

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

ALBERTO BRONDANI

**DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO MODULAR (MFD)
APLICADO AO DESENVOLVIMENTO DE UMA TAMPA DEFLETORA**

JARAGUÁ DO SUL, SETEMBRO DE 2016

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

ALBERTO BRONDANI

**DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO MODULAR (MFD)
APLICADO AO DESENVOLVIMENTO DE UMA TAMPA DEFLETORA**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos de obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Professor Orientador: Esp. Cassiano Rodrigues Moura.

JARAGUÁ DO SUL, SETEMBRO DE 2016

B869d Brondani, Alberto

Desdobramento da função modular (MFD) aplicado ao desenvolvimento de uma tampa defletora / Alberto Brondani ; orientador Cassiano Rodrigues Moura. – Jaraguá do Sul, SC, 2016.

87 f.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Santa Catarina.
Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica

Inclui bibliografia

1. Desdobramento da função modular. 2. Modularização. 3. Desenvolvimento de produto. I. Moura, Cassiano Rodrigues. III. Instituto Federal de Santa Catarina. Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica. IV. Título.

CDD 620.1

Catalogado por: Karla Viviane Garcia Moraes – CRB14/1002

**DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO MODULAR (MFD)
APLICADO AO DESENVOLVIMENTO DE UMA TAMPA DEFLETORA**

ALBERTO BRONDANI

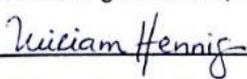
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, 14 de setembro de 2016.

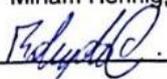
Banca Examinadora:



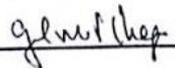
Cassiano Rodrigues Moura, Esp.



Miriam Hennig, Me.



Eduardo Cardoso Castaldo, Me.



Gil Magno Portal Chagas, Dr.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus, a todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica.

A minha mulher e ao meu filho, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da metodologia de projeto no desenvolvimento de produtos modulares *Modular Function Deployment* – Desdobramento da Função Modular (MFD), e a sua aplicação no desenvolvimento de uma tampa defletora na linha de motores elétricos HGF, produto da empresa equipamentos elétricos WEG S/A, com enfoque na modularização para racionalizar projetos de engenharia, fabricação e processos para produzir variedades de produtos com custos mais baixos. O trabalho inicia-se com o estudo de um modelo de referência no processo de desenvolvimento de produto, alinhado com o utilizado pela empresa, na identificação de oportunidades de melhorias para aplicação neste trabalho. É apresentada uma revisão bibliográfica sobre as ferramentas de *Design for X (DFX)*, visando aplicação das recomendações de projetos para a manufatura, montagem, manutenção e modularidade. Posteriormente, é analisado o método MFD e suas atividades a fim de utilizá-lo na modularização de componentes. A metodologia aplicada nesse trabalho tem início com a definição do produto para modularização na situação original. Mostra-se a aplicação sistematizada do MFD com as cinco fases propostas para o desenvolvimento do conceito da tampa defletora validando a aplicação do método. Foram alcançadas as expectativas com o uso do MFD no processo de apoio, como melhoria incremental de projetos existentes, estruturando a abordagem para novos trabalhos, melhorando os indicadores de desempenho da empresa em termos de soluções mais eficientes, tais como, atendimento aos clientes e redução de custo.

PALAVRAS-CHAVE: Desdobramento da Função Modular, Modularização, Desenvolvimento de Produto.

ABSTRACT

This paper presents the study of design methodology in the development of modular products Deployment Modular function (MFD), and its application in developing a fan cover on the line HGF electric motors, the company's product electrical equipment WEG S/A, with a focus on modularization to streamline engineering, and manufacturing processes to produce varieties of products at lower costs. The work begins with the study of a reference model in the product development process in line with the one used by the company in identifying improvement opportunities for the application of this work. It presented a review of the design for X (DFX) tools, aiming at implementation of project recommendations for the manufacture, assembly, maintenance and modularity. Later analyzes the MFD method and its activities with the view to modularize components. The methodology applied in this work begins with the definition of the product modularization in the original situation. It shows the systematic application of the MFD with the five stages proposed for the development of the concept of fan cover validating the application of the method. It was reached expectations through MFD in the support process as incremental improvement of existing projects, structuring the approach to new jobs, improving the company's performance indicators in terms of more efficient solutions, such as customer service and cost reduction.

