Por sua vez, estas etapas estão correlacionadas aos níveis de (TRL) e (MRL) apresentados pelo Departamento de Defesa Norte Americano em seu Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016).

No final de cada um destes níveis é proposta a realização de uma revisão técnica que deve ser realizada em um fórum multifuncional técnico.

Figura 17 – *Framework* do modelo proposto

Fonte: Autor (2017).

Este modelo deve começar antes do modelo de PDP tradicional. A Figura 18 apresenta uma visão geral para entender esta conexão, onde A são as microfases de desenvolvimento do modelo de referência proposto por Rozenfeld (2006), B são as etapas do um modelo genérico apresentado por Araújo (2017), C são as etapas deste modelo proposto e D são os níveis de maturidade MRL.

O modelo começa na pesquisa básica e termina com um projeto de produto e processos de fabricação otimizados porém não necessariamente homologados. Quando comparado ao modelo de Rozenfeld (2006) é possível identificar que o mesmo termina dentro da fase de projeto detalhado ou até o projeto da proposta de Araújo (2017).

Figura 18 – Representação das conexões entre o modelo proposto e modelos já conhecidos.



Fonte: Autor (2017).

A proposição do modelo para integração das áreas de conhecimento de projeto e manufatura foi realizada utilizando a simbologia da Figura 19.

A proposta está organizada em 4 grandes blocos, os quais correspondem aos níveis de maturidade de tecnologia de manufatura proposto.

O nível de maturidade (SAT) tem com objetivo é a comprovação dos novos conceitos de tecnologia.


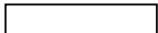




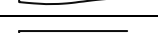
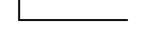
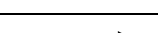
O segundo nível (GAP) tem como objetivo auxiliar na geração do conceito do produto sob o ponto de vista de DFMA.

O terceiro nível (RPC) busca revisar o projeto dos componentes do produto com base em seus requisitos funcionais.

No quarto nível (AEP) é realizada a primeira avaliação de produtividade, o que inicia e valida a escalabilidade da produção.

Ao final de cada uma destas fases deve ocorrer um reunião de revisão técnica, envolvendo equipes das áreas de projeto e manufatura. Para chegar a cada etapa de revisão técnica o time de projeto deve seguir a receita de execução que tem seus elementos representativos e a simbologia apresentados na Figura 19 e o fluxograma da Figura 20.

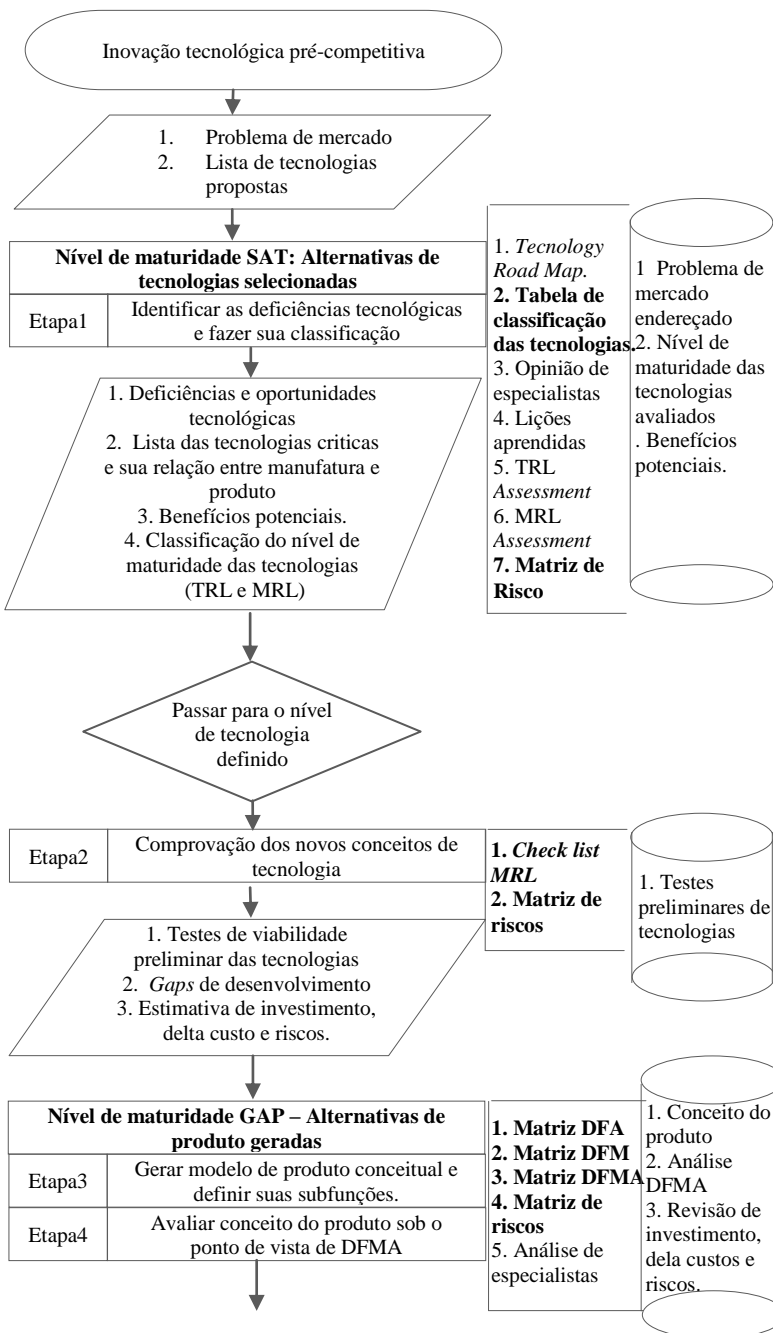
Figura 19 – Elementos representativos e simbologia da metodologia

SÍMBOLOS	SIGNIFICADO DOS SÍMBOLOS NO PROCESSO DE PROJETO
	Início ou fim de um processo
	Processo, ação ou atividade executada
	Avaliação dentro do processo de projeto
	Indica entrada e saída de informações
	Indica armazenamento de informações
	Indica documento gerado
	Indica uma ferramenta de projeto a ser empregada <i>*Descrição em negrito indica que é uma ferramenta proposta/adaptada pelo autor, as demais são conhecidas.</i>
	Indica sequência do processo de projeto
	Indica um retorno dentro do processo de projeto

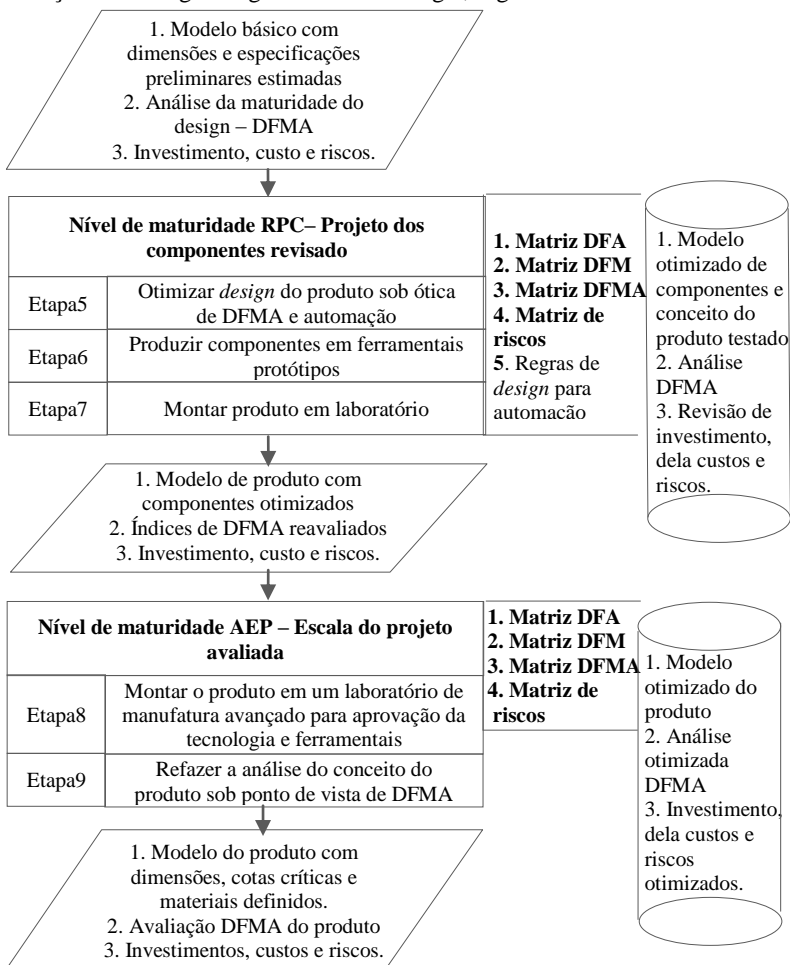
Fonte: Maribondo,(2000) *apud* Ferreira, (2002).

Na Figura 20 está apresentado o modelo proposto de forma detalhada.

Figura 20 – Fluxograma geral da metodologia



Continuação do fluxograma geral da metodologia, Figura 20.



Fonte: Autor (2017).

A seguir será apresentado de forma detalhada cada etapa.

4.4 FASE DE DESENVOLVER TECNOLOGIA.

Esta primeira fase da sistemática propõe atividades relacionadas com o nível de maturidade (SAT) e é composta por duas etapas descritas na Figura 21. Esta fase tem como objetivo identificar deficiências

tecnologias e selecionar as alternativas de tecnologia para o projeto do produto, ou seja, comprovar que os efeitos dos novos conceitos de tecnologia.

As informações de entrada para a etapa 1 são os problemas de mercado e a lista de tecnologias propostas, já as saídas serão:

- Deficiências e oportunidades tecnológicas mapeadas
- Lista das tecnologias críticas e sua relação entre manufatura e produto
- Benefícios potenciais
- Classificação do nível de maturidade das tecnologias
- Nível de maturidade em que a nova tecnologia está classificada (TRL e MRL)

Para a realização da etapa 2 são propostas as tarefas dentro da mesma Figura 21 e como ferramentas de apoio tem-se o *Check List* de avaliação do SAT e Matriz TRAA.

Figura 21 – Tarefas, entradas e saídas do SAT

Alternativas de tecnologias selecionadas			
Etapa1	Identificar as deficiências tecnológicas e fazer sua classificação		
Lista das tecnologias	Tarefa 1.1	Classificar as tecnologias com críticas (CTEs) ou não.	Identificação das CTEs – anexo A
Necessidade de mercado	Tarefa 1.2	Acessar os níveis de maturidade MRL e TRL para as CTEs	Acessar TRL e MRL – anexo B
Lista das tecnologias	Tarefa 1.3	Realizar a classificação das tecnologias e benefícios	Tabela de classificação 1
Lista das tecnologias	Tarefa 1.4	Impactos dos desenvolvimentos de manufatura no <i>design</i> do produto	Definido pelo usuário
Etapa2	Comprovação dos novos conceitos de tecnologia		
Lista das tecnologias	Tarefa 2.1	Realizar testes de aprovação dos conceitos de manufatura	Definido pelo usuário
Lista das tecnologias	Tarefa 2.2	Definir investimento para a tecnologia, delta custo esperado.	Definido pelo usuário
	Tarefa 2.3	Efetuar o <i>check list</i> do SAT	Check list SAT

Continuação Tarefas, entradas e saídas do SAT, Figura 21

Tarefa 2.4	Fazer a classificação do nível de risco e tempo para fechar SAT	Matriz TRAA
Tarefa 2.5	Realizar uma análise crítica do projeto	
		Definido pelo usuário

Fonte: Autor (2017).

Tarefa 1.1. Classificar as tecnologias com críticas (CTEs) ou não: Tendo sido identificadas as tecnologias a serem desenvolvidas, por meio de algum processo anterior, para que esta tecnologia faça parte do escopo do trabalho a mesma deve ser classificada de acordo com a sua criticidade (CTE). Para isto pode ser utilizado o método de perguntas adaptado do Technology Readiness Assessment Guide (2015) que está apresentado no anexo A.

Tarefa 1.2. Acessar os níveis de maturidade MRL e TRL para as CTEs: O nível de maturidade de cada subsistema ou componente deve ser definido com base nas regras guias gerais do TRL e MRL pelas equipes de tecnologia de produtos e processos de manufatura. Esta análise pode ser realizada tanto individualmente ou em workshops a depender no nível de maturidade do time de projetos. Para auxiliar este processo sugere-se o emprego da proposta apresentada no anexo B.

Tarefa 1.3. Realizar a classificação das tecnologias e benefícios: A tecnologia identificada para suprir as necessidades do mercado deve ser relacionada a uma subfunção de produto. Segundo Pahl and Beitz (1984, p 61*apud* Mital 2014) para definir uma tecnologia de produto é necessário ter o diagrama de blocos com as subfunções esperadas. Com estas subfunções mapeadas é possível se conceber um subsistema de produto o qual necessita de uma tecnologia para operar. As tecnologias de processos de manufatura serão então definidas visando atender estas subfunções. Para cada tecnologia apresentada colocar os benefícios. Benefícios ao produto são efeitos da tecnologia sob as funções do produto e benefícios ao projeto se referem a tripla restrição, definida pelo PMBOK (2011), como escopo, tempo e custos.

Para auxiliar a realização desta etapa devem ser empregadas as informações obtidas nos itens anteriores e a tabela de classificação das tecnologias apresentada esquematicamente na Figura 22 e exemplificada

no Apêndice B. Estas informações serão a base para o desenvolvimento tecnológico.

Figura 22 – Modelo esquemático da tabela de classificação das tecnologias

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Id.	Subsistema / Componente produto	Subfunção do subsistema/ Componente produto	Tecnologia de produto	TRL	Tecnologia de manufatura	MRL	CTE? (Sim/Não)	Principal benefício (s) esperado (s) no produto e/ou projeto
1								
n								

Fonte: Autor (2017).

A: Id: Número sequencial e 1 até n ou outra identificação simbólica da tecnologia

B: Subsistema do produto

C: Subfunção: Refere-se a subfunção do subsistema como proposto por Pahl and Beitz (1984, p 61 apud Mital 2014).

D: Tecnologia de produto: Refere-se a solução proposta no componente ou subsistema para atender a subfunção.

E: Tecnologia de manufatura : Refere-se a solução de manufatura para atender a proposta de tecnologia de produto..

F: TRL e MRL: Corresponde ao estágio de maturidade em que as tecnologias se encontram

G: Benefício (s) : Refere-se aos efeitos que as tecnologias tem sobre o produto e/ou o projeto.

H: CTE (Elementos críticos de tecnologia): Responder com sim ou não referente ao critério de tecnologia crítica (CTE)

I: Principais benefícios esperados com o desenvolvimento desta tecnologia.

Tarefa 1.4. Listar os principais impactos dos desenvolvimentos de manufatura no *design* do produto: Fazer uma descrição que será utilizada como guia de orientação futuras aplicações no desenvolvimento do produto e para auxílio das análises críticas sob os pontos de mudança.

Tarefa 2.1. Realizar testes de aprovação dos conceitos de manufatura: São testes ou experimentos que devem ser definidos e realizados por especialistas em cada tipo de tecnologia que confirmem a viabilidade de produção do produto com o processo de manufatura selecionado. Pode ser feito de forma analítica ou em ambiente de laboratório se necessário.

Tarefa 2.2. Listar os principais impactos relacionados a investimento para a tecnologia e delta custo esperado Com base nos conceitos de manufatura definidos, listar os principais impactos relacionados a níveis de investimento necessários para as tecnologias de forma individual bem como o acréscimo ou decréscimo de custo esperado para uma determinada referência de produto.

Tarefa 2.3. Realizar o *check list* SAT: O *check list* de avaliação do SAT apresentado na Figura 23, a base para a tomada de decisão na análise crítica 1. O nível ideal para passar de fase é 100%, ou seja, atender a todos os critérios estabelecidos. Quando o nível for menor deve-se avaliar com os envolvidos das áreas de projeto e manufatura, afim de obter um consenso.

Tarefa 2.4. Fazer a classificação do nível de risco: Os riscos devem ser classificados seguindo os critérios da matriz TRAA, adaptada de Mankins (2009), apresentada no Apêndice C e detalhado na seção 2.2.

Tarefa 2.5. Realizar uma análise crítica do projeto: Reunir as principais partes interessadas do projeto para apresentação dos resultados até o momento e tomada de decisão de passagem de fase. O principal documento para esta decisão é o *Check List* do SAT.

Figura 23 – *Check list* de avaliação do SAT

Critério	Tópicos de avaliação	Atende ao Critério [SIM/NÃO]
Base tecnológica e industrial	Foram identificadas as possíveis fontes para fabricação da tecnologia ?	
Base tecnológica e industrial	Os conceitos de tecnologia de fabricação foram identificados através de experimentos / modelos?	
<i>Design</i>	Os materiais / processos relevantes foram avaliados para fabricação usando experiências / modelos?	
<i>Design</i>	Os principais requisitos de desempenho realacionados ao novo processo foram definidos ?	
<i>Design</i>	Os pro e contras das opções de design foram avaliados com base em experimentos?	
<i>Design</i>	Os requisitos técnicos e de ciclo de vida do produto foram considerados ?	
Custo e Financiamento	Os objetivos custo iniciais e riscos foram identificados?	
Custo e Financiamento	Foi desenvolvido um modelo base de custo ,mesmo que em alto nível?	
Custo e Financiamento	Os modelos de custo de tecnologia foram desenvolvidos para novas etapas de processo e materiais com base em experimentos?	
Custo e Financiamento	Foi realizada uma análise de sensibilidade para definir <i>drivers</i> de custos e estratégia de desenvolvimento de produção (ou seja, laboratório para piloto para fábrica)?	
Materiais	As propriedades dos materiais foram validadas e avaliadas para a fabricação básica usando experiências?	
Materiais	Foram identificados problemas de escala de material?	
Materiais	Foi concluída uma avaliação inicial do potencial capacidade da cadeia de suprimentos?	
Materiais	Uma avaliação inicial dos potenciais requisitos regulamentares e preocupações especiais de manipulação de materiais foi concluída?	
Materiais	Os procedimentos de manipulação especiais em potencial foram aplicados no laboratório?	
Materiais	Foram avaliadas preocupações especiais de manipulação?	
Capacidade de Processo e Controle	Os conceitos de fabricação propostos ou as necessidades de produtividade foram identificadas com base em modelos de fluxograma de processo de alto nível?	
Capacidade de Processo e Controle	Os processos de fabricação de alto nível foram documentados?	
Capacidade de Processo e Controle	Os processos críticos de fabricação foram identificados através da experimentação?	
Capacidade de Processo e Controle	Foram concluídas as estimativas iniciais de eficiências com base em experiências ou estado da técnica?	
Operadores de produção	As novas habilidades necessárias para fabricação foram identificadas?	
Operadores de produção	Foram avaliadas as habilidades de fabricação necessárias para produzir, testar e apoiar os conceitos propostos?	
Operadores de produção	Foram avaliadas as habilidades de fabricação necessárias para produzir, testar e apoiar os conceitos propostos?	
Instalações	Foram identificados os requisitos / necessidades das instalações especializadas?	
Resultado da avaliação	% de aderência	(X %)
* % de aderência representa quanto o programa/projeto está atendendo aos requisitos da fase com base na lista de perguntas.		

Fonte: Adaptado de Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016).

4.5 FASE DE ANÁLISE DAS SOLUÇÕES.

Esta fase é composta por pelo nível de maturidade GAP, onde se busca gerar uma a alternativa de produto.

Uma vez selecionadas as possíveis tecnologias inicia-se a fase de gerar alternativas de produto. O objetivo é gerar opções para o *design* do produto e demonstrar capacidade de produzi-lo em um ambiente de laboratório.

Segundo Mankins (2011), quando se fala em maturidade de tecnologia (TRL), nesta etapa, o produto já deve ser testado e sua *performance* identificada. Como resultado é possível tem um modelo funcional e sua lista de materiais para uma avaliação de DFMA proposta pelo autor. As principais saídas desta fase são:

- Construção de um modelo básico com dimensões e especificações preliminares
- Análise da maturidade do design – DFMA
- Investimento, custo e riscos

Para auxiliar na gerar de alternativas de produto sugere-se a realização das tarefas descritas na Figura 24.

Figura 24 – Tarefas, entradas e saídas do GAP

Alternativas de produto geradas			
Etapa 3	Gerar modelo de produto conceitual e definir suas subfunções.		
Lista das tecnologias	Tarefa 3.1	Criar um modelo com as dimensões principais do produto e seus componentes	Definido pelo usuário
	Tarefa 3.2	Criar uma lista de componentes do produto e seus subsistemas.	Definido pelo usuário
Etapa 4	Avaliar o conceito do produto sob o ponto de vista de DFMA		
Conceito produto	Tarefa 4.1	Aplicar as planilhas DFA, DFM e DFMA	Matrizes DFA, DFM e DFMA
Protótipo do produto	Tarefa 4.2	Obter resultados preliminares de produto com a configuração escolhida.	Plano de testes de produto
	Tarefa 4.3	Gerar uma lista de equipamentos necessários, seus investimentos e custos	Definido pelo usuário
	Tarefa 4.4	Fazer a classificação do nível de risco	Matriz TRAA
	Tarefa 4.5	Realizar uma análise crítica do projeto e selecionar o conceito do produto	Definido pelo usuário

Fonte: Autor (2017).

Tarefa 3.1. Criar um modelo com as dimensões principais do produto e seus componentes do produto. O modelo conceitual do produto deve ser feito pelo time do projeto com base nas regras da empresa ou meio envolvido. Este modelo deve conter as dimensões principais e materiais utilizados para permitir as análises de DFMA.

Tarefa 3.2. Criar uma lista de componentes do produto completo: Esta é a lista dos sistemas, subsistemas e componentes do produto.

Tarefa 4.1. Aplicar as planilhas DFA e DFM e DFMA: Fazer a análise do produto sob a ótica do DFA e DFM apresentando os resultados na matriz DFMA, seguindo os passos descritos no estudo preliminar do modelo.

Tarefa 4.2. Obter resultados preliminares de produto com a configuração escolhida: São os resultados de testes de validação do produto que devem ser seguidos pela empresa ou meio onde o mesmo está sendo desenvolvido. Estes resultados ainda são de uma montagem feita em laboratório e servirão de base para comparação nas futuras modificações de *design*.

Tarefa 4.3. Gerar uma lista de equipamentos necessários, seus investimentos e custos do produto. Baseado no conceito dos processos de fabricação definidos para atender ao produto desenvolvido, criar uma lista com valores de investimentos e custos do produto. Para isto pode ser utilizado uma base histórica ou até mesmo de consulta preliminar a potenciais fornecedores.

Tarefa 4.4. Fazer a classificação do nível de risco: Os riscos devem ser classificados seguindo os critérios da matriz TRAA, adaptada de Mankins (2009), apresentada no Apêndice C e detalhado na seção 2.2

Tarefa 4.5. Realizar uma análise crítica do projeto e selecionar o conceito do produto: Reunir os principais a partes interessadas do projeto para apresentação dos resultados até o momento e com base nas análises das tarefas anteriores tomar a decisão de conceito do produto e também de passagem de fase.

Tanto o Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016), Ward (2011) e Peters (2015) converge para a afirmação que este nível é o ultimo da fase de refino do conceito, indica que as tecnologias estão prontas para iniciar a fase de desenvolvimento, ou seja sem dúvidas de conceito. Foi o melhor momento para influenciar no *design* do produto.

4.6 FASE DE DESENVOLVIMENTO AVANÇADO DE TECNOLOGIA

Esta fase é composta por pelos níveis de maturidade RPC e AEP, chamada por Ward (2011) de pré-produção. O Manufacturing Readiness Level Deskbook (2016) apresenta que esta fase tem o objetivo em prototipar e demonstrar as tecnologias em um ambiente relevante de produção, ou seja, um ambiente com algum realismo de chão de fábrica, que pode ser pessoas, ferramentas, matérias, equipamentos e processos.

No nível de maturidade RPC, o principal objetivo é avaliar capacidade de produzir os componentes em um ambiente de produção. As tarefas para execução desta fase estão relacionadas na Figura 25.

Figura 25 – Tarefas, entradas e saídas do RPC

Projeto dos componentes revisado			
Etapa5	Otimizar <i>design</i> do produto referente a pontos da última avaliação DFMA		
Lições do GAP	Tarefa 5.1	Revisão de projeto e atualização das matrizes DFA, DFM e DFMA	Matrizes DFA, DFM e DFMA.
	Tarefa 5.2	Revisão de projeto dos componentes para os tipos de automação definidos.	Desenhos em CAD
Etapa 6	Produzir componentes em ferramentais protótipos.		
Desenhos preliminares	Tarefa 6.1	Produzir amostras e avaliar os requisitos de manufatura necessários	Definido pelo usuário
Etapa 7	Montar o produto em laboratório.		
Componentes	Tarefa 7.1	Avaliar o resultado da produção protótipo com os primeiros testes de produto	Definido pelo usuário
	Tarefa 7.2	Fazer estimativa de investimentos, custo do produto e riscos.	Matriz TRAA
	Tarefa 7.3	Realizar uma análise crítica do projeto	Definido pelo usuário

Fonte: Autor (2017).

Tarefa 5.1. Revisão de projeto e atualização das matrizes DFA, DFM e DFMA: O projeto deve ser revisado pelos times de projeto e manufatura com base nos resultados obtidos na fase anterior. Esta revisão deve ser realizada com auxílio das mesmas matrizes de DFA, DFM e DFMA no intuito de fazer melhorias no mesmo.

Tarefa 5.2. Revisão de projeto dos componentes para os tipos de automação definidos: Otimizar o *design* dos componentes com base nas regras de projeto para automação de Boothroyd ; Dewurst andn Kinght (2011) apresentadas no anexo C.

Tarefa 6.1. Produzir amostras e avaliar os requisitos de manufatura necessários: As amostras produzidas com o ferramental protótipo serão base para comprovar que o projeto da manufatura escolhido é possível fabricar o conceito de produto selecionar, com base em uma avaliação de capacidade. Além da capacidade deve também ser avaliada a produtividade.

Tarefa 7.1. Avaliar o resultado da produção protótipo com os primeiros testes de produto: Com base nos resultados do produto o ferramental já pode ser validado como protótipo dando origem as primeiras especificações de tolerâncias e de projeto.

Tarefa 7.2. Fazer estimativa de investimentos e custo do produto e riscos: Com base nos projetos de componentes definidos já possível melhorar a assertividade no nível de investimento necessário para produção bem como atualizar os de custos do produto e a matriz de riscos tecnológicos (TRAA) adaptada de Mankins (2009), apresentada no Apêndice C e detalhado na seção 2.2

Tarefa 7.3 Realizar uma análise crítica do projeto: Reunir as principais a partes interessadas do projeto para apresentação dos resultados até o momento e com base nas análises das tarefas anteriores tomar a decisão de passagem de fase.

A última etapa de maturidade é o nível AEP. Este nível está associado com a decisão de iniciar o programa de aquisições. Seu objetivo é avaliar a capacidade de produzir o produto em um ambiente de produção relevante. Nesta fase já existe a aprovação de preliminar do produto bem como o projeto preliminar dos componentes. Os ferramentais, equipamentos e habilidades operacionais já foram demonstradas em um ambiente de produção relevante. O custo já está composto ao ponto de fazer uma análise de riscos sobre o atendimento das metas do projeto.

Um ambiente de produção relevante é um ambiente com realismo de chão de fábrica (operadores, *facilities* ,ferramentais, materiais etc).

As tarefas para execução desta fase estão relacionadas na Figura 26.

Figura 26 – Tarefas, entradas e saídas do AEP

Escala do projeto avaliada			
Etapa 8	Montar o produto em laboratórios de manufatura avançado para aprovação da tecnologia e ferramentais		
Componentes	Tarefa 8.1	Montar o produto com componentes protótipos para avaliação de DFMA	Definido pelo usuário
Etapa 9	Atualizar o projeto do produto com base na análise prática de DFA		
Desenhos	Tarefa 9.1	Revisar o projeto e finalizar planilhas DFA, DFM e DFMA	Matrizes DFA, DFM e DFMA
	Tarefa 9.2	Gerar o modelo de produto e a especificação do processo de fabricação	Definido pelo usuário
	Tarefa 9.3	Fechar a análise de investimentos, custo do produto e riscos.	Matriz TRAA
	Tarefa 9.4	Realizar uma análise crítica do projeto	Definido pelo usuário

Fonte: Autor (2017)

Tarefa 8.1. Montar o produto já com componentes protótipos para avaliação prática de DFMA: O acompanhamento das montagens irá gerar dados para otimizar o projeto do produto.

Tarefa 9.1. Revisar o projeto e finalizar planilhas DFA, DFM e DFMA: Com base nos resultados da produção o projeto deve ser revisado pelos times de projeto e manufatura. Esta revisão deve ser realizada com auxílio das mesmas matrizes de DFA, DFM e DFMA no intuito de fazer melhorias no mesmo.

Tarefa 9.2. Gerar o modelo de produto e a especificação do processo de fabricação: Tanto produto quanto processo de fabricação devem ter suas especificações e alocações de tolerância preliminares.

Tarefa 9.3. Fazer estimativa de investimentos e custo do produto e riscos: Para avaliação de riscos atualizar a matriz de riscos tecnológicos (TRAA). Com base nos projetos de componentes definidos, o projeto do produto mais maduro e a escalabilidade já definida é possível concluir as análises de investimento necessário para produção e os custos do produto com riscos reduzidos melhorando a confiabilidade das análises econômicas do projeto.

Tarefa 9.4. Realizar uma análise crítica do projeto:

Reunir os principais a partes interessadas do projeto para apresentação dos resultados até o momento e com base nas análises das tarefas anteriores tomar a decisão de passagem de fase.

Desta forma, ao final do método proposto tem-se um projeto de produto e manufatura prontos para entrar na fase de desenvolvimento com as seguintes características:

- Modelo de produto como dimensões, cotas críticas e materiais definidos.
- Avaliação da maturidade do *design* do produto sob o ponto de vista do DFMA.
- Investimentos e custos atualizados como um nível alto de assertividade, que irão possibilitar uma boa análise de viabilidade do projeto.
- Análise de riscos para auxílio nas tomadas de decisão e definições dos próximos passos do projeto.

5 AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA

A avaliação da sistemática tem como objetivo identificar seu potencial de uso em ambientes projeto em estágios preliminares de desenvolvimento bem como identificar oportunidades de melhoria.

A proposta segue as experiências já realizadas por Inthamoussu (2015 *apud* Romano 2003, Montanha Jr 2004, Leonel 2006, Ibarra 2007 e Moehrle et al. 2012), e se dará em duas etapas :

- Workshop para apresentação e desenvolvimento de um experimento com um time de projetos composto por 16 pessoas que trabalham com pesquisa e desenvolvimento em uma empresa multinacional do ramo metal mecânico;
- Aplicação de um questionário de avaliação para os profissionais que participaram do estudo de caso, afim de refletir sobre os potenciais resultados com a aplicação da sistemática.

5.1 CRITÉRIOS E QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO

A avaliação da proposta busca verificar o atendimento das necessidades dos profissionais das áreas de projeto e manufatura que trabalham em ambientes de desenvolvimento de projetos na etapa pré-competitiva. Além disto a proposta foi avaliada considerando aspectos de forma, clareza, completeza e outros.

O primeiro conjunto de critérios para esta avaliação corresponde às diretrizes do modelo de sistemática proposto. A partir destas diretrizes, descritas na Tabela 6, foram geradas questões para serem respondidas pelos avaliadores. As questões de 1 a 4 estão relacionadas a diretrizes gerais da ferramenta de trabalho e a questão número 5 trata de avaliar aplicabilidade na empresa.

Tabela 6 - Critérios e questões de avaliação da sistemática como ferramenta de trabalho

Diretriz	Descrição	Questões de avaliação
1	Propor um fluxo e ferramentas que permitam o trabalho integrado dos times de projeto e manufatura	A sistemática propõe um fluxo e ferramentas que ajudem a estruturar, integrar e sistematizar o trabalho de engenharia simultânea de projetos e manufatura durante as fases iniciais de projeto?

Continuação da Tabela 6. Critérios e questões de avaliação da sistemática como ferramenta de trabalho para profissionais de projeto e manufatura

Diretriz	Descrição	Questões de avaliação
2	Facilitar registro de informações e tomada de decisão	A sistemática possibilita um melhor registro de informações bem como facilita a tomada de decisão do projeto?
3	Efetividade do DFMA	As matrizes apresentadas melhoram a efetividade da aplicação do DFMA nas fases iniciais de projeto ?
4	Orientação temporal e riscos	A sistemática, através do seus níveis de maturidade e riscos (MRL, TRL e TRAA) permite uma melhor orientação temporal do projeto em relação ao estágio do desenvolvimento bem como os riscos envolvidos?
5	Avaliar o potencial de aplicabilidade da ferramenta na empresa em questão.	É possível aplicar a sistemática nesta empresa?

Fonte: Autor (2017).

Enoki (2006 *apud* VERNADAT, 2006) define que o modelo de referência proposto deve responder às perguntas acerca do que deve ser feito e com quais informações de entrada e saída, como e quando deve ser realizado, quem são os responsáveis pelas diversas funções organizacionais e onde essas funções devem ser executadas.

Então, para verificar se a sistemática proposta pode ser enquadrada como um modelo de referência, a mesma foi avaliada com por um conjunto de critérios provenientes da literatura. A Tabela 7 mostra esses critérios e as respectivas questões de avaliação, resultantes

do estudo dos trabalhos de Inthamoussu (2015 *apud* Vernadat 1996, Fox 1998, Romano 2003, Aalst 2000, Bi 2004 e Ibarra 2007).

Tabela 7 - Critérios de avaliação da sistemática como modelo de referência.