Keywords: *Modular Function Deployment, Modularization, Product Development.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de referência do PDP	19
Figura 2 - Duração típica das macrofases	21
Figura 3 - Integração entre PDP e os processos de apoio	23
Figura 4 - Representação da visão geral do processo de melhoria incremental do PDP e do processo de transformação.....	25
Figura 5 - Cabine do caminhão modular, com cabine modular.....	32
Figura 6 - Cinco fases do MFD	34
Figura 7 - Versão simplificada da matriz QFD, permite visualizar a relação dos desejos do cliente com as características do produto	35
Figura 8 - Estruturação das vantagens e desvantagens através da matriz de Pugh	36
Figura 9 - Estrutura funcional do produto e soluções técnicas	37
Figura 10 - Matriz Indicadora de Módulos	39
Figura 11 - Matriz de Interfaces	41
Figura 12 – Exemplo de especificação de módulo	42
Figura 13 - Metodologia de desenvolvimento do projeto	44
Figura 14 - Tampa defletora original do motor elétrico, linha HGF, ABNT 500	45
Figura 15 - Exemplo dos diferentes formas de tampas defletoras atualmente ofertadas.....	46
Figura 16 – Representação das soluções técnicas para tampa defletora.....	53
Figura 17 – Dendograma da matriz MIM e DPM	57
Figura 18 - Visualização do dendograma com a régua e as divergências nos grupos	59
Figura 19 – Módulos finais gerados para tampa defletora.....	61
Figura 20 - Alterações realizadas no design da tampa defletora.	63
Figura 21 - Variações de tampas defletoras originais e os seus multiplicadores	64

Figura 22 - Comparativo entre o design original e novo das tampas defletoras	65
Figura 23 - Planos de avaliação	66
Figura 24 - Dimensões avaliadas	66
Figura 25 - Avaliação da velocidade média nos planos de saída, central e frontal ...	67
Figura 26 - Potência consumida pelo sistema de ventilação	68
Figura 27 – Molde em alumínio de uma cavidade	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns atributos do Design for X.....	27
Tabela 2 - Diretrizes para modularização de Ericsson e Erixon, 1999.....	38
Tabela 3 – Requisitos do consumidor e as definições /especificações para o produto	48
Tabela 4 – Avaliação do grau de importância dos requisitos do consumidor.....	49
Tabela 5 - Peso avaliado em relação ao grau de importância	49
Tabela 6– Requisitos do Produto	50
Tabela 7 – Soluções técnicas para as funções do produto	52
Tabela 8 – Agrupamentos gerados no dendograma.....	58
Tabela 9 – Módulos gerados a partir do dendograma	60
Tabela 10 - Número de variações no conceito original em relação ao novo conceito	64
Tabela 11 – Comparativo de comprimento e massa das tampas defletoras.....	65
Tabela 12 - Dimensões avaliadas	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz QFD.....	51
Quadro 2 - Matriz de Propriedades do Produto.....	54
Quadro 3 - Matriz de Identificação de Módulos.....	55
Quadro 4 - Combinação das matrizes MIM e DPM.....	56
Quadro 5 – Matriz de Interfaces.....	62
Quadro 6 - Mapa de Gerenciamento do Produto (PMM).....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BOM - Lista de Materiais