Critérios de Aplicação	
Aplicabilidade da sistemática	A sistemática se aplica às necessidades da realidade empresarial que você conhece quanto à integração das áreas de manufatura e de projetos? (FOX, 1998; VERNADAT, 1996; ROMANO, 2003)
Critérios de Representação	
Clareza gráfica	A representação gráfica dessa sistemática (fluxo de processo e matriz) apresenta de forma clara e amigável as fases e atividades? (FOX, 1998; VERNADAT, 1996; AALST, 2000; ROMANO, 2003; BI, 2004).
Rigor da representação	A representação dessa sistemática (fluxo de processo e matriz) apresenta de forma objetiva fases e atividades de forma a não haver redundância? (VERNADAT, 1996; ROMANO, 2003)
Critérios de Conteúdo	
Completeza	A sistemática contém toda a informação necessária para realizar a integração das áreas de manufatura e projeto? (FOX, 1998; VERNADAT, 1996; ROMANO, 2003; AALST, 2000)
Robustez	A sistemática pode ser usada para o desenvolvimento de variados tipos de tecnologias? (FOX, 1998; VERNADAT, 1996; ROMANO, 2003)
Reusabilidade	A estrutura da sistemática pode ser adaptada para uso em outros tipos de negócio ? (FOX, 1998; VERNADAT, 1996, ROMANO, 2003; BI; 2004)

Continuação Tabela 7 – Critérios de avaliação da sistemática como modelo de referência.

Critérios de Conteúdo	
Eficiência Econômica	A execução da sistemática, mantendo a qualidade de execução adequada, é enxuta em termos de recursos e tempo, de modo a manter uma relação custo <i>versus</i> benefício viável? (AALST, 2000)

Fonte: Adaptado de Inthamoussu (2015).

Baseado nos dois conjuntos de critérios foi elaborado um questionário de avaliação, composto pelas seções:

- Caracterização do entrevistado
- Avaliação do atendimento às diretrizes do modelo de sistemática proposto por meio de um questionário
- Avaliação da sistemática como modelo de referência por intermédio de um questionário
- Avaliação da contribuição da sistemática proposta para integração das áreas de engenharia de manufatura e projetos;
- Comentários e sugestões.

O questionário elaborado está apresentado no Apêndice I.

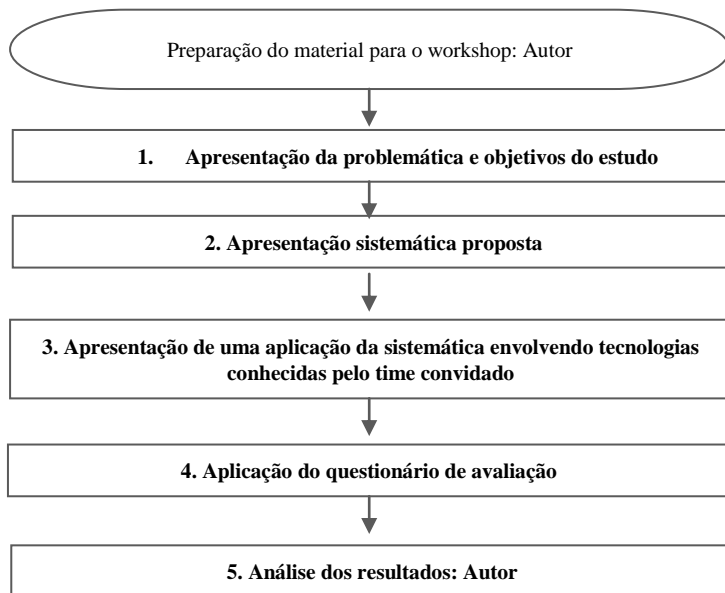
5.2 WORKSHOP

A seguir será descrita a avaliação realizada, em formato de workshop, além dos resultados decorrentes da mesma.

5.2.1 Procedimentos de Avaliação

Para a avaliação da sistemática proposta, realizou-se um workshop com um time multifuncional que trabalha com projetos de desenvolvimento avançado de tecnologia composto por 16 participantes. A duração foi de três horas e a sequência foi organizada conforme a Figura 27.

Figura 27 – Procedimento de avaliação



Fonte: Adaptado de Inthamoussu (2015).

A primeira etapa foi o início do workshop, onde foi realizada a apresentação da problemática em estudo através de um exemplo de aplicação bem como o objetivo do trabalho de pesquisa a ser realizado no dia.

A segunda etapa apresenta a sistemática e suas conexões com a referência teórica a fim de trazer o embasamento científico do estudo.

A terceira etapa foi, por sua vez a apresentação de um caso envolvendo tecnologias da empresa em questão aplicadas ao longo do processo da sistemática para a exemplificação do modelo de uso. Teve duração de 1,5 horas e aconteceu em um formato apresentação oral com exemplos práticos de aplicação aberta para discussões do grupo.

Ao final aplicou-se o questionário de avaliação, recebido e respondido pelos participantes ao final do exercício.

5.2.2 Caracterização dos entrevistados

O conjunto consistiu em 16 profissionais que trabalham da área de pesquisa e desenvolvimento de projetos de uma multinacional do setor metal mecânico com mais de 10.000 funcionários e um faturamento anual maior que 1.5 Bilhões de dólares. Suas experiências multifuncionais contribuem para melhorar a eficiência a avaliação. A Tabela 8 faz uma apresentação destes perfis para uma melhor caracterização.

Tabela 8 - Caracterização dos participantes

Participante	Tempo total de experiência (anos)	Últimas duas funções dentro da empresa	Área funcional	Áreas de conhecimento
1	20	1. Engenheiro de processos sênior 2. Gerente de manufatura	1. P&D 2. Manufatura	1. Processos de fabricação conformação e tratamento térmico 2. Gestão da produção
2	12	1. Gerente de projetos 2. Engenheiro de processos sênior	1. P&D 2. P&D	1. Gerenciamento de projetos 2. Sistemas de manufatura.
3	15	1. Engenheiro de processos sênior 2. Engenheiro de processos pleno	1. P&D 2. Manufatura	1. Processos de fabricação usinagem 2. Processos de fabricação usinagem
4	22	1. Engenheiro de processos sênior 2. Analista de manufatura	1. P&D 2. Manufatura	1. Sistemas de manufatura 2. Produção e produtividade

Continuação Tabela 8. Caracterização dos participantes

Participante	Tempo de experiência (anos)	Últimas duas funções dentro da empresa	Área funcional	Áreas de conhecimento
5	15	1. Engenheiro de processos <i>expert</i> 2. Engenheiro de processos sênior	1. P&D 2. P&D	1. Processos de fabricação usinagem 2. Processos de fabricação usinagem
6	25	1. Engenheiro de processos sênior 2. Engenheiro de processos pleno	1. P&D 2. P&D	1. Processos de fabricação conformação e soldagem 2. Processos de fabricação conformação e soldagem
7	13	1. Gerente de P&D 2. Engenheiro de processos <i>expert</i>	1. P&D 2. P&D	1. Gestão de times de engenharia de processos de fabricação 2. Processos de fabricação de linhas de montagem
8	15	1. Engenheiro de processos sênior 2. Engenheiro de processos pleno	1. P&D 2. Manufatura	1. Processos de fabricação linhas de montagem 2. Processos de fabricação linhas de montagem e motores

Continuação Tabela 8. Caracterização dos participantes

Participante	Tempo de experiência (anos)	Últimas duas funções dentro da empresa	Área funcional	Áreas de conhecimento
9	23	1. Engenheiro de processos sênior 2. Engenheiro de processos pleno	1. P&D 2. P&D	1. Processos de fabricação linhas de montagem 2. Processos de fabricação linhas de montagem
11	13	1. Pesquisador <i>Principal</i> 2. Engenheiro de processos <i>expert</i>	1. P&D 2. P&D	1. Processos de fabricação 2. Processo de fabricação soldagem
12	10	1. Pesquisador <i>expert</i> 2. Pesquisador sênior	1. P&D 2. P&D	1. Gerenciamento de projetos de Pesquisa e Inovação 2. Engenharia de produtos e sistemas térmicos
13	18	1. Pesquisador <i>expert</i> 2. Gerente de finanças	1. P&D 2. Controladoria	1. Sistemas de manufatura e viabilidade econômica de projetos 2. Gerenciamento de investimentos em projetos
14	33	1. Diretor de P &D 2. Pesquisador <i>Fellow</i>	1. P&D 2. P&D	1. Engenharia e sistemas de manufatura 2. Engenharia e sistemas de manufatura

Continuação Tabela 8. Caracterização dos participantes

15	3	1. Analista de PMO pleno 2. N.A	1. P&D 2. N.A	1. Escritório de gerenciamento de projetos (PMO) 2. N.A
16	18	1. Gerente de P&D 2. Engenheiro de processos <i>expert</i>	1. P&D 2. P&D	1. Gestão de times de engenharia de processos de fabricação 2. Processos de fabricação, conformação e soldagem

Fonte: Autor (2017).

5.3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

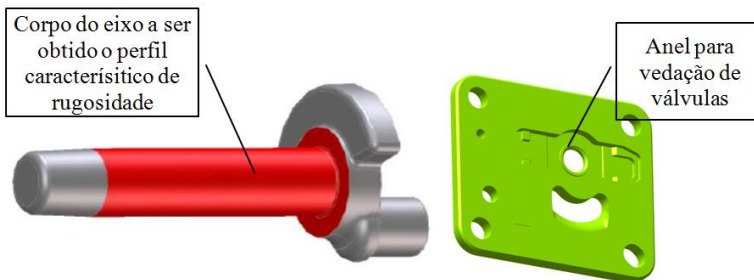
Para melhorar o entendimento, como proposto no item 3 dos procedimentos para a avaliação já apresentados na Figura 27 foi apresentado um exemplo de aplicação da sistemática em componentes e produtos da empresa do qual os integrantes do workshop faziam parte, passando por todos os passos como apresentado na sequência.

5.3.1 Nível 1 – Alternativas de tecnologia selecionadas

É o primeiro nível de maturidade, que começou com a identificação deficiências tecnológicas relacionadas a dois componentes de um compressor hermético para refrigeração, são elas:

1. Deficiência tecnológica A: Obter via operações de manufatura um perfil geométrico de uma forma específica para uma região chamada de anel para vedação de válvulas, como apresentado na Figura 28.
2. Deficiência tecnológica B: Obter via operações de manufatura um acabamento com um perfil característico na rugosidade do corpo de um eixo, como apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Exemplos de componentes e indicações das regiões com necessidades de desenvolvimento de tecnologias.



Fonte: Autor (2017)

Para concluir a fase foram seguidas e executadas as tarefas propostas na sistemática como descritas abaixo:

Tarefa 1.1. Classificar as tecnologias com críticas (CTEs) ou não: Tanto a tecnologia de fabricação A quanto a tecnologia de fabricação B foram classificadas como críticas por atender as condições relacionadas a plano de projeto e novidade, como apresentada no Anexo A.

Tarefa 1.2. Acessar os níveis de maturidade MRL e TRL para as CTEs: Seguindo as orientações do anexo B, para tecnologia A tanto o TRL quanto o MRL foram classificados no nível 4 por já terem sido realizados testes de produto em ambiente de laboratório e também os testes preliminares de manufaturabilidade, produtividade e capacidade. E também por estes testes já terem sido aprovados seguindo critérios da empresa em questão.

Já a tecnologia B foi classificada em um nível anterior, TRL3 e MRL3 por ainda faltar comprovação da função no produto e ainda não terem sido comprovados os conceitos de manufatura de uma forma experimental.

Tarefa 1.3. Realizar a classificação das tecnologias e benefícios: No Apêndice B está apresentada a tabela de classificação para estas duas tecnologias.

Tarefa 1.4. Listar os principais impactos dos desenvolvimentos de manufatura no *design* do produto: A tecnologia

A requer apenas mudanças para tolerâncias mais abertas já a tecnologia B requer mudanças mais significativas no *design* dos canais de lubrificação do eixo bem como mudanças para níveis maiores de tolerâncias ou realocações destas para outros subsistemas.

Tarefa 2.1. Realizar testes de aprovação dos conceitos de manufatura: Para ambas tecnologias foram planejados e realizados testes específicos relacionados a fabricação de componentes para uso em compressores herméticos de refrigeração em uma empresa específica. Os resultados demonstraram que com as opções de tecnologia de fabricação escolhidas é possível se chegar aos requisitos de forma e acabamento requeridos no produto, bem como sua medição. Estes testes podem variar de empresa para empresa.

Tarefa 2.2. Listar os principais impactos relacionados a investimento para a tecnologia e delta custo esperado. Com o uso da tecnologia A é estimado um aumento de 2 a 3 % na eficiência do produto que resultará em uma redução de custos da mesma ordem sendo necessário investir em máquinas para realizar operações de usinagem diferentes que as existentes na atual base industrial. Já a tecnologia B tem um apelo de redução do nível de investimento em equipamentos de usinagem por propor obter uma forma mais próxima do acabamento final do produto bem como proporcionar um melhor rendimento para o mecanismo de um compressor hermético pela obtenção de um perfil específico de rugosidade.

Tarefa 2.3. Realizar o *check list* SAT: Para a tecnologia A o *check list* de avaliação para o nível de maturidade SAT, já apresentado na Figura 23, foi atendido em 100% já a tecnologia B ficou com uma aderência de 71% e os itens não atendidos estão apresentados na Figura 30. Como os experimentos de manufatura não foram finalizados não foi possível finalizar a análise dos impactos no produto, seguindo os tópicos de *design*, também não foi possível estimar a vida das ferramentas o que penaliza a composição do modelo de custo, e por fim os tópicos relacionados a operadores não foram cumpridos.

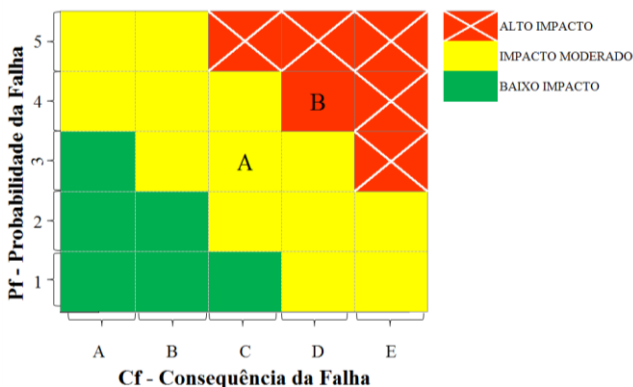
Figura 29 – Itens não atendidos no check list SAT para a tecnologia B.

Critério	Tópicos de avaliação	Atende ao Critério [SIM/NÃO]
<i>Design</i>	Os pro e contras das opções de design foram avaliados com base em experimentos?	NÃO
<i>Design</i>	Os requisitos técnicos e de ciclo de vida do produto foram considerados ?	NÃO
Custo e Financiamento	Os modelos de custo de tecnologia foram desenvolvidos para novas etapas de processo e materiais com base em experimentos?	NÃO
Capacidade de Processo e Controle	Os processos críticos de fabricação foram identificados através da experimentação?	NÃO
Operadores de produção	As novas habilidades necessárias para fabricação foram identificadas?	NÃO
Operadores de produção	Foram avaliadas as habilidades de fabricação necessárias para produzir, testar e apoiar os conceitos propostos?	NÃO
Operadores de produção	Foram avaliadas as habilidades de fabricação necessárias para produzir, testar e apoiar os conceitos propostos?	NÃO
Resultado da avaliação	% de aderência	71%

Fonte: Autor (2017)

Tarefa 2.4. Fazer a classificação do nível de risco: Os riscos estão classificados na matriz apresentada na Figura 30 e foram classificados segundo critérios apresentados no Apêndice C. Os impactos no desenvolvimento para a tecnologia A são moderados já para a tecnologia B são altos e devem ser tratados como prioridade.

Figura 30 – Matriz TRAA com a classificação de riscos das tecnologias A e B



Fonte: Adaptado de Mankins (2009)

Tarefa 2.5. Realizar uma análise crítica do projeto: Foi aproveitado um fórum já existente para realização de uma análise crítica, como resultado a tecnologia A foi recomendada seguir para o próximo nível, já a tecnologia B com base na baixa aderência ao check list do SAT e na sua classificação de risco teve a recomendação de fazer um *looping* de projeto e continuar o desenvolvimento ainda dentro do nível SAT.

5.3.2 Nível 2- Alternativas de produto geradas

Neste segundo nível as tecnologias são agrupadas em um produto, e assim é gerado um conceito. Para este exemplo foi-se utilizado o mesmo produto do estudo preliminar do modelo já apresentado no capítulo 3.

Tarefa 3.1. Criar um modelo com as dimensões principais do produto e seus componentes do produto. Foi gerada uma opção de produto em software 3D e também feito um protótipo funcional, para algumas avaliações de requisitos de desempenho do produto.

Tarefa 3.2. Criar uma lista de componentes do produto completo: Está lista é a coluna identificação dos componentes do Apêndice F.

Tarefa 4.1. Aplicar as planilhas DFA e DFM e DFMA: A análise detalhada com as matrizes de DFM está no Apêndice D e DFA está no Apêndice F. O resultado destas análises são os índices parciais e gerais de DFA e DFM, que estão apresentados matriz de indicadores de *performance* DFMA na Figura 31. Estes índices foram obtidos por meio de avaliações e modificações do produto pelo time de projeto e manufatura, Pode se notar nos campos em destaque que AA, índice geral relacionado a eficiência do projeto de montagem está baixo devido a grande diferença entre o número de componentes existentes e o número teórico necessário referenciados pelos índices parciais (a) e (b). Também apresenta um valor muito baixo no que se refere ao uso de componentes padrão penalizando o índice parcial (A). Outro ponto relevante é o índice geral EE que apresenta valores altos, que é penalizado pelos índices parciais P e Q, relacionados a montagem auto-localizada e uso de uniões mecânicas.

Figura 31 – Matriz de indicadores de performance DFMA.

Etapa de avaliação	Melhor ↑	↑	↑	↓	↓	↓
MRL 2	47%	29%	69%	2,7	6,1	166
Límite referência	>=60	100%	100%	<=2,5	<=2,5	*Bt2
Diretrizes gerais →	Índice DFA (AA) →	Custos BOM (BB) →	Qualidade (CC) →	Manuseio (DD) →	Junção/União (EE) →	Outras Unições (FF) →
Diretrizes parciais ↓						Custos de Manufatura (GG) →
Quantidade real de componentes (a)	30					
Quantidade mínima teórico de componentes (b)	14					
Componentes padrão (A)		8%				
Custo relativos (B)		50%				
Montar o componente errado (C)			83%			
Montar de maneira errada (D)			54%			
Emaranhado , enosado, pegajoso, colado (E)				1,0		
Flexível (F)				0,1		
Frágil (G)				0,1		
Abrasivo ou afiado (H)				0,1		
Escorregadio (I)				0,0		
Orientação rotacional (J)				0,1		
Uso de alicates, pinças ou 2 mãos (K)				1,2		
Alinhar ou alocar (L)					0,4	
Direção de montagem de cima para baixo (M)					0,7	
Suave para inserir (Não existe resistência) (N)					0,2	
Acesso obstruído (boa visibilidade) (O)					0,2	
Auto-localizado (P)					2,1	
Pode ser montado sem parafusar, dobrar, furar, rebitar, crimpar ou curva (Q)					2,3	
Sem "snap-on" (R)					0,2	
Montar sem solda ou adesivo (S)						2,9
Custos relativos de manufatura (T)						64
Custos de processamento (U)						32
Custos de materiais (V)						45

Fonte: Autor (2017)

Tarefa 4.2. Obter resultados preliminares de produto com a configuração escolhida: Os testes de produto realizados seguiram as normas da empresa em que o experimento foi realizado, apesar dos resultados não fazerem parte da sistemática eles serão utilizados no PDP da empresa para comparar a evolução do projeto e também para validar a opção escolhida.

Tarefa 4.3. Gerar uma lista de equipamentos necessários, seus investimentos e custos do produto: A Tabela 9 apresenta o nível de investimento para os processos de fabricação necessários à produção do conceito de produto analisado. O custo está apresentado como A apenas para exemplificar e poder comparar a sua evolução (%) ao longo

dos níveis de maturidade. Os resultados de investimento e custos não foram satisfatórios para atender os critérios da empresa.

Tabela 9 - Níveis de investimentos para os processos de fabricação

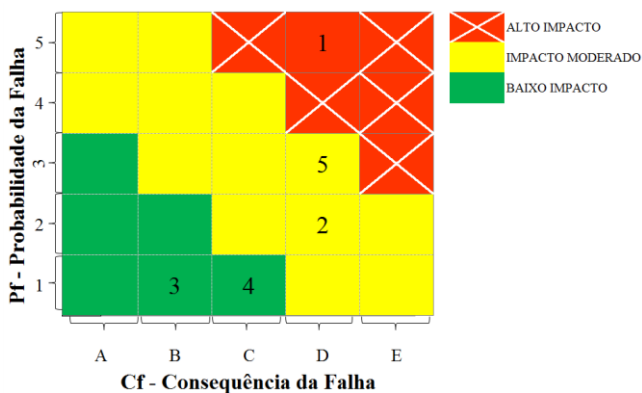
Variação do investimento	← mínimo	médio	→ max
	USD 6.098	USD 6.419	USD 7.703
Processo de fabricação			
Montagem	USD 1.914	USD 2.015	USD 2.418
Usinagem	USD 2.721	USD 2.864	USD 3.437
Motor	USD 333	USD 350	USD 420
Estamparia	USD 570	USD 600	USD 720
Solda	USD 247	USD 260	USD 312
Químicos	USD 314	USD 330	USD 396

Custo do produto	A (USD)
------------------	---------

Fonte: Autor (2017)

Tarefa 4.4. Fazer a classificação do nível de risco Os riscos foram divididos por submontagens do produto, já apresentados na lista de componentes do produto da tarefa 3.2, e podem ser vistos na Figura 32 segundo critérios do Apêndice C. Percebe-se que a submontagem 1 possuía um risco de alto impacto que foi relevante para a tomada de decisão de revisar o projeto.

Figura 32 – Matriz TRAA com a classificação de riscos dos subsistemas



Fonte: Autor (2017)

Tarefa 4.5. Realizar uma análise crítica do projeto e selecionar o conceito do produto: A análise crítica realizada com um time multifuncional, direcionou a necessidade uma revisão de projeto devido ao alto nível de investimento, custos e ao risco de alto impacto do subsistema 1 identificado na matriz TRAA .

5.3.3 Nível 3- Projeto dos componentes revisado

Neste nível foi gerada uma nova versão do produto com base nas análises da fase anterior e posteriormente foram revisados os projetos dos componentes.

Tarefa 5.1. Revisão de projeto e atualização das matrizes DFA, DFM e DFMA: Orientado pela análise de manufatura o projeto foi revisado e seu conceito modificado com base nas deficiências mostradas nas matrizes da fase anterior. A análise detalhada com as matrizes de DFM está no apêndice E, e DFA está no apêndice G. O resultado destas análises são os índices parciais e gerais de DFA e DFM estão apresentados na Matriz de indicadores de *performance* DFMA da Figura 33. Fica clara a melhoria dos índices gerais e parciais, o que está de fato representada no produto por uma mudança conceitual de projeto. As penalidades que poderão sujeitar o projeto a uma revisão estão relacionados a qualidade e junção/união dos componentes.

Tarefa 5.2. Revisão de projeto dos componentes: Após a atualização do projeto o *design* dos componentes foi revisado, seguindo as regras do anexo C. Após esta revisão foi iniciada a construção de ferramentais protótipos para habilitar a produção de lotes de fabricação mais representativos.

Tarefa 6.1. Produzir amostras e avaliar os requisitos de manufatura necessários: Foram produzidas amostras dos componentes em ferramentais protótipos para estampagem e sinterização. Para usinagem foram utilizados equipamentos padrões, como tornos. Os critérios de capacidade e produtividade foram avaliadas segundo critérios técnicos da empresa.

Tarefa 7.1. Avaliar o resultado da produção protótipo com os primeiros testes de produto: Com os componentes protótipos foram montados produtos para validação também em testes padrões da empresa. Estes testes mostraram resultados satisfatórios e algumas

recomendações de melhorias relacionadas a requisitos de acabamento superficial para um processo de usinagem, o que direcionou uma necessidade de melhoria do mesmo.

Figura 33 – Matriz de indicadores de performance DFMA

	Melhor ↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓
Etapa de avaliação	MRL 3						
MRL 3	67%	42%	61%	2,2	4,0	1,1	88
MRL 2	47%	29%	67%	2,7	6,1	2,9	166
Límite referência	>=60	100%	100%	<=2,5	<=2,5	*Bi2	*Bi2
	Índice DFA (AA) ↑	Custos BOM (BB) ↑	Qualidade(CC) ↑	Manuseio (DD) ↑	Junção/União (EE) ↑	Outras Uniões (FF) ↑	Custos de Manufatura (GG) ↑
Diretrizes gerais →							
Diretrizes parciais ↓							
Quantidade real de componentes (a)	21						
Quantidade mínima teórico de componentes (b)	14						
Componentes padrão (A)		21%					
Custo relativos (B)		63%					
Montar o componente errado (C)			100%				
Montar de maneira errada (D)			21%				
Emaranhado , enosado, pegajoso, colado (E)				0,7			
Flexível (F)				0,1			
Frágil (G)				0,0			
Abrasivo ou afiado (H)				0,0			
Escorregadio (I)				0,0			
Orientação rotacional (J)				0,0			
Uso de alicates, pinças ou 2 mãos (K)				1,4			
Alinhar ou alocar (L)					0,4		
Direção de montagem de cima para baixo (M)					0,3		
Suave para inserir (Não existe resistência) (N)					0,1		
Acesso obstruído (boa visibilidade) (O)					0,3		
Auto-localizado (P)					1,7		
Pode ser montado sem parafusar, dobrar, furar, rebitar, crimpar ou curva (Q)					1,1		
Sem "snap-on " (R)					0,1		
Montar sem solda ou adesivo (S)						1,1	
Custos relativos de manufatura (T)							54
Custos de processamento (U)							17
Custos de materiais(V)							26

Fonte: Autor (2017)

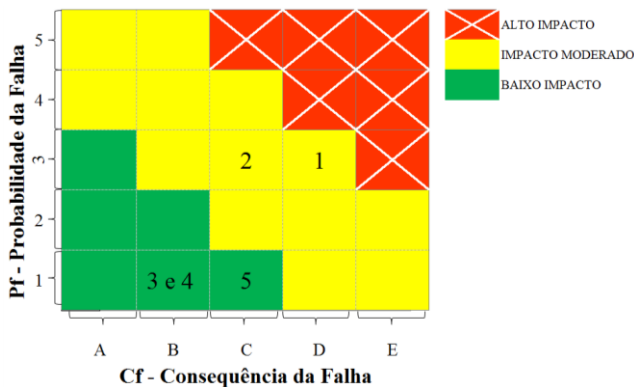
Tarefa 7.2. Fazer estimativa de investimentos e custo do produto e riscos: A Tabela 10 relativa a investimento e custos foi atualizada e teve uma melhora significativa o mesmo é válido para custos que apresentou uma redução de 25% em relação ao projeto anterior. A de matriz de riscos na Figura 34 também já foi atualizada com base no novo projeto de produto e seguindo os subsistemas apresentados nos Apêndice D e F.

Tabela 10 - Níveis de investimentos para os processos de fabricação e diferença nos custos do produto.

	← mínimo	médio	→ max
Variação do investimento	USD 3.786	USD 3.985	USD 4.384
Processo de fabricação			
Montagem	USD 1.473	USD 1.550	USD 1.705
Usinagem	USD 1.188	USD 1.250	USD 1.375
Motor	USD 333	USD 350	USD 385
Motor	USD 285	USD 300	USD 330
Solda	USD 128	USD 135	USD 149
Químicos	USD 190	USD 200	USD 220
Outros	USD 190	USD 200	USD 220
Custo do produto	A - 25% (USD)		

Fonte: Autor (2017)

Figura 34 – Matriz TRAA com a classificação de riscos dos subsistemas



Fonte: Autor (2017)

Tarefa 7.3 Realizar uma análise crítica do projeto: A análise crítica realizada com um time multifuncional, teve como resultado a recomendação de seguir o próxima fase, pelo nível adequado de investimento, custos e também a redução do risco de alto impacto do subsistema 1, apresentado na fase anterior.

5.3.4 Nível 4 – Escala do projeto avaliada

Tarefa 8.1. Montar o produto já com componentes protótipos para avaliação prática de DFMA: Os componentes protótipos foram montados em uma célula de produção de baixa escala e

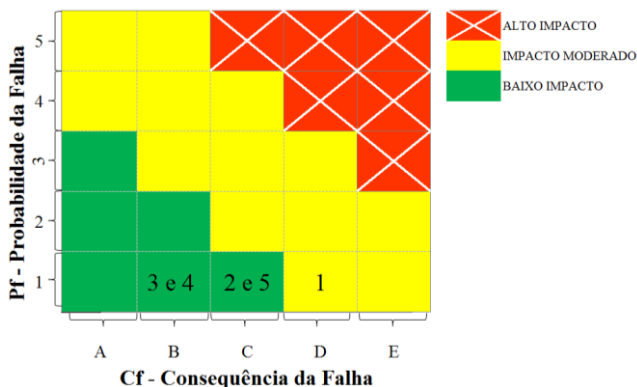
assim foram definidos seus tempos padrões e parâmetros de produção que serão utilizados para aumento de escala produtiva, bem como dados para alimentar a revisão do projeto do produto.

Tarefa 9.1. Revisar o projeto e finalizar planilhas DFA, DFM e DFMA: Com base nas deficiências mostradas na análise DFMA da fase anterior e nos resultados obtidos na produção de baixa escala o projeto foi otimizado e os resultados dos índices parciais e gerais são os já apresentados na Figura 15 do capítulo 3. A análise detalhada de DFM e DFA está nos Apêndices D e H.

Tarefa 9.2. Gerar o modelo de produto e a especificação do processo de fabricação: O modelo produtivo e as especificações de fabricação foram geradas dentro dos padrões da empresa.

Tarefa 9.3. Fazer estimativa de investimentos e custo do produto e riscos: Não houve mudança nos investimentos e custos, porém com a otimização do projeto direcionada pela produção em baixa escala e as deficiências apontadas nas matrizes de DFA e DFM foi possível reduzir os impactos dos riscos como apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Matriz TRAA com a classificação de riscos dos subsistemas



Fonte: Autor (2017)

Tarefa 9.4. Realizar uma análise crítica do projeto: A análise crítica realizada com um time multifuncional, e com base em nos níveis de investimento, custos e riscos o projeto foi aprovado para entrar no ciclo de projetos da empresa.

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO WORKSHOP

Os resultados serão analisados seguindo os três fatores a seguir:

- Avaliação do atendimento as diretrizes da sistemática como ferramentas de trabalho para engenharia simultânea, através da aplicação apresentada no workshop.
- Avaliação da contribuição da sistemática para a empresa aonde foi realizado workshop e também o estudo de caso.
- Avaliação da sistemática como modelo de referência;

5.4.1 Avaliação do atendimento as diretrizes da sistemática como ferramenta de trabalho

Para avaliar a sistemática como ferramenta que se propõe os participantes do workshop responderam a questões de 1 a 4 referentes a avaliação das diretrizes já propostas anteriormente na Tabela 5. As opções de respostas foram “Sim” (atende à diretriz), “Parcialmente” (atende parcialmente) ou “Não” (não atende), e as respostas estão na Figura 36.

Todos os participantes concordam em sua totalidade com as diretrizes 1,2 e 3, sendo que apenas a diretriz número 4 não obteve esta 100% das respostas positivas.

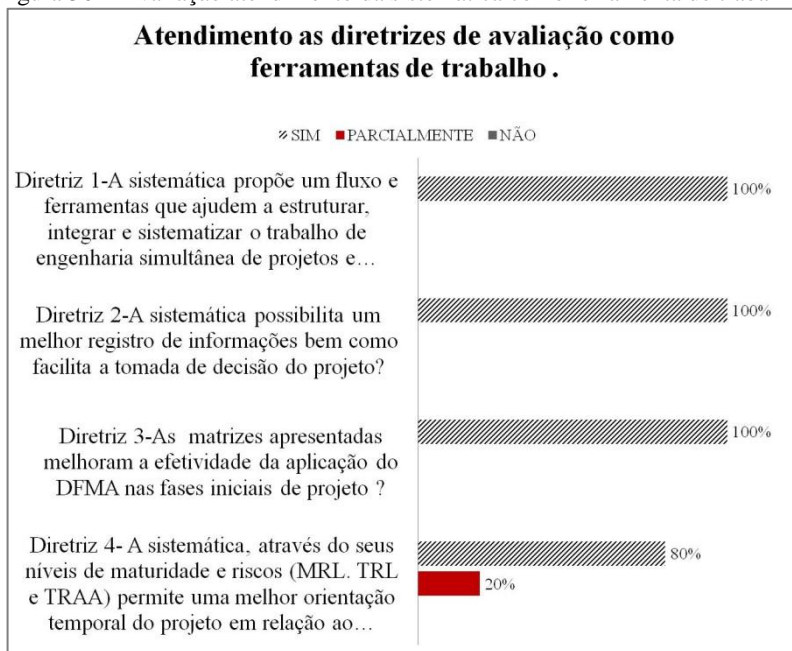
Sobre a diretriz 1, que fala da proposta de ter um fluxo e ferramentas que ajudem a estruturar, integrar e sistematizar a engenharia simultânea ficou bem claro que a sistemática atende plenamente o quesito, isto é explícito nos comentários de registrados abaixo :

- *“Sistematiza e melhora o que já é executado”.*
- *“Ajuda a retirar o que está em nossa cabeça e sistematizar o trabalho”.*
- *“Metodologia interessante. Temos que aprender mais sobre o uso”.*

Sobre a o processo de facilitar a tomada de decisão, objetivo da diretriz 2, dois participantes fizeram comentários no sentido de ratificar a resposta positiva.