CAD – Desenho Assistido por Computador

CCB - Comitê de Controle de Mudanças

CFX[®] - *Software* de Fluidodinâmica Computacional

DFX - Design para X

DFM – Projeto para Manufatura

DPM - Matriz das Propriedades do Produto

DFA – Projeto para Montagem

DFMA – Projeto para Manufatura e Montagem

ECM - Gerenciamento de Mudanças de Engenharia

ECO - Ordem de Mudança de Engenharia

ECR - Pedido de Mudança de Engenharia

JMP[®] - *Software* Estatístico

MFD - Desdobramento da Função Modular

MI - Matriz de Interfaces

MIPDP - Melhoria Incremental do PDP

MIM - Matriz de Indicação de Módulos

PDP - Processo de Desenvolvimento de Produto

PMM - Mapa de Gerenciamento de Produto

QD - Desdobramento da Qualidade

QFD - Desdobramento da Função Qualidade

TFVE – Totalmente Fechado Ventilação Externa

TFVF – Totalmente Fechado Ventilação Interna

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Definição do Problema	16
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	Desenvolvimento de Produtos.....	17
2.1.1	Processo de Desenvolvimento de Produto	18
2.1.2	Processos de Apoio	22
2.1.3	Gerenciamento de Mudanças de Engenharia	23
2.1.4	Melhoria Incremental e de Transformação do PDP.....	24
2.2	Design for X.....	26
2.2.1	Projeto para Manufatura e Montagem - DFMA	27
2.2.2	Projeto para Serviço e Manutenção.....	30
2.2.3	Projeto para Modularidade.....	30
2.3	Desdobramento da função modular – MFD	33
2.3.1	1º Fase: Definir os requisitos do consumidor	34
2.3.2	2º Fase: Criar e selecionar soluções técnicas	36
2.3.3	3º Fase: Gerar conceito de módulo	37
2.3.4	4º Fase: Avaliar o conceito dos módulos	40
2.3.5	5º Fase: Otimizar módulos	41
3	METODOLOGIA.....	43
3.1	Aplicação da metodologia para modularização.....	45

3.1.1	Definição do Produto para Modularização	45
3.1.2	1° Fase: Definir os Requisitos do Consumidor	47
3.1.3	2° Fase: Criar e Selecionar Soluções Técnicas	51
3.1.4	3° Fase: Gerar conceito de módulo	55
3.1.5	4° Fase: Avaliar conceitos da modularização	61
3.1.6	5° Fase: Otimizar módulos	71
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	72
4.1	Avaliação da Aplicação do MFD para Modularização	72
4.2	Resultados da 1° Fase: Definir os Requisitos do Consumidor	72
4.3	Resultados da 2° Fase: Criar e Selecionar Soluções Técnicas	73
4.4	Resultados da 3° Fase: Gerar conceito de módulo	73
4.5	Resultados da 4° Fase: Avaliar conceitos da modularização	74
4.6	Resultados da 5° Fase: Otimizar módulos	74
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A - Módulo A: Defletora TFVE / TFVF	80
	APÊNDICE B - Módulo B: Movimentação e identificação	81
	APÊNDICE C - Módulo C: Sistema TFVF	82
	APÊNDICE D - Módulo D: Grade removível	83
	APÊNDICE E - Módulo E: Grade removível para encoders hollow shaft	84
	APÊNDICE F - Módulo F: Defletora TFVE para encoder flangeado	85
	APÊNDICE G - Módulo G: Sistema de proteção e atenuação de ruído	86
	ANEXO A – Melhoria Incremental x Processo de Transformação	87

1 INTRODUÇÃO

É crescente a importância nas organizações da capacidade de ser flexível no mercado como diferencial competitivo, atendendo os requisitos dos clientes de forma mais rápida, com qualidade e com o menor custo em relação ao concorrente. Essa necessidade de ser flexível traz grande complexidade ao gerenciamento de produtos e a toda cadeia produtiva para atingir a satisfação do cliente.

Para Back et al.(2008) desenvolver produtos requer um grande e amplo processo para atender à ampla necessidade dos clientes. Atender os clientes mais exigentes e seus requisitos impactam em uma grande variação de produtos, em consequência uma produção complicada, de difícil planejamento e controle. Isso leva as empresas a atender as customizações de produtos com elaborações específicas para cada utilidade.

A necessidade da gestão no desenvolvimento de produto, portanto, torna-se evidente para a empresa. Inicialmente, é necessário compreender a voz do cliente traduzindo-a nas decisões de todo o processo de desenvolvimento de produto. Dessa forma, o produto terá maiores chances de obter a satisfação do cliente no mercado (CHENG, 2010).

Desenvolver produtos está além de compreender o consumidor. Segundo Baxter (2008), a inovação é fundamental para o sucesso de uma empresa. Para manter-se à frente de seus concorrentes, a empresa deve permanentemente ter novos produtos lançados para o mercado e o segredo de uma inovação bem sucedida é a capacidade de gerenciar os seus riscos.