- *“Pode ajudar no direcionamento das decisões”.*
- *“Em casos específicos pode ser útil para ajudar no direcionamento da decisão”.*

Figura 36 – Avaliação atendimento da sistemática como ferramenta de trabalho



Fonte: Autor (2017).

Alguns comentários também corroboram para validar aplicabilidade da diretriz 3, que trata das matrizes de DFMA, bem como oportunidades de melhoria, e foram abordados pelos participantes da seguinte forma.

- *“Exemplos claros de problemas que temos em andamento”.*
- *“Realmente avaliar o design seguindo critérios de DFA ficou mais simples”.*
- *“Verificar integração com DFSS (Design for Six Sigma)”.*
- *“Podemos aplicar em subsistemas com características inéditas”.*
- *“Já apliquei as Matrizes de DFMA em um projeto do qual lidero a equipe técnica de manufatura e as respostas que conseguimos sobre a avaliação do design nos ajudaram*

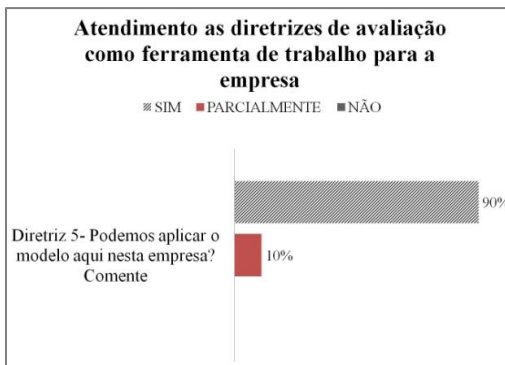
mostrar com base em requisitos sistematizados em com base científica como poderíamos melhorar o projeto em termos de manufaturabilidade”.

E por fim em relação a diretriz 4, que fala sobre orientação temporal através dos níveis de maturidade e avaliação de riscos, obteve 20% de respostas que dizem atender parcialmente este requisito e não obteve comentários que pudessem ajudar a entender melhor o por que.

5.4.2 Avaliação da contribuição para a empresa aonde foi realizado o workshop e estudo de caso

A avaliação também tem com proposta responder a questão 5 com as opções de respostas “Sim” (atende à diretriz), “Parcialmente” (atende parcialmente) ou “Não” (não atende). Foi perguntado aos participantes sobre o uso da sistemática dentro da empresa em que trabalham, da maneira como está proposta, a Figura 37 mostra o resultado desta avaliação.

Figura 37 – Avaliação da contribuição da sistemática como ferramenta de trabalho para a empresa



Fonte: Autor (2017).

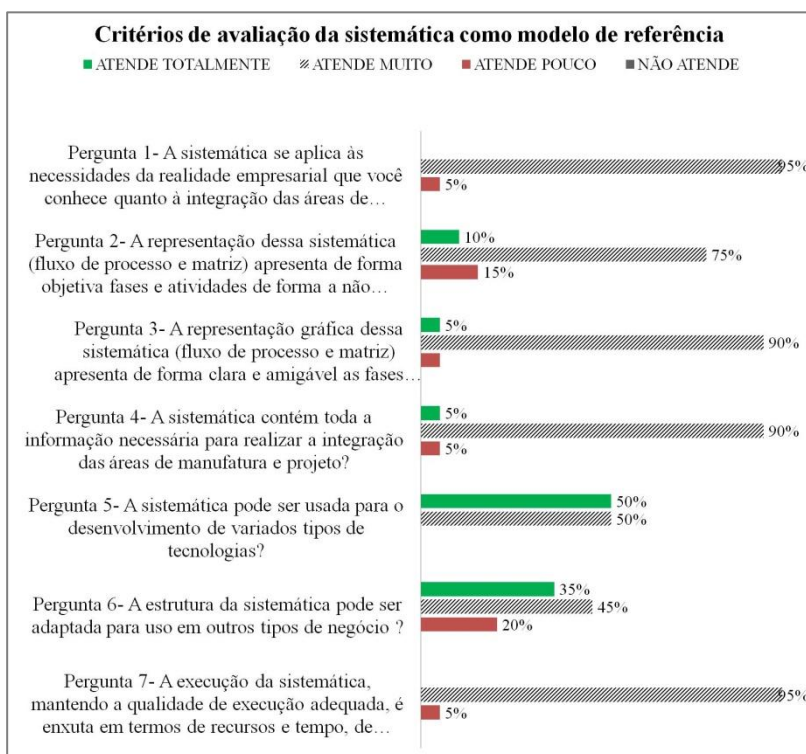
A grande maioria dos participantes acredita que a sistemática já pode ser aplicada dentro da empresa da maneira que foi apresentada, isto está representado no gráfico por ter 90% das respostas como sim. Os

10% que responderam como atende parcialmente acreditam que deva existir alguma adaptações.

5.4.3 Avaliação da sistemática como modelo de referência

Para avaliar a sistemática como modelo de referência os participantes responderam a questões referentes a avaliação das diretrizes já propostas anteriormente na Tabela 6. Este resultado da está apresentado na Figura 38. As respostas dos participantes aqui pedem que cada participante responda em que grau a sistemática atende a cada critério de um modelo de referência com as quatro opções (não atende, atende pouco, atende muito ou atende totalmente).

Figura 38 – Avaliação da sistemática como modelo de referência



Fonte: Autor (2017).

As respostas para estes critérios em sua maioria foram para as opções de atende muito e atende totalmente.

Sobre a pergunta 1, que está relacionada ao critério de aplicação sistemática atender a realidade em que a equipe se encontra 95% dos participantes responderam como atende muito e apenas 5% disseram que atende pouco.

Para os critérios de representação, que estão representados pelas perguntas 2 e 3 que falam sobre objetividade, evitar redundâncias, clareza e amigabilidade 90% dos participantes entendem que atende muito aos critério de clareza e amigabilidade e 85% acham que atende muito ou totalmente as questões de ser objetiva e evitar redundâncias. Os 15% que responderam com atende pouco gostariam ver um pouco mais com os dados de entrada são gerados, acham isto importante e pode ser uma oportunidade de melhoria, dois comentários estão relacionados a estas oportunidades.

- *“Pode incluir a análise da pré-existência dos componentes em outras plataformas”.*
- *“Antes de comentar é importante saber se a tecnologia em questão será desenvolvida dentro da empresa ou será terceirizada para evitar esforços desnecessários dos recursos internos”.*

Por fim a avaliação direciona quatro perguntas para avaliar o critério de conteúdo da sistemática, estes critérios falam sobre completeza, robustez, reusabilidade e eficiência econômica da proposta.

Sobre a completeza a que avaliou se a sistemática contém toda a informação necessária para realizar a integração das áreas de projeto e manufatura, dentro do tema escolhido, fica evidente que sim pois 95% das respostas forma atende muito e atende totalmente.

Para entender se ela é robusta para atender desenvolvimento dos mais variados tipos de tecnologia 100% dos participantes disseram que atende muito ou atende completamente.

Para avaliar o reuso em outros tipos de negócio apesar de uma fatia de 80% de respostas estarem direcionadas para atende muito ou atende totalmente 20% dos participantes ainda não conseguiram ver claramente esta aplicabilidade.

Sobre a sistemática ser enxuta e manter custo x benefício viável 95% das respostas foram positivas no sentido de que atende muito.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação foi proposta a atender dois critérios principais. O primeiro voltado as necessidades dos profissionais de projeto e manufatura que trabalham em ambientes de desenvolvimento. O segundo a fim de avaliar as características da proposta como modelo de referência. Para estes dois critérios foram propostos 3 índices globais, o primeiro que diz respeito ao atendimento das diretrizes como ferramenta de trabalho, o segundo sobre a contribuição como ferramenta de trabalho para a empresa aonde foi realizado o workshop e o terceiro para avaliar a sistemática como modelo de referência. As alternativas de respostas para cada um são não atende, parcial e atente. Estas respostas estão diretamente correlacionadas com os questionários aplicados e são também apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Índice de correlação entre respostas dos questionários

Sequência	Índice global	Índice de correlação			
		NÃO ATENDE	PARCIAL	ATENDE	
1	Atendimento as diretrizes como ferramentas de trabalho.	NÃO	PARCIAL	SIM	-
2	Avaliação da contribuição para a empresa aonde foi realizado workshop	NÃO	PARCIAL	SIM	-
3	Avaliação como modelo de referência;	NÃO ATENDE	ATENDE POUCO	MUITO	TOTALMENTE

Fonte: Autor (2017).

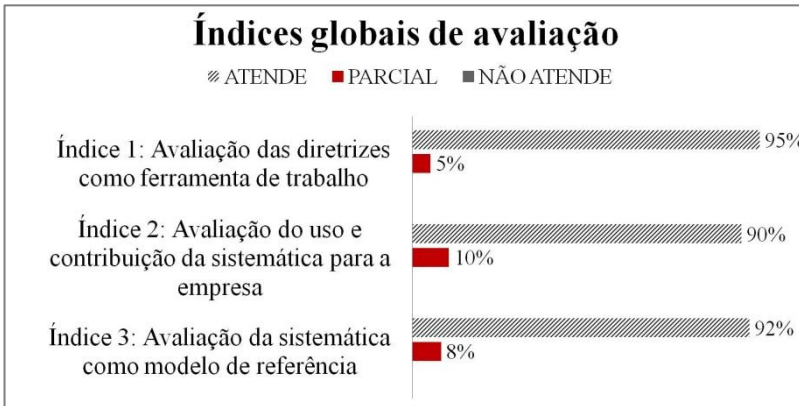
Critérios para correlacionar os três índices globais com as respostas dos questionários:

Índices 1 e 2: NÃO ATENDE é a média das respostas NÃO, PARCIAL é a média das respostas PARCIAL e ATENDE é a média das respostas SIM, referentes aos questionários.

Índice 3: NÃO ATENDE é a média das respostas NÃO ATENDE, PARCIAL é a média das respostas ATENDE POUCO e ATENDE é a soma das médias das respostas ATENDE MUITO e E ATENTE TOTALMENTE SIM, referentes aos questionários.

O resultados destes 3 índices globais são apresentados na Figura 39.

Figura 39 – Índices globais de avaliação da sistemática



Fonte: Autor (2017).

Os valores mostram que a sistemática atendeu de maneira satisfatória a avaliação representada pelos respectivos índices da Figura 39. O que leva a concluir que a mesma é uma ferramenta de trabalho que ajuda na integração das áreas de projeto e manufatura, sendo também um modelo de referência além de poder ser aplicada da maneira que foi apresentada na empresa em que foi realizado o workshop.

6. CONCLUSÃO

6.1. COMENTÁRIOS FINAIS

O trabalho teve como objetivo propor um modelo para integração das áreas de conhecimento de projeto e manufatura, na fase de desenvolvimento de tecnologias de produto. Integrar o tema DFMA com MRL e TRL aprofunda e potencializa os resultados, além do que já se conhece com a aplicação individualizada.

Para isto foi realizada uma revisão da literatura sobre os temas DFMA, MRL, TRL e PDP. Além disto, também se elaborou um estudo preliminar do modelo a ser aplicado onde foram avaliados o uso de 3 matrizes que fazem parte de suas tarefas principais do mesmo. A terceira e quarta etapas foram a proposição do modelo objetivo deste estudo, e sua avaliação através de um workshop envolvendo um time multifuncional com experiência em projetos de pesquisa e desenvolvimento. Neste workshop foi apresentado um exemplo prático de aplicação e ao final a avaliação foi realizada através da aplicação de um questionário.

Considerando o objetivo específico 1, estruturar o conhecimento sobre MRL, TRL e DFMA, por meio do levantamento do estado da arte, entende-se que o mesmo foi atendido pela revisão bibliográfica.

No que se refere ao objetivo específico 2, avaliar matrizes estabelecidas com base no MRL, TRL e DFMA para obter melhoria nos resultados de um projeto, também foi contemplado pela elaboração e uso de 3 matrizes ao longo de um projeto de desenvolvimento tecnológico cujo resultado foi uma mudança de *design* do produto e processo de fabricação com uma redução do custo de 20% e investimentos de 25%. Os principais elementos modificados no projeto, que estão refletidos nas matrizes através de suas diretrizes gerais e específicas, que possibilitaram obter estes resultados foram:

- Redução de 33% no número de peças, que está refletido no aumento do índice DFA de 47 para 70%. O trabalho na redução do número de peças foi estimulado pela análise funcional do produto com os times de projeto e manufatura.
- Mudança nos conceitos de união de componentes principalmente eliminando a necessidade de uso de

adesivo que está refletido no aumento do índice referente a diretriz de DFA, outras uniões, que era 2,9 no nível MRL2 foi reduzida para 1,1 em MRL4.

- Mudança nos conceitos de manufatura de componentes, representado pela melhoria do índice geral da diretriz custos de manufatura que era 166 no nível MRL 2 e foi reduzida para 88 em MRL4. Os principais impactos foram a Submontagem 1 e o Corpo da Submontagem 3, que necessitavam de processos de fabricação com altos níveis de investimento como Retíficas para acabamentos e Centros de usinagem para formas complexas passando para processos mais simples com menores níveis de investimento necessários, como ferramentas estampagem e usinagem com tornos convencionais.

A diretriz específica 3, relacionada a propor um modelo para integração das áreas de conhecimento de projeto e manufatura por intermédio do emprego do MRL e do DFMA também foi atendida através da sistemática apresentada em forma de fluxograma com tarefas e ferramentas a serem aplicadas em projetos de pesquisa e desenvolvimento ao longo da evolução de sua maturidade dividida em três macro fases e quatro níveis de maturidade:

A avaliação do modelo com um time multifuncional de projetos com experiência em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) era o objetivo específico 4, e foi atendido pela realização de um workshop com apresentação da sua aplicação através de um exemplo prático para um conjunto de 16 profissionais que trabalham da área de pesquisa e desenvolvimento de projetos de uma multinacional do setor metal mecânico com mais de 10.000 funcionários e um faturamento anual maior que 1.5 Bilhões de dólares.

Esta avaliação foi realizada pela aplicação de um questionário para sob a ótica de dois critérios:

1. Ferramenta de trabalho para profissionais de projeto e manufatura descrita por 5 diretrizes.
2. Modelo de referência, através da sua aplicabilidade, clareza gráfica, rigor da apresentação, completeza, robustez, reusabilidade e eficiência econômica.

As respostas das perguntas referentes aos dois critérios comprovam a efetividade ao atendimento dos dois critérios pelos

resultados dos três índices, o primeiro diz respeito a avaliação da sistemática como ferramenta de trabalho, aqui 95% das repostas afirmam que sim é uma ferramenta de trabalho, o segundo quer saber se a sistemática contribuiu para a empresa aonde o workshop foi aplicado, obteve 90% das respostas como atendem ao critério e o índice que avalia como modelo de referência obteve 92% das repostas como atende.

6.2. RECOMENDAÇÕES

Em se tratando do modelo proposto é importante ressaltar que o mesmo contribui para melhorar os resultados de projetos que iniciam nas fases de desenvolvimento tecnológico por possibilitar uma melhor integração entre os times de projeto e manufatura pela maneira que apresenta, orienta, avalia e mede a evolução do *design* sob a ótica da manufatura.

Este trabalho apresentou uma revisão bibliográfica sobre temas relevantes relacionados a Projeto para Manufatura e Montagem e montagem, medidas de maturidade de tecnologia e manufatura e o processo de desenvolvimento de produto. Através da integração destes temas propôs uma sistemática com ferramentas e um fluxo que permitiu melhorar os resultados referentes a custos e investimentos em projetos bem como acompanhar a evolução da maturidade do *design* e classificação dos riscos tecnológicos.

É importante entender que esta sistemática é efetiva se utilizada em empresas que tenham em sua estrutura projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e trabalhem com produtos físicos, sejam eles bens de manufatura ou máquinas e equipamentos. Ficam excluídas então empresas de software, químicas, medicamentos, vestuários entre outras.

O roteiro sugerido para sua aplicação está alinhado as referências de DFMA, MRL, TRL e PDP.