As inovações não ocorrem somente na concepção de um novo produto. Elas podem acontecer após um produto já estar no mercado, através de oportunidades, devido às mudanças no ambiente tecnológico, melhores práticas que podem levar a melhores resultados, métodos ou ferramentas não utilizados que aumentam a eficiência de atividades, mudando o processo de transformação através de melhorias incrementais que aumentam o nível de maturidade da empresa (ROZENFELD, 2006).

Este trabalho, nesse sentido apresenta a aplicação do Método de Desdobramento da Função Modular (MFD) no desenvolvimento de uma tampa

defletora. A modularidade reduz a complexidade, minimizando o número de peças originais necessárias para construir novas variantes. Dentre os diversos produtos do segmento de motores elétricos WEG, foi escolhida a tampa defletora da família de motores elétricos HGF, na carcaça ABNT 500, buscando-se a melhoria do processo de transformação, racionalizando a quantidade de componentes, atendendo às diversidades expostas pelos consumidores em uma arquitetura modular, visando à estruturação da aplicação de um método como conceito para novas oportunidades de melhorias em outras áreas da empresa.

1.1 Justificativa

Para Ericsson e Erixon (1999), a arquitetura do produto é a solução para lidar com a sua complexidade. Para recuperar o controle do produto e as atividades relacionadas à sua estrutura complexa, ela pode ser quebrada em unidades menores e gerenciáveis. A boa arquitetura só pode ser conseguida com a modularidade, podendo ser tratada em nível de linhas de produto, em nível de produto e em nível de componente.

O desenvolvimento de projetos de produtos modulares traz muitos benefícios, sendo que a modularização bem aplicada traz algumas vantagens, dentre elas a maior flexibilidade no produto, a redução no tempo de desenvolvimento, redução nos prazos de execução de produção, a redução dos custos de matérias, melhor qualidade e facilidade de administração.

São muitos os benefícios que justificam utilizar sistemas modulares. Pahl et al. (2005) destacam esses pontos, principalmente quando um produto prevê diversas funções, quando ocorre multiplicidade de produtos para necessidades específicas, quando a racionalização de componentes pode ser atingida com esse sistema, acima de tudo as despesas gerais, como custo de materiais e de mão-de-obra de fabricação.

Nesse contexto, a proposta de aplicar o Desdobramento da Função Modular ao projeto de uma tampa defletora, se adequa à necessidade da empresa em reduzir o número de componentes e obter vantagens econômicas através de novos métodos internos de desenvolvimento de produtos.

1.2 Definição do Problema

Em motores elétricos, o sistema de refrigeração tem como principal função garantir o desempenho térmico e a eficiência energética do motor. Para isso, os componentes são projetados para a melhor dissipação térmica. A tampa defletora que será objeto de pesquisa neste trabalho tem impacto direto sobre esse sistema.

As variáveis das tampas defletoras disponíveis para atender o sistema de refrigeração da linha de motores HGF da série ABNT 500, nas mais diversas formas construtivas e variantes de linha que constituem os escopos do produto, podem chegar à combinação de até 103 possibilidades de configurações diferentes, desconsiderando as customizações para clientes.

Em vista disso, coloca-se a seguinte questão: de que forma a aplicação do método MFD, novo para empresa, dentro do processo de desenvolvimento de produto, pode contribuir como conceito para se obter soluções mais eficientes, sem impactar prejudicialmente ao desempenho térmico do motor, com redução no número de componentes, diminuindo os custos em produtos já lançados e levá-lo novamente ao mercado de forma mais atrativa para empresa e para o consumidor?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Aplicar o método MFD no desenvolvimento do conceito de uma tampa defletora com características modulares.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Inovar com aplicação do método MFD aplicado ao desenvolvimento de produtos modulares na empresa;
- Sistematizar a abordagem do método como melhoria incremental de projetos existentes no ambiente de Engenharia de Produto;
- Desenvolver o conceito de um produto com características modulares;
- Melhorar indicadores de desempenho da empresa em termos de soluções mais eficientes, tais como, atendimento aos clientes e redução de custo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para compreensão dos passos apresentados neste trabalho, serão conceituados Desenvolvimento de Produtos, o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), os processos de apoio que envolvem o gerenciamento de mudanças e melhoria do processo de desenvolvimento de produtos, a importância do DFX (*Design for X*) como ferramenta para avaliar os impactos do projeto e tomada de decisões e o método de Desdobramento da Função Modular (*Modular Function Deployment* - MFD) aplicado a projetos de produtos em busca e melhorias baseadas na modularização.

2.1 Desenvolvimento de Produtos

Para Rozenfeld et al. (2006), desenvolver produtos é o processo que compreende a combinação de atividades que buscam atender às necessidades do mercado dentro das possibilidades tecnológicas, considerando os planos competitivos de produto, as especificações de produto e de seu processo produtivo, de modo que seja preparado para a sua manufatura. Também a atividade de desenvolvimento de produto é realizada após o seu lançamento, através de acompanhamentos do produto para eventuais mudanças necessárias, retirada do produto do mercado e o aprendizado sobre o ciclo de vida do produto no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP).

Conforme Romeiro et al. (2010), em uma análise detalhada de métodos e modelos de desenvolvimento de produtos em diversas literaturas, pode-se dizer que o desenvolvimento de produtos é um processo amplo em que está incluso o projeto de produto, tendo em vista que alguns modelos tem foco direcionado para o processo de projetos e outros consideram o PDP voltado mais para o processo de negócio. Recomenda-se assim, que a organização defina o modelo mais adequado às suas eventualidades e a seu conteúdo tecnológico.

Para o desenvolvimento de um produto ser atrativo para o mercado, é necessário um procedimento para boas soluções, que seja planejado, flexível, otimizável e verificável. Esse procedimento deve ser empregado de forma sistematizada, conforme uma metodologia adequada pelos projetistas responsáveis, nunca descartando a valorização da intuição do projetista e, sim, incorporando aos

processos metodológicos para intensificar a sua capacidade de invenção e de produção (Pahl et al.,2005).

Para o esclarecimento do planejamento das etapas de desenvolvimento de um produto, é necessária a diferenciação em relação à inovação. Para Pahl et al.(2005) a originalidade de um produto apresenta graus diferenciados de inovação:

- Projeto inovador: novas tarefas ou problemas são atendidos por novos princípios de uma solução ou uma nova combinação de princípios de soluções familiares;
- Projeto adaptativo: o princípio de solução é preservado e somente a configuração é adaptada às novas condições periféricas;
- Projeto alternativo: dentro de limites preestabelecidos é variado o tamanho e/ou arranjo dos componentes ou subconjuntos, o que é típico de sistemas modulares.

Nesse contexto, Rozenfeld *et.al.* (2006) classificam os tipos de projetos de desenvolvimento de produto de acordo com o grau de mudança em relação às versões anteriores:

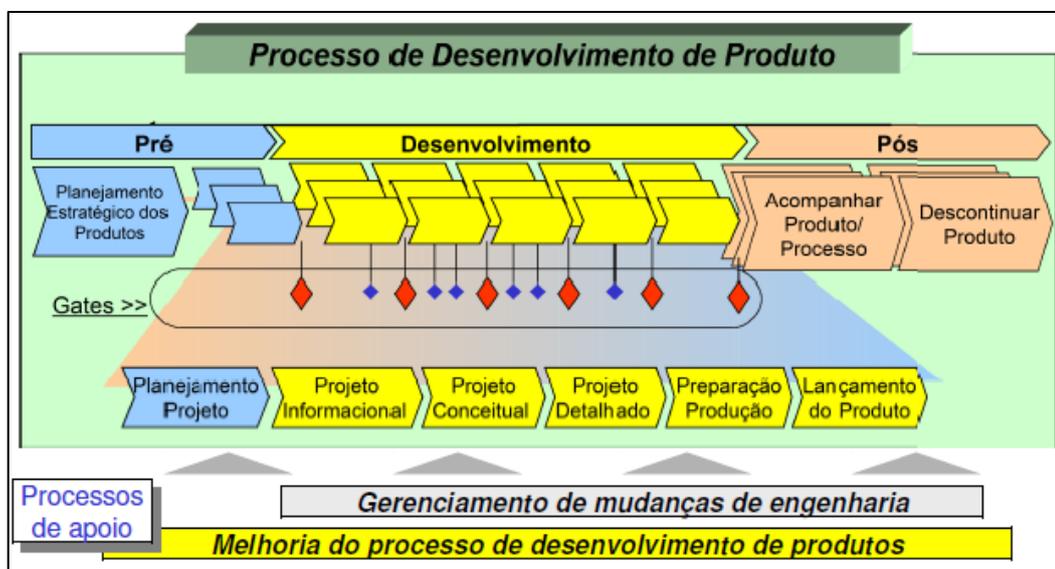
- Projetos radicais: mudanças significativas em relação ao projeto e processo existente, desenvolvendo uma nova família de produtos para organização;
- Projetos plataforma ou próxima geração: representam novas alterações de projeto e/ou processo, porém sem incorporar novas tecnologias, mas para o cliente é uma nova solução;
- Projetos incrementais ou derivados: são projetos criados a partir de modificações de produtos e/ou processos já existentes. Eles incluem versões para a redução de custos de um produto e inovações incrementais nos produtos e processos, estendendo sua aplicabilidade em novos projetos.