O modelo proposto é restrito a aplicações em fases preliminares de projetos, na etapa de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Trabalhos futuros podem ser realizados no intuito de estudar como estender uso desta metodologia para todo ciclo de desenvolvimento de produtos, até o consumidor final ou até mesmo chegar na assistência técnica. Tendo em vista a revisão da literatura observa-se que, existe uma lacuna em aumentar o uso destas escalas e avaliações para empresas que de bens de consumo e manufatura. Dentro das regras e tabelas padrões de DFMA existe ainda a oportunidade de uma atualização que aumente a abrangência da análise para um maior número de processos de fabricação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, C.S., MOCKZYDLOWER, D. Uma abordagem para estruturação integrada de projetos de inovação tecnológica pré-competitiva. Junho-Julho 2017. Mundopm.com.br. EMBRAER- Empresa Brasileira de Aeronáutica, pgs 42- 47, Brasil.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. Projeto Integrado de Produtos – Planejamento, Concepção e Modelagem. 1ª ed. Manole. 2008.
- BIESEK, F.L.; FERREIRA, C.V. A model for advanced manufacturing engineering in R&D technology projects through DFMA and MRL integration, *Advances in Engineering Software* 41, 769–778, 2010.
- BOOTHROYD, Geoffrey; DEWURST, Peter; KNIGHT, Wiston A, *Design for Manufacturing and Assembly –Third Edition* .CRC Press, New York, 2011.
- CONFORTO, E.C., AMARAL, D.C.Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos, 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Produto, Porto Alegre, RS –Brasil, 2011.
- COOPER, R. G. Third-Generation New Product Processes.*Journal of Product Innovation Management*, v.11, p.3-14,1994. [http://dx.doi.org/10.1016/0737-6782\(94\)90115-5](http://dx.doi.org/10.1016/0737-6782(94)90115-5).
- DELOITTE. Where is China’s manufacturing industry going?.Deloitte China manufacturing competitiveness study 2011. Beijing , 2011, study.
- EHRM, Mikael, *Is the Automotive Industry Using Design-for-Assembly Anymore?*, Ph.D. dissertation, *Industrial Management* 27- *Acta Wasaensia* 273- University of Vaasa .Vaasa, Finland, 2012.
- ESQUILANDER, Stephan. *Design for Automatic Assembly: A Method for product design : DFA2*. Doctoral Thesis, Department of Production Engineering- Royal Institute of Technology , Stockholm, Sweden, 2001.
- ECKHAUSE, J.M.; HUGHES, D.R.; GABRIAL, S.A. Evaluating real options for mitigating technical risk in public sector R&D acquisitions, *International Journal of Project Management* 27, 365–377, 2009.
- HADDAD, H. G., BACKAR, S.H., EL-KADEEM, R.A.,DARDIRY, M.A. *Dynamic View of Product Development Process*. First

International Conference on Innovative Engineering Systems, 10.1109/ICIES.2012.6530872, Alexandria, Egito, 2012.

FERREIRA, C. V. Metodologia para as Fases de Projeto Informacional e Conceitual de Componentes de Plástico Injetado Integrando os Processos de Projeto e Estimativa de Custos. 2002. 329 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GAVANKAR, S.; SUS, S.; KELLER, A.A. The Role of Scale and Technology Maturity in Life Cycle Assessment of Emerging Technologies: A Case Study on Carbon Nanotube, Journal of Industrial Ecology, Volume 19, No.1, 2015.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4ª ed. Editora Atlas, São Paulo, 2002.

GOVEA, R.; UZDZI, J. A Performance-Based System Maturity Assessment Framework, Procedia Computer Science 16, 688 – 697, 2013.

HUANG, G.Q. Design for X- Concurrent Engineering Imperatives. Springer-Science+ Business Media, B.V. United Kingdom , 1996.

INTHAMOUSSU, E.M.R. Sistemática para a integração do planejamento do produto com o planejamento do projeto: Enfoque no desenvolvimento de tecnologias para eletrodomésticos. 2015. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

KARNIEL, A., REICH, Y. Formalizing a Workflow-Net Implementation of Design-Structure-Matrix-Based Process Planning for New Product Development. IEEE transactions on systems, man ,and cybernetics —part A: systems and humans, VOL. 47, No. 3, , 0.1109/TSMCA.2010.2091954, Tel Aviv, Israel, 2011.

KATZ, D.R.; SARKANI, S., MAZZUCHI, T.; CONROW, E.H. The relationship of technology and design maturity to DoD weapon system cost change and schedule change during engineering and manufacturing development, Systems Engineering Vol. 18, No.1, 2015.

LUCAS ENGINEERING SYSTEMS LTD, Design for Manufacture and assembly Practitioners Manual. Version 10, University of Hull, England, 1993.

MADISON, J.C.; HAYES, J.C.; KELLER, D.T.; LOMBARTO, N.J. Combining systems engineering with Technology and Manufacturing Readiness Levels to advance research and development, Proceedings of 1st IEEE International Symposium on Systems Engineering, ISSE, 978-1-4799-1920-8, 2015.

MAGNAVE, R.; SAUSER, B.; PATANAKUL, P.; NOWICKI, D.; RANDALL, W. Earned readiness management for scheduling, monitoring and evaluating the development of complex product systems, International Journal of Project Management, 32, 1246–1259, 2014.

MANKINS, J.C. Technology readiness assessments: A retrospective, Acta Astronautica 65 1216–1223, 2009.

MANKINS, J.C. Technology readiness and risk assessments: A new approach”, Acta Astronautica 65 1208–1215, 2009.

Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook ,OSD Manufacturing Technology Program, Washington DC, 2016.

MARXT, C. HACKLIN, F. ROTH LISBERGER, C. e SCHAFFNER, T. End-to-End Innovation: Extending the Stage-Gate Model into a Sustainable Collaboration Framework. In: M. Xie, T. S. Durrani, H. K. Chang (Eds.), Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference, Vol. 3, pp. 963-967, Singapore, 2004.

MITAL, Anil; DESAI Anoop; SUBRAMANIAN, Anand; MITAL Aashi, Product Development – A Structured Approach to Consumer Product Development, Design and Manufacture – Elsevier. Waltham, 2008.

OLECHOWSKI, A.; EPPINGER, S.D.; JOBLEKAR, N. Technology Readiness Levels at 40: A Study of State-of-the-Art Use, Challenges, and Opportunities, Proceedings of PICMET '15: Management of the Technology Age, 2015.

OSD Manufacturing Technology Program. Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook. Washington DC, 2011.

PAHUD, O.; HOSTE, D. A Novel Approach for Technology Developmento A Success Story, SAE Int. J. Aerosp. 6, 2013.

PETERS,P. A readiness level model for new manufacturing technologies, *Prod. Eng. Research and Development*, 9:647–654, 2015.

PMI – PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Um guia do conjunto de conhecimento de gerenciamento de projetos (PMBOK Guide). Pennsylvania. Project Management Institute, 2011.

ROMERO, D., CANNETTA, L.,PALLOT, M., BOER, C., MOLINA, A. Towards a Reference Curriculum for Education on Concurrent Engineering / Enterprising. Technology Management Conference (ICE), IEEE International. DOI: 10.1109/ICE.2010.7477038, Lugano, Suíça, 2010.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDININ, D.H.; SCALICE, R.K.Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo, São Paulo, Brasil, 2006.

SILVA, D.O., BAGNOB, R.B., SALERNOC, M.S. Modelos para a gestão da inovação: revisão e análise da literatura. Abril/Junho 2014 USP- Production, v. 24, n. 2, p. 477-490, Brasil.

SHOOK, J. Gerenciando para o aprendizado: usando um processo de gerenciamento A3 para resolver problemas, promover alinhamento, orientar e liderar. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

STIENSTRA, David, 2016, Introduction to Design for (Cost Effective) Assembly and Manufacturing, Accessed: 13.04.2016 [online]. Available: <https://www.rose-hulman.edu/~stienstr/ME470/DFA.ppt>.

TUCKER, B.;PAXTON, J. SCRL-model for human space flight operations enterprise supply chain, IEEE Aerospace Conference Proceedings, paper#1658,Version 1, 2010.

VALLE, Sandra; BUSTELO, Daniel Vazquez. Concurrent engineering performance: Incremental versus, *International Journal Production*, paper#119 , 2009.

VERNADAT, F. B. Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications. London: Chapman & Hall., 1996

WARD, M.J; HALLIDAY,S.T; FODEN, J, A readiness level approach to manufacturing technology development in the aerospace sector: An industrial approach,, *Proceedings of the Institution of Mechanical*

Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2011, Vol. 226, Part B.

YASSERI, S. Subsea system readiness level assessment, International Journal of the Society for Underwater Technology, Vol 31, No 2, pp 77–92, 2013.

8. APÊNDICES

APÊNDICE A: Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS).....	124
APÊNDICE B : Tabela de classificação das tecnologias.....	127
APÊNDICE C: Matriz e Critérios de classificação de risco para TRAA.....	128
APÊNDICE D: Matriz DFM aplicada – MRL 2.....	130
APÊNDICE E: Matriz DFM aplicada – MRL 3 e 4.....	131
APÊNDICE F: Matriz DFA aplicada – MRL 2	132
APÊNDICE G: Matriz DFA aplicada – MRL 3.....	133
APÊNDICE H: Matriz DFA aplicada – MRL 4.....	134
APÊNDICE I: Questionário para avaliação da sistemática.....	135

APÊNDICE A: Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS).

A Figura 40 apresenta um modelo para garantir a efetividade da RBS, apresentado por Conforto et al (2011) e apresentado por Conforto et al (2011) que reforça a necessidade de realizar a RBS em ciclos de processamento por meio de seis etapas. A medida que o conhecimento sobre o assunto aumenta, os ciclos são realizados de modo mais eficiente. Esse ciclo é repetido quantas vezes forem necessárias até que os objetivos da pesquisa bibliográfica sejam alcançados.

Figura 40 – Método para realização da RBS



Fonte: Levy e Ellis (2006).

As fontes primárias foram artigos e periódicos de duas bases de dados, Scopus e Science Direct através do sistema CAPES.

O logaritmo de busca, apresentado na Tabela 13, foi preparado para encontrar materiais que referenciem os dois temas abrangentes usando a lógica booleana AND, incluindo mais dois subtemas derivados a serem tratados que são a manufatura e o gerenciamento do projeto com o uso de AND e OR consecutivamente. Para confirmar que os documentos procurados estejam alinhados com o objetivo da pesquisa foram definidos 4 critérios de inclusão, Tabela 12, que excluem materiais que não classificados como C3 e C4.

Tabela 12 - Critérios de inclusão da pesquisa.

C1	Não tem relação com o tema	Eliminatório
C2	Baixa relação com o tema	
C3	Relação com um ou outro tema	Aborda ou TRL ou MRL
C4	Relação com ambos os temas	Aborda ambos, TRL e MRL

Fonte: Autor (2016).

A busca resultou em um total de 130 documentos, dos quais 54 estavam disponíveis para consulta. Em uma análise preliminar 14 deles eram duplicados. Os detalhes desta busca podem ser vistos na Tabela II.

Tabela 13 - Bases e logaritmos de busca

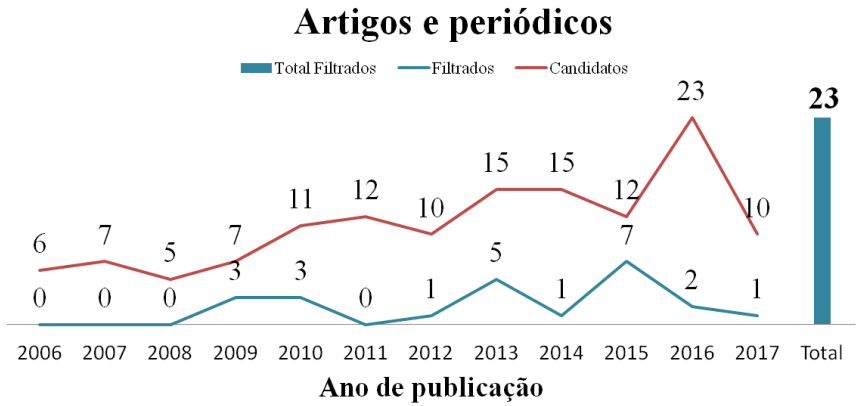
1. Base de Dados	Scopus	Science Direct
2. Período de Coleta	01/02/2017 - 31/06/2017	01/02/2017 - 31/06/2017
3. Observações	Busca limitada a título , resumo e palavras chave. * Publicações dos últimos 10 anos *Somente Artigos e Periódicos	Busca limitada a título , resumo e palavras chave. * Publicações de todos os anos *Somente Artigos e Periódicos
4. Logaritmo de Busca	TITLE-ABS-KEY ("manufacturing readiness level") OR TITLE-ABS-KEY ("readiness level model") OR TITLE-ABS-KEY ("technology readiness level") AND TITLE-ABS-KEY ("manufacturing") OR TITLE-ABS-KEY ("project management")	TITLE-ABS-KEY ("manufacturing readiness level") OR TITLE-ABS-KEY ("readiness level model") OR TITLE-ABS-KEY ("technology readiness level") AND TITLE-ABS-KEY ("manufacturing") OR TITLE-ABS-KEY ("project management")
5. Total	111	19
6. Lista de candidatos	36	18

Fonte: Autor (2016).

Os 40 artigos resultantes foram submetidos a alguns filtros, adaptados do modelo de revisão bibliográfica sistemática apresentada por Conforto et al (2011). O primeiro filtro levou em consideração uma análise dos títulos e palavras chaves, pelo qual todos foram aprovados. O segundo filtro foi passar pelos critérios de inclusão, apresentados na Tabela 12, neste filtro apenas 14 atenderam e foram selecionados.

Para aumentar a bibliografia foi realizada uma busca cruzada, vinda de referências citadas nos documentos selecionados ou em sistemas que não necessariamente tenha a CAPES como afiliada, resultando em mais 9 artigos e 1 manual de melhores práticas que atendem a todos os critérios já mostrados. Com isto a RBS será feita com base em 23 documentos, sendo 61% artigos, 30 % *conference papers* e 1 documento um manual de melhores práticas. 70 % foram publicados dos últimos 4 anos, como apresentado na Figura 41 e a maioria publicada nos Estados Unidos, seguido do Reino Unido.

Figura 41 – Artigos e periódicos x e ano de publicação.

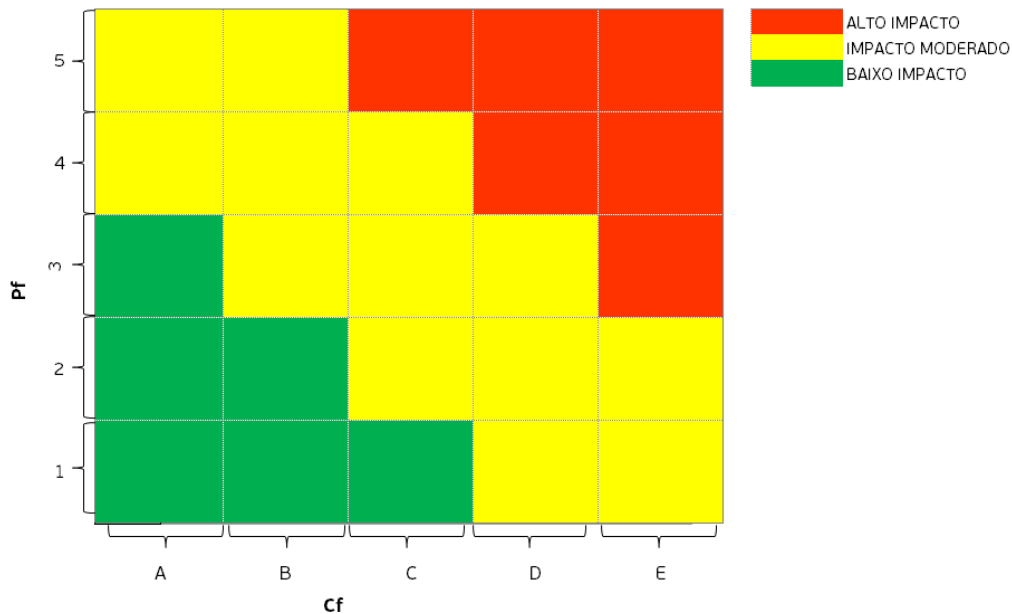


Fonte: Scopus (2017).