2.1.1 Processo de Desenvolvimento de Produto

Para a aplicação racional do desenvolvimento de produto são necessárias diversas etapas. Elas foram clarificadas por Rozenfeld et. al. (2006) no “Processo de

Desenvolvimento de Produto” (PDP), em um modelo de referência genérico que integra todos os envolvidos de diversas áreas no mesmo objetivo, visando um processo mais eficiente de entendimento comum, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Modelo de referência do PDP



Fonte: adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

O modelo de referência do PDP apresenta as macrofases que são subdivididas em fases. Essas serão detalhadas a seguir, desde o pré-desenvolvimento até a fase de melhoria do processo de desenvolvimento do produto, onde se permite incrementos de tecnologia do produto em andamento:

- Pré-desenvolvimento: planejamento estratégico do produto;
- Desenvolvimento: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção e lançamento do produto;
- Pós-desenvolvimento: acompanhamento do processo ou produto e descontinuação do produto.

Segundo Rozenfeld et al. (2006), a macrofase de pré-desenvolvimento envolve o planejamento das estratégias definidas pela empresa em relação aos seus produtos e sua interação com os mercados que deseja atingir.

No planejamento estratégico dos produtos, são definidos os projetos que serão colocados em execução, é avaliado com base em funil decisões do portfólio de produtos, que abrange os produtos em planejamento, os em desenvolvimento e

os que já estão sendo comercializados. São mensuradas as necessidades e as perspectivas de mercado, restringido o número de projetos em carteira, até a definição da necessidade do escopo e plano de projeto dos produtos dessa carteira de projeto ou portfólio de produtos que será desenvolvido.

As informações geradas na etapa anterior serão utilizadas na fase de planejamento de projeto, finalizando a macrofase de pré-desenvolvimento e dando início à macrofase de desenvolvimento, o qual irá fornecer como resultado o plano de projeto composto por escopo do projeto, escopo do produto, os recursos humanos necessários, atividades, os prazos de execução, e uma primeira análise de riscos e custos do projeto.

A fase de projeto informacional converte informações e resultados do planejamento anterior em um conjunto de informações mais completo, com dados dos usuários e requisitos do produto chamados de especificações-meta, os quais o produto deve atender.

A fase de projeto conceitual transforma as especificações descritas em atividades de projeto que resultam em especificações tridimensionais, dando forma ao produto. Aqui será definida a lista de funções do produto, os princípios de soluções para as funções, a arquitetura de produto inicial (leiaute do produto) com suas relações estruturais, o conjunto de documentos formado por desenhos iniciais e a representação gráfica de seus componentes, a estrutura do produto através das listas técnicas (BOM - *Bill of Materials*) conectando os documentos com os itens das partes relacionadas e o modelo do produto que representa as principais características do produto em um desenho ou forma geométrica, dependendo das ferramentas utilizadas finalizando a concepção do produto.

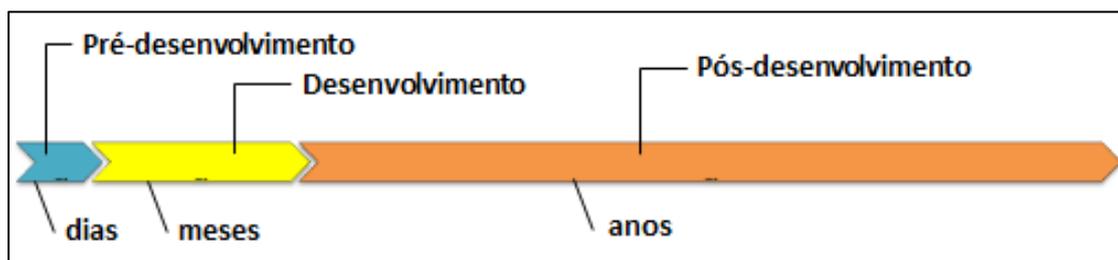
Na fase do projeto detalhado, a concepção do produto será transformada em especificações finais. Serão gerados todos os dimensionamentos de componentes e suas tolerâncias finais para seus respectivos processos de fabricação. Documentos de homologação do protótipo funcional para avaliação do funcionamento e do projeto de recursos que abrange máquinas, dispositivos e ferramentas necessários para fabricação serão colocados em aprovação. Após a aprovação, o produto é homologado e são firmadas as especificações finais.

A fase da preparação da produção envolve a produção do lote piloto, tendo em vista que os meios de obtenção são diferentes do já aprovado no protótipo. Os equipamentos agora na forma definitiva serão preparados para a produção do produto em série ou em maior escala, preparando o processo produtivo, a cadeia de suprimentos, a capacitação dos envolvidos, a aprovação do lote piloto, a homologação do processo para a produção do produto, a certificação do produto quanto às exigências de regulamentações e, por fim a liberação para produção.

Com o lançamento do produto, encerram-se a macrofase de desenvolvimento. Nessa fase os processos de comercialização serão criados para introduzir o produto no mercado, visando o atendimento do cliente, que é acompanhado inicialmente pela equipe de desenvolvimento para a resolução de possíveis problemas.

A macrofase de pós-desenvolvimento é a mais duradoura. Conforme se pode observar na figura 2, em vista que os produtos após o lançamento no mercado ficam anos sendo produzidos e comercializados e também mais alguns anos em funcionamento no cliente, aumentando assim a necessidade de prestação de serviços como a assistência técnica.

Figura 2 - Duração típica das macrofases



Fonte: adaptado de Rozenfeld et al., 2006

A atividade central do pós-desenvolvimento inicia com o acompanhamento sistemático do produto, uma vez que agora o time de desenvolvimento foi desfeito e retornou para suas atividades funcionais, apenas alguns membros responsáveis pelo desenvolvimento atuam como suporte das informações das interfaces do produto.

A fase de monitoramento é realizada para acompanhar o produto ou processo, com auditorias de pós-projeto, avaliando a satisfação do cliente, monitorando o desempenho do produto na produção e registrando as lições aprendidas.

Nesta fase, principalmente, identificam-se erros ou oportunidades de melhorias que são analisadas e direcionadas para um processo de gerenciamento de mudanças de engenharia com a finalidade de manter o desempenho do produto na produção.

A fase de descontinuidade é um processo crítico da análise de retirada do produto do mercado, bem como a finalização do processo de venda, de produção de peças para reposição e o planejamento de transição para novos produtos que o substituem na empresa.

Segundo Rozenfeld et al. (2006), a descontinuidade do produto ocorre em três eventos:

1. O recebimento do produto voltado sobre a responsabilidade ambiental que este produto representa e o seu planejamento de reciclagem;
2. A descontinuidade da produção que trata do encerramento de produção, mantendo somente a processo de reposição de peças;
3. A finalização da assistência técnica, finalizando assim o acompanhamento do produto e processo de desenvolvimento do produto.

2.1.2 Processos de Apoio

Os processos de apoio diretamente vinculados ao Processo de Desenvolvimento do Produto, segundo o modelo de referência de Rozenfeld et al. (2006), são o de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia (ECM) e o de Melhoria Incremental do PDP. Esses processos envolvem mudanças no produto, e podem estar associadas com qualquer uma das atividades das fases do PDP, mas como nem sempre acontecem, não são conceituados como atividades das fases vistas anteriormente.