APÊNDICE B – Tabela de classificação das tecnologias.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Id.	Subsistema/ Componente do produto	Subfunção do subsistema	Tecnologia de produto	TRL	Tecnologia de manufatura	MRL	CTE? (Sim/Não)	Principal benefício (s) esperado (s) no produto e/ou projeto
A	Cabeçoce/Placa Válvula	Estanqueidade da descarga	<i>Design</i> do perfil do anel de vedação	4	Usinagem do perfil através de fresamento com ferramenta específica	4	Sim	1.Aumenta a eficiência 2.Reduz custos
B	Mecanismo/Eixo	Mancalização	Melhoria no acabamento da superfície.	3	Usinagem de acabamento por roletamento	3	Sim	1.Aumenta Eficiência 2.Reduz investimento 3.Aumenta flexibilidade
...								
n								

- Id: Número sequencial e 1 até n ou outra identificação da tecnologia.
- Subsistema/Componente do produto: Refere-se ao subsistema do produto para no qual pertence o componente identificado no diagrama de blocos do produto como proposto por Mital (2014, p 61apud Pahl and Beitz 1984).
- Subfunção: Refere-se a subfunção do componente ou subsistema como proposto por Mital (2014, p 61apud Pahl and Beitz 1984).
- Tecnologia de produto: Refere-se a solução proposta no componente ou subsistema para atender a subfunção.
- Tecnologia de manufatura : Refere-se a solução de manufatura para atender a proposta de tecnologia de produto..
- TRL e MRL : Corresponde ao estágio de maturidade em que as tecnologias se encontram
- Benefício (s) : Refere-se aos efeitos que as tecnologias tem sobre o produto e/ou o projeto.
- CTE (Elementos críticos de tecnologia) : Responder com sim ou não referente ao critério de tecnologia crítica (CTE)

APÊNDICE C: Matriz e Critérios de classificação de risco para TRAA

Probabilidade da falha (Pf)			Consequência da falha (Cf)		
Nível	Pf	Critério (R&D3-Dificuldade para o desenvolvimento)	Nível	Cf	Critério (TNV e TRL- Importância do desenvolvimento e Maturidade da tecnologia)
1	Remota	Muito baixo grau de dificuldade. 1 abordagem tecnológica para um alto grau de assertividade	A	Mínimo	A tecnologia não é crítica para o sucesso projeto , apenas melhorias de custo; contudo a informação a ser fornecida não é necessária para decisões gerenciais até longo prazo.
2	Improvável	Moderado grau de dificuldade. 2 ou 3 abordagens tecnológicas para um alto grau de assertividade	B	Algun	A tecnologia é útil para o sucesso do projeto , pode melhorar de forma significativa o custo e/ou <i>performance</i> ; contudo a informação a ser fornecida não é necessária para decisões gerenciais até médio e longo prazo
3	Provável	Alto grau de dificuldade. 3 ou 4 abordagens tecnológicas para um alto grau de assertividade	C	Moderado	A tecnologia é importante para o sucesso do projeto , importante para custo e/ou <i>performance</i> E a informação a ser fornecida é necessária para decisões gerenciais de curto e médio prazo
4	Altamente Provável	Muito alto grau de dificuldade. 4 ou 5 abordagens tecnológicas para um alto grau de assertividade	D	Grande	A tecnologia é muito importante para o sucesso do projeto - os avanços são chave para metas de custo e/ou importantes para os objetivos de <i>performance</i> E a informação a ser fornecida é altamente valiosa para decisões gerenciais de curto prazo.
5	Quase Certa	Grau de dificuldade é tão alto que será necessário um conceito de tecnologia disruptivo.	E	Inaceitável	A tecnologia é extremamente importante para o sucesso do projeto - os avanços de <i>performance</i> obtidos são chaves E a informação a ser fornecida é essencial para decisões gerenciais de curto prazo.

APÊNDICE D: Matriz DFM aplicada – MRL 2

MATRIZ DFM												
	Complexidade da forma - Cf	Qty	Re	Cc	Cmp	Cs (Ct ou Cf)	Pc	Mc	V	Cmt	Wc	Mi
Submontagem 1			7,4				8,5	9,6				44,6
Acionador montado-Usinagem	A1	1	4,4	1,0	4,00	1,1	1,47	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5
Acionador bruto - Sinterização	A1	2	1,6	1,0	1,60	1,0	5,54	8,78	141	0,052	1,2	35,3
Divisor - Usinagem	A1	1	1,4	1,0	1,40	1,0	1,47	0,77	141	0,0034	1,6	2,8
Submontagem 2			5,2				4,2	0,8				8,1
Acionamento - Injeção plástico	C3	1	1,8	1,8	1,0	1,0	1,30	0,09	145	0,0006	1,1	2,4
Corpo -Injeção plástico	A1	1	1,7	1,0	1,4	1,2	1,47	0,40	364	0,0007	1,6	2,9
Tampa - Usinagem	A1	1	1,7	1,0	1,4	1,2	1,47	0,33	299	0,0007	1,6	2,8
Submontagem 3			28,9				8,5	9,24				51,0
Vedante - Injeção plástico	A1	2	1,5	1,0	1,5	1,0	1,30	0,04	108	0,0004	1,1	4,0
Arruela - Estampagem	C1	1	1,2	1,0	1,2	1,0	0,83	0,09	108	0,0007	1,2	1,1
Corpo - Usinagem	A3	1	16,2	2,9	4,0	1,4	1,47	7,08	830	0,0034	2,5	31,0
Tampa 1 - Usinagem	A1	1	4,0	1,0	4,0	1,0	1,47	1,34	246	0,0034	1,6	7,2
Tampa 2 - Injeção plástico	C1	1	1,5	1,0	1,5	1,0	1,30	0,03	93	0,0004	1,0	2,0
Inserto - Injeção plástico	B5	1	3,0	3,0	1,0	1,0	1,30	0,55	1560	0,0004	1,0	4,4
Suporte válvula - Estampagem	C2	1	1,4	1,2	1,2	1,0	0,83	0,11	140	0,0007	1,2	1,3
Submontagem 4			9,0				3,9	17,51				29,2
Corpo - Injeção plástico	B5	1	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	8,13	11681,0	0,0006	1,2	12,0
Tampa do corpo - Injeção plástico	B5	1	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	6,40	9191,0	0,0006	1,2	10,3
Bocal da tampa - Injeção plástico	B5	1	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	2,98	4286,0	0,0006	1,2	6,9
Submontagem 5			13,9				7,3	7,4				32,6
Abafador 1-Injeção plástico	B5	1	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	2,98	4286	0,0006	1,2	6,9
Abafador 2 -Injeção plástico	B5	1	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	1,79	2572	0,0006	1,2	5,7
Linha 1-Injeção plástico	A1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	0,84	1200,0	0,0006	1,2	2,1
Linha 2-Injeção plástico	A3	1	1,3	1,3	1,0	1,0	1,3	0,84	1200,0	0,0006	1,2	2,5
Linha 3-Injeção plástico	A5	1	3,8	3,8	1,0	1,0	1,3	0,84	1200,0	0,0006	1,2	5,8
Fixador de linha - Estampagem	C2	6	1,8	1,2	1,5	1,0	0,83	0,11	36,2	0,0026	1,2	9,6
Índices parciais e global DFM			64				32	45				166

APÊNDICE E: Matriz DFM aplicada – MRL 3 e 4

MATRIZ DFM												
Complexidade e da forma -	Qtd	AA	Cc	Cmp	Cs (Ct ou	BB	CC	V	Cmt	We	DD	
Submontagem 1		11,6				3,1	1,67				15,0	
Valvula - Estampagem	C1	4,0	1,2	1,5	2,2	0,83	0,14	34	0,003	1,2	3,4	
Placa - Estampagem	C3	1,8	1,5	1,2	1	0,83	0,76	803	7E-04	1,4	2,3	
Placa - Usinagem	C1	5,8	1	1,4	4,14	1,47	0,76	803	7E-04	1,4	9,3	
Submontagem 2		12,9				3,13	0,97				15,4	
Válvula b - Estampagem	C1	3,2	1,2	1,2	2,2	0,83	0,07	80	7E-04	1,2	2,7	
Elástico - Estampagem	C1	4,0	1,2	1,5	2,2	0,83	0,14	34	0,003	1,2	3,4	
Fixador 2 - Usinagem	C3	5,8	1,0	1,4	4,14	1,47	0,76	803	7E-04	1,4	9,3	
Submontagem 3		14,5				4,4	2,7				18,2	
Corpo- Usinagem 1	A1	7,5	1,5	1,2	4,14	0,83	0,00				6,2	
Corpo- Usinagem 2	A3	4,1	2,9	1,4	1,0	1,47	2,22	1632	7E-04	2,0	8,2	
Cabeça - Estampagem	C1	1,2	1,0	1,2	1,0	0,83	0,30	364	7E-04	1,2	1,3	
Acionamento - Injeção plástico	C3	1,8	1,8	1,0	1,0	1,3	0,23	360	6E-04	1,1	2,6	
Submontagem 4		9,0				3,9	17,51				29,2	
Corpo - Injeção plástico	B5	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	8,13	#####	6E-04	1,2	12,0	
Tampa do corpo - Injeção plástico	B5	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	6,40	9191,0	6E-04	1,2	10,3	
Bocal da tampa - Injeção plástico	B5	3,0	3,0	1,0	1,0	1,3	2,98	4286,0	6E-04	1,2	6,9	
Submontagem 5		5,6				2,1	2,62				10,7	
Linha 1-Injeção plástico	A5	3,8	3,8	1,0	1,0	1,3	2,51	3600,0	6E-04	1,2	7,4	
Fixador de linha - Estampagem	C2	1,8	1,2	1,5	1,0	0,83	0,11	36,2	0,003	1,2	3,2	
Índices parciais e global DFM		54				17	26				88	

APÊNDICE F: Matriz DFA aplicada – MRL 2

Seqüência	Identificação do componente	Complexidade	Análise funcional		Qualidade		Manuseio								Junção / União					Outras Uniões			
			Número de componentes (a)	Número mínimo teórico de componentes (b)	Componente padrão (A)	Custo relativo (Baixo (L) - Médio (M) - Alto (H)) (B)	Montar o componente errado (C)	Montar de maneira errada (D)	Emaranhado, emosado, pegajoso, colado (E)	Flexível (F)	Fragil (G)	Abrasive ou afiado (H)	Escorregadio (I)	Orientação rotacional (J)	Uso de alicates, pinças ou 2 mãos (K)	Alinhar ou alocar (L)	Direção de montagem de cima para baixo (M)	Suave para inserir (Não existe resistência) (N)	Acesso obstruído (boa visibilidade) (O)	Auto-localizado (P)	Podê ser montado sem purificar, dobrar, linear, rebitar, crimpar ou curva (Q)	Sem "snap-on" (R)	Montar sem solda ou adesivo (S)
	Penalidade Máxima												1,0						1,0				
	Penalidade Mínima						2,0	0,6	0,4	0,3	0,2	0,4	1,5	0,7	2,0	0,6	1,5	2,0	4,0	1,3	4,0		
1 Submontagem 1																							
1.1	Acionador	2	y	n	h	y	n	n	n	n	n	n	n	y	y	n	y	y	y	n	y	y	n
1.2	Divisor	1	y	n	l	y	y	y	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
2 Submontagem 2																							
2.1	Mola	1	y	n	m	y	y	y	n	n	n	n	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
2.2	Acionamento	1	n	n	l	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
2.3	Conexões elétricas	1	y	n	l	y	n	n	n	n	n	n	n	y	y	n	y	n	n	n	n	n	n
2.4	Corpo	1	n	n	l	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
2.5	Tampa	1	n	n	l	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
3 Submontagem 3																							
3.1	Vedante	2	y	y	m	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	n	y	y	y	y
3.2	Arruela	1	n	n	h	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
3.3	Corpo 2	1	n	n	h	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
3.4	Tampa 2	1	n	n	h	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
3.5	Tampa 3	1	n	n	l	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
3.6	Inserto	1	n	n	l	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
3.7	Suporte válvula	1	n	n	l	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
3.8	Parafusos	4	n	n	l	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
4 Submontagem 4																							
4.1	Corpo	1	y	n	h	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
4.2	Tampa do corpo	1	y	n	h	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
4.3	Bocal da tampa	1	y	n	h	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	n	n	n	n	n	n	n
5 Submontagem 5																							
5.1	Abafador 1	1	n	n	h	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
5.2	Abafador 2	1	n	n	h	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
5.3	Linha 1	1	y	n	h	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
5.4	Linha 2	1	y	n	h	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
5.5	Linha 3	1	y	n	h	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
5.6	Fixador de linha	2	y	n	h	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
	Total	30	14	2	12	20	13	14,0	1,8	1,6	0,9	0,6	1,2	17,0	5,6	10,0	3,0	3,0	29,0	32,0	2,6	40,0	
	Índice parcial			8%	50%	83%	54%	1,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	1,2	0,4	0,7	0,2	0,2	2,1	2,3	0,2	2,9	
	Índice global	47%		29%	69%						2,7							6,1				2,9	

APÊNDICE H: Matriz DFA aplicada – MRL 4

Identificação do componente		Complexidade	Análise funcional		Qualidade		Manuseio							Junção / União					Outras Uniões			
Sequência		Número de componentes (a)	Número mínimo teórico de componentes (b)	Componente padrão (A)	Custo relativo [Baixo (L) - Médio (M) - Alto (H)] (B)	Montar o componente errado (C)	Montar de maneira errada (D)	Emaranhado, enosado, pegajoso, colado (E)	Flexível (F)	Frágil (G)	Abrasive ou afiado (H)	Escoregado (I)	Orientação rotacional (J)	Uso de alicates, pinças ou 2 mãos (K)	Alinhar ou alocaer (L)	Direção de montagem de cima para baixo (M)	Suave para inserir (Não existe resistência) (N)	Acesso obstruído (boa visibilidade) (O)	Auto-localizado (P)	Podê ser montado sem parafusar, dobrar, furar, rebitar, crampar ou curva (Q)	Sem "sup-on" (R)	Montar sem solda ou adesivo (S)
	Penalidade Mínima							-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-
	Penalidade Máxima							2,0	0,6	0,4	0,3	0,2	0,4	1,5	0,7	2,0	0,6	1,5	2,0	4,0	1,5	4,0
1 Submontagem 1																						
1.1	Valvula	1	y	n	l	y	n	n	n	n	y	y	y	y	y	n	y	y	y	y	y	y
1.2	Placa	1	y	n	l	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	y	y	y	y
1.3	Fixador	1	n	n	l	y	n	y	y	y	y	y	y	n	y	y	n	n	y	n	n	y
1.4	Parafusos	1	n	y	l	y	y	y	y	y	y	y	y	n	y	y	n	n	y	y	y	y
2 Submontagem 2																						
2.1	Válvula b	1	y	n	l	y	y	n	n	y	y	y	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y
2.2	Elástico	1	y	n	l	y	n	n	n	y	y	y	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y
2.3	Fixador de válvula	0	n	n	h	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y
2.4	Fixador 2	1	n	n	l	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	n	n	n	n	y
2.5	Parafusos	1	n	y	l	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y
3 Submontagem 3																						
3.1	Corpo	1	y	n	m	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y
3.2	Cabeça	1	y	n	l	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	y	y	y	y	y	y
3.3	Mola	1	y	n	m	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	n
3.4	Acionamento	1	y	n	l	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y
3.5	Conexões elétricas	2	y	y	l	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	y	y	y	y	y	y	y
4 Submontagem 4																						
4.1	Corpo	1	y	n	h	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	n
4.2	Tampa do corpo	1	y	n	h	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n
4.3	Bocal da tampa	1	y	n	h	y	y	y	y	y	y	y	y	y	n	y	y	y	y	n	n	n
5 Submontagem 5																						
5.5	Linha 1	1	y	n	h	y	n	y	y	y	y	y	y	y	y	n	y	n	n	n	n	y
5.6	Fixador de linha	2	n	n	l	y	y	n	n	y	y	y	n	n	n	n	n	n	n	n	n	y
	Total	20	14	4	12	19	10	10,0	1,2	0,0	0,3	0,0	0,0	19,5	4,9	4,0	1,8	4,5	21,0	12,0	1,3	16,0
	Índice parcial		21%	63%	100%	53%	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,4	0,3	0,1	0,3	1,5	0,9	0,1	1,1	
	Índice global	70%		42%	76%					2,2							3,5				1,1	

APÊNDICE I: Questionário para avaliação da sistemática

1-A sistemática propõe um fluxo e ferramentas que ajudem a estruturar, integrar e sistematizar o trabalho de engenharia simultânea de projetos e manufatura durante as fases iniciais de projeto?

Sim

Parcialmente

Não

2-A sistemática possibilita um melhor registro de informações bem como facilita a tomada de decisão do projeto?

Sim

Parcialmente

Não

3-As matrizes apresentadas melhoram a efetividade da aplicação do DFMA nas fases iniciais de projeto ?

Sim

Parcialmente

Não

4- A sistemática, através de seus níveis de maturidade e riscos (MRL, TRL e TRAA) permite uma melhor orientação temporal do projeto em relação ao estágio do desenvolvimento bem como os riscos envolvidos?

Sim

Parcialmente

Não

5- A sistemática se aplica às necessidades da realidade empresarial que você conhece quanto à integração das áreas de manufatura e de projetos?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

6- A representação dessa sistemática (fluxo de processo e matriz) apresenta de forma objetiva fases e atividades de forma a não haver redundância?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

7- A representação gráfica dessa sistemática (fluxo de processo e matriz) apresenta de forma clara e amigável as fases e atividades?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

8- A sistemática contém toda a informação necessária para realizar a integração das áreas de manufatura e projeto?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

9- A sistemática pode ser usada para o desenvolvimento de variados tipos de tecnologias?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

10- A sistemática pode ser usada para o desenvolvimento de variados tipos de tecnologias?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

11- A estrutura da sistemática pode ser adaptada para uso em outros tipos de negócio ?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

12- A execução da sistemática, mantendo a qualidade de execução adequada, é enxuta em termos de recursos e tempo, de modo a manter uma relação custo versus benefício viável?

Não atende

Atende pouco

Atende muito

Atende totalmente

13- Podemos aplicar o modelo aqui na Embraco? Comente.

Sim

Parcialmente

Não

9. ANEXOS

ANEXO A – Template para identificação das tecnologias críticas (CTE's).....	138
ANEXO B – <i>Template</i> para identificação dos TRL e MRL.....	139
ANEXO C – Regras de design para automação.....	140
ANEXO D – Tipos de envelopes para análise dos custos de manufatura (Mc).....	142
ANEXO E – Coeficientes de complexidade Cc.....	143
ANEXO F – Coeficientes de seção limite Cs.....	144
ANEXO G – Custo básico de processo/ Quantidade Pc.....	145
ANEXO H – Coeficientes de adequabilidade do material Cmp....	146
ANEXO I – Coeficientes de perdas Wc.....	147
ANEXO J – Coeficientes de tolerância Ct.....	148
ANEXO K– Coeficientes de tolerância Cf.....	149
ANEXO L– Coeficientes de custo do material Cmt.....	150

ANEXO A – Template para identificação das tecnologias críticas (CTE's).

Condição 1- Plano do Projeto	SIM	NÃO
A tecnologia afeta diretamente um requisito funcional do processo ou instalação?	A e B	
As limitações na compreensão da tecnologia resultam em um potencial risco de cronograma, ou seja, a tecnologia pode não estar pronta para inserção quando necessário?	A e B	
As limitações na compreensão da tecnologia resultam em um potencial risco de custo; Ou seja, a tecnologia pode causar excessos de custos significativos?	A e B	
As limitações na compreensão da tecnologia afetam a segurança do projeto?	A e B	
Existem incertezas na definição dos requisitos de estado final para esta tecnologia?	B	A
Condição 2 – Novo ou Novidade	SIM	NÃO
A tecnologia é nova ou inovadora?	B	A
A tecnologia é uma mudança?	A e B	
A tecnologia foi reeditada para que um novo ambiente relevante seja proposto?	A e B	
A tecnologia deve operar em um ambiente e / ou atingir o desempenho além da intenção de projeto original ou capacidade demonstrada?		A e B

- Para ser classificada como crítica deve ter no mínimo uma resposta positiva para cada critério.
- As letras A e B em vermelho são parte de um exemplo de aplicação. Esta tabela deve estar em branco em cada nova necessidade de aplicação.

ANEXO B – *Template* para identificação dos TRL e MRL

Critérios de alto nível			
TRL 6	O produto protótipo em escala piloto capaz de representar todas as funções operacionais necessárias	MRL 6	Capacidade para produzir produtos protótipos em um ambiente relevante de produção.
TRL 5	Componentes integrados com alta fidelidade ao projeto final, e validados em ambiente de laboratório	MRL 5	Capacidade para produzir componentes protótipos em um ambiente relevante de produção
TRL 4	Componentes integrados para entender com irão trabalhar juntos no produto mesmo que com baixa fidelidade ao projeto final, e validados em ambiente de laboratório	MRL 4	Capacidade dos os processos para garantir manufaturabilidade, produtibilidade e qualidade validados em ambiente de laboratório
TRL 3	Função crítica comprovada de forma analítica e experimental	MRL 3	Conceitos de manufatura comprovados de forma analítica e experimental
TRL 2	Traduzir pesquisa básica para aplicada	MRL 2	Traduzir pesquisa básica para aplicada
TRL 1	Pesquisa básica	MRL 1	Pesquisa básica

- Ambiente de produção relevante: Ambiente com algum realismo de chão de fábrica, deve ter confiabilidade de demonstrar que as metas serão atingidas mesmo ainda sem ter a linha de produção.

ANEXO C – Regras de design para automação.

Tipo de aplicação	Regra de <i>design</i>
Montagem de alta velocidade. (Projeto do produto)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Minimize o número de peças. 2. Certifique-se de que o produto possui uma peça de base adequada para construir o conjunto. 3. Certifique-se de que a parte de base possui características que permitam que ele seja prontamente localizada em uma posição horizontal plana estável. 4. Se possível, projete o produto para que ele possa ser construído em camadas, sendo cada parte montada de cima e positivamente localizada para que não haja tendência que ele mova-se sob a ação de forças horizontais durante o período de indexação da máquina. 5. Tente facilitar a montagem fornecendo chanfros ou reduções que ajudem a guiar e posicionar as peças na posição correta. 6. Evite operações de fixação caras e demoradas, como a fixação de parafusos, solda, e assim por diante.
Montagem de alta velocidade (Projeto dos componentes)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evite projeções, furos ou fendas que causem em baralhamento com partes idênticas quando colocado no alimentador. Isso pode ser conseguido organizando os furos ou fendas para serem menores do que as projeções. 2. Tente fazer as partes simétricas para evitar a necessidade de orientação extra dispositivos e a perda de eficiência do alimentador. 3. Se a simetria não puder ser alcançada, exagere características assimétricas para facilitar a orientação ou, alternativamente, criar características assimétricas que possam ser usadas para orientar as partes.
Montagem por Robôs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reduza o número de peças. 2. Inclua recursos como ressalto, chanfros, e assim por diante, para conseguir peças auto-alinhadas 3. Certifique-se de que as peças que não estão presas ou fixas imediatamente na inserção são auto-localizadas. 4. Desenhe peças para que todas possam ser agarradas e inseridas usando a mesma pinça do robô.

<p>Montagem por robôs</p>	<p>5. Projete produtos para que eles possam ser montados em camadas diretamente de cima (Montagem do eixo z). Isso garante que maior simplicidade, menos desperdício e o maior confiabilidade.</p> <p>6. Evite a necessidade de reorientar a montagem parcial ou de manipular previamente</p> <p>7. Projete peças que podem ser facilmente manipuladas a partir de uma pilha, para isto evite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ninho ou emaranhado em massa. • Sejam flexíveis • Possuam bordas finas ou afuniladas que podem se sobrepor à medida que se movem ao longo de um transportador ou alimentador. • Sejam tão delicados ou frágeis que a recirculação em um alimentador causaria danos. • Sejam pegajosas ou magnéticas, de modo que uma força comparável ao peso da peça seja necessária para a separação. • Sejam abrasivas e usarão as superfícies dos sistemas de manipulação automáticos. • Sejam leves para que a resistência do ar crie problemas de transporte (menos de 1,5 N / m³ ou 0,01 lb / in.³) <p>8. Se as peças forem apresentadas usando alimentadores automáticos, assegure-se de que eles possam ser orientadas usando ferramentas simples.</p> <p>9. Se as peças forem apresentadas usando alimentadores automáticos, assegure-se de que elas possam ser entregues em uma orientação a partir da qual eles podem ser pegos e inseridos sem qualquer manipulação.</p> <p>10. Se as peças forem apresentadas em <i>magazines</i> ou bandejas de peças, assegure-se de que elas tem um aspecto de repouso estável a partir do qual eles podem ser pegos e inseridos sem qualquer manipulação pelo robô.</p>
---------------------------	--

ANEXO D – Tipos de envelopes para análise dos custos de manufatura (Mc)

Componentes com envelopes cilíndricos				
A1	A2	A3	A4	A5
Características rotacionais básicas Simetria de rotação, sulcos, escoramentos, degraus, chanfros, e furos ao longo do eixo primário ou linhas centrais	Características repetitivas regulares Roscas internas / externas, contornos simples através de planos, splines, trilhos de guias no eixo primário ou linha central	Características internas Furos, roscas, contornos e outras características internas não no eixo primário	Características internas ou externas Projeções, características complexas, furos cegos, splines, trilhos de guias no eixo secundário	Formas irregulares ou complexas Superfícies com contornos complexos ou uma série de características que não estão representadas em categorias anteriores.
Componentes com envelopes prismáticos				
B1	B2	B3	B4	B5
Características básicas	Características repetitivas regulares Ranhuras em T e racks, seções de engrenagem simples, etc., furos repetitivos, roscas, furo rebaixado em um único plano	Características ortogonais ou linha reta Projeções em um ou mais eixos, furos angulados, roscas e balas	Características curvas ou planas Curvas em superfícies internas ou externas	Formas irregulares ou contornadas Contornos complexos 3D , geometrias que não podem ser classificadas nas outras categorias
Componentes com envelopes planos ou de paredes finas				
C1	C2	C3	C4	C5
Características básicas <i>Blanks</i> , arruelas, curvas simples, formas e recursos através ou paralelos ao eixo primário	Seção uniforme ou espessura de parede Rodas de engrenagens simples, curvas e formas múltiplas ou contínuas	Seção não-uniforme ou espessura de parede Alterações de seção não compostas por curvas múltiplas ou formas, etapas, ajustes e características cegas	Peças tipo-caixa, cone ou copo A peças apresenta mudanças na espessura de parede	Peças não-uniformes ou contornadas Características complexas, irregulares que não podem ser classificadas nas categorias anteriores

ANEXO E – Coeficientes de complexidade Cc

Complexidade C _c (branco = não viável)								
		Molde de areia	Injeção de metal	Forjamento	Prensa	Usinagem	Metalurgia do Pó	Injeção Plástico
A1	1	1	1	1		1	1	1
A2	1	1.2	1.1	2.1		1.2	2.1	1.1
A3	3	1.3	1.3	2.3		2.9	2.3	1.3
A4		1.8	2	2.6		5.3	2.6	2
A5		3.2	3.8	3		6.1	4	3.8
B1	2	1.1	1	1		1	1	1
B2	3	1.2	2.2	2.2		1.3	1.3	1.3
B3	5	1.4	2.2	2.2		2.6	1.7	1.8
B4		1.8	2.3	2.3		2.6	1.7	1.8
B5		2.6	2.7	2.7		2.8	3.5	3
C1	1.5	2.1	2.1	1	1	1	1	1
C2	3	2.3	2.2	1.2	1.2	1.4	1	1.2
C3	3.5	2.8	2.3	1.6	1.5	3.1	1.4	1.8
C4		3.7	2.5	2.5	2.2	5.4	2.4	2.9
C5		5	3.6	3.4	2.5	6.5	4	3.6

ANEXO F – Coeficientes de seção limite Cs

Seção limite C _s (milímetros) (branco = não viável)								
Seção mínima	Extrusão	Molde de areia	Injeção de metal	Forjamento	Prensa	Usinagem	Metalurgia do Pó	Injeção Plástico
<= 0.4	1				1	1.6		2
>0.4 - 0.6	1		1.5		1	1.4		1.2
>0.6 - 1.0	1		1	1.5	1	1	1.2	1
>1.0 - 3.0	1	2	1	1	1	1	1	1
>3.0 - 5.0	1	1	1	1	1.2	1	1	1
>5.0	1	1	1	1	1.7	1	1	1

ANEXO G – Custo básico de processo/ Quantidade Pc

Custo basico de processo/ Quantidade (P.)									
PROCESSO	Extrusão	Molde areia	Injeção de metal	Forjamento	Prensa	Usinagem Automática	Usinagem Manual	Metalurgia do Pó	Injeção Plástico
Quantidade por ano									
10	20000	513	10000	15000	8000	5000	505	50000	10000
50	4000	113	2000	3000	1600	1000	105	10000	3000
100	2000	63	1000	1500	800	500	55	5000	1000
200	1000	38	500	750	400	250	30	2500	500
400	500	26	250	376	200	126	18	1250	250
600	330	21	168	251	134	85	14	836	167
800	250	19	126	189	100	64	11	628	126
1000	200	18	100	151	80	51	10	500	100
2000	100	16	51	76	40	26	7.7	253	51
4000	50	14.3	26	39	20	14	6.5	128	26
6000	35	13.8	17	26	14	9.6	6	86	17
8000	26	13.6	13	20	10	7.5	5.8	66	13
10000	21	13.5	11	16	8	6.2	5.7	53	11
20000	11	13.3	5.8	8.7	4.4	3.7	5.46	28	5.8
30000	7.3	13.2	4.1	6.2	3.1	2.9	5.38	19.7	4.1
40000	5.6	13.1	3.3	5	2.4	2.47	5.34	15.5	3.3
50000	4.6	13.1	2.8	4.2	2	2.22	5.31	13	2.8
60000	3.9	13.1	2.4	3.7	1.8	2.05	5.29	11.4	2.4
70000	3.5	13.1	2.2	3.4	1.6	1.93	5.28	10.2	2.2
80000	3.3	13.1	2	3.1	1.4	1.85	5.27	9.3	2
90000	2.8	13.1	1.9	2.9	1.3	1.78	5.26	8.6	1.9
100000	2.6	13.1	1.78	2.7	1.2	1.72	5.26	8.	1.8
200000	1.61	13	1.28	1.97	0.83	1.47	5.24	5.54	1.3
400000	1.11	13	1	1.59	0.63	1.35	5.22	4.29	1
600000	0.94	13	0.95	1.47	0.57	1.3	5.22	3.87	0.95
800000	0.86	13	0.91	1.47	0.53	1.28	5.21	3.67	0.91
1000000	0.81	13	0.88	1.37	0.51	1.27	5.21	3.54	0.88
1500000	0.74	13	0.85	1.32	0.49	1.25	5.21	3.37	0.85
2000000	0.71	13	0.83	1.3	0.47	1.24	5.21	3.29	0.83

ANEXO H – Coeficientes de adequabilidade do material C_{mp}

Adequabilidade do material C _{mp} (branco = não viável)								
PROCESSO→	Extrusão	Molde de areia	Injeção de metal	Forjamento	Prensa	Usinagem	Metalurgia do Pó	Injeção Plástico
MATERIAL								
Ferro fundido		1				1.2	1.6	
Aço baixo carbono	1.3	1.2		1	1.2	1.4	1.2	
Ligas de aço	2	1.3		2	1.5	2.5	1.1	
Aço inoxidável	2	1.5		2	1.5	4	1.1	
Ligas de cobre	1	1		1	1	1.1	1	
Ligas de alumínio	1	1	1.5	1	1	1	1	
Ligas de zinco	1	1	1.2	1	1	1.1	1	
Thermoplastics (nylons, acrílicos, etc)						1.1		1
Thermofixos (epoxies, fenólicos, etc.)						1.2		1
Elastomeros (borrachas)						1.1		1.5

ANEXO I – Coeficientes de perdas W_c

Coeficiente de perdas W_c (branco = não viável)								
PROCESSO	Extrusão	Molde de areia	Injeção de metal	Forjamento	Prensa	Usinagem	Metalurgia do Pó	Injeção Plástico
A1	1	1.1	1	1.1		1.6	1	1
A2	1	1.1	1.1	1.1		2	1	1.1
A3	1	1.2	1.1	1.2		2.5	1	1.1
A4		1.3	1.2	1.2		3	1	1.2
A5		1.4	1.3	1.3		4	1.2	1.3
B1	1	1.1	1	1.1		1.7	1	1
B2	1	1.1	1.1	1.1		2.2	1	1.1
B3	1	1.2	1.1	1.2		2.8	1	1.1
B4		1.3	1.2	1.2		4	1	1.1
B5		1.4	1.3	1.3		6	1.2	1.2
C1	1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.8	1	1
C2	1	1.2	1.1	1.1	1.2	2.4	1	1.1
C3	1	1.3	1.1	1.1	1.4	4	1	1.1
C4		1.4	1.2	1.2	1.5	6	1	1.1
C5		1.6	1.3	1.3	1.6	8	1.2	1.2

ANEXO J – Coeficientes de tolerância Ct

Tolerância Ct (Baseada no número de planos em que cada tolerância crítica ocorre)																								
PROCESSO→	Extrusão			Mode de areia			Injeção de metal			Matalurgia do Pó			Forjamento			Prensa			Injeção Plástico			Usinagem		
TOLERÂNCIA (mm)	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+
<= 0.004	3.7	5.3	6.1	4.6	5.6	6.8	5.1	6.1	7	3.1	4.6	5.4	4.3	5.6	6.6	4.6	5.4	6.5	4.8	6.3	7.1	3.7	5.3	
>0.004-0.01	2.8	3.1	4.3	3.5	3.8	4.9	3.5	4.2	5	1.4	1.7	2.1	3.2	3.5	4.6	3.2	3.8	4.5	3.6	3.9	5.2	2.8	3.1	4.3
>0.01-0.03	1.9	2.4	2.6	2.8	3	3.2	2.8	3	3.6	1	1.1	1.4	2.6	2.8	3	2.6	2.8	3.2	2.9	3.4	3.4	2.2	2.4	2.6
>0.03-0.05	1.1	1.5	1.9	2.4	2.5	2.8	2.8	2.5	2.8	1	1	1	2.3	2.4	2.5	2.2	2.4	2.5	1.9	2.1	2.3	1.2	1.4	1.6
>0.05-0.08	1	1	1	2.2	2.4	2.5	1.5	2	2.4	1	1	1	2.2	2.3	2.4	1	1.4	1.6	1	1	1	1	1.1	1.2
>0.08-0.15	1	1	1	2	2.2	2.4	1	1.4	2	1	1	1	1.9	2.2	2.3	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.2
>0.15-0.3	1	1	1	1.9	2	2.2	1	1	1	1	1	1	1.8	1.9	2.2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1
>0.3	1	1	1	1.5	1.7	1.9	1	1	1	1	1	1	1.4	1.6	1.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ANEXO L– Coeficientes de custo do material C_{mt}

Seleção do custo de material C_{mt}	
MATERIAL	$C_{mt}(\text{cents}/\text{mm}^3)$
Ferro fundido	0.00105
Aço baixo carbono	0.00068
Ligas de aço	0.00259
Aço inoxidável	0.00341
Ligas de cobre	0.00564
Ligas de alumínio	0.00243
Ligas de zinco	0.00369
Thermoplastics (nylons, acrílicos, etc)	0.00107
Outros	0.00035
Thermofixos (epoxies, fenólicos, etc.)	0.00058
Elastomeros (borrachas)	0.00035