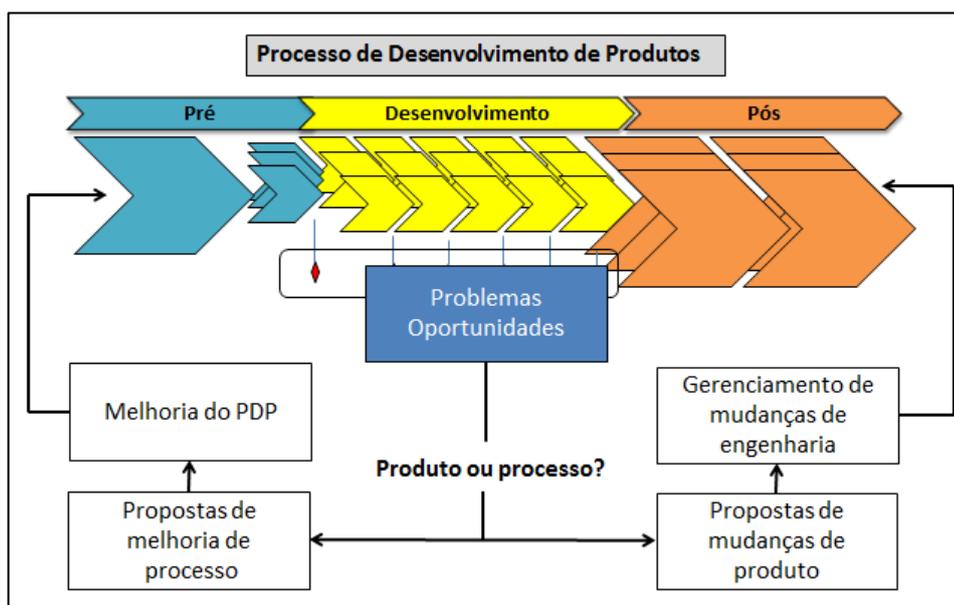
Para compreender esses processos de apoio é necessário diferenciar os seus papéis, identificando se a melhoria está relacionada ao produto ou ao seu processo de fabricação, ou ainda com processo de desenvolvimento toda vez que surgirem problemas/oportunidades de melhoria.

Para ambos os processos acontecerem é necessário mudar ou melhorar, pois um depende do outro. Para evitar questionamentos sobre o significado das palavras

foi adotado “mudança” para relacionar ao produto e “melhoria” para relacionar ao processo de desenvolvimento do produto.

Assim, o ECM é colocado em funcionamento quando estiver relacionado com o produto e/ou processo de fabricação e o Processo de Melhoria Incremental quando estiver relacionado com o PDP, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Integração entre PDP e os processos de apoio



Fonte: adaptado de Rozenfeld et al., 2006

2.1.3 Gerenciamento de Mudanças de Engenharia

No decorrer da vida útil do produto sempre ocorrem mudanças, mesmo que sejam aplicadas técnicas de desenvolvimento do produto. Elas podem ocorrer por necessidades de processos, causadas por defeitos, reclamações do produto no mercado e reduções de custos.

Para Rozenfeld et al. (2006), essas mudanças podem ocorrer de forma controlada ou não controlada. As de forma não controlada ocorrem durante as fases iniciais de desenvolvimento quando o conceito ainda não está formado e o escopo está ainda limitado. Já as de forma controlada ocorrem nas etapas subsequentes ao desenvolvimento, quando o processo se torna mais crítico pelo fato de o produto já estar em campo e também em produção. Para isso as informações são atualizadas em desenhos, especificações de material, processos de fabricação e na configuração do produto. Em vários momentos do ciclo de vida do produto essas

mudanças são planejadas, e no processo de gestão de mudanças ela é chamada *Engineering Change Management* (ECM), assim conhecida como mudanças de engenharia.

Esse processo de mudança de engenharia pode ser solicitado por qualquer área de empresa através de um Pedido de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Request* – ECR), normalmente através de um formulário já estabelecido com as informações básicas para dar início ao processo. O pedido é previamente analisado por um avaliador, normalmente um especialista que pode opinar tecnicamente sobre a proposta, reportando as suas considerações sobre a mudança em sua resposta, propondo soluções alternativas e também direcionando as necessidades de envolvimento de outras pessoas no processo.

Após, formulado o ECR é encaminhado ao Comitê de Controle de Mudanças (*Change Control Board* – CCB) onde é avaliada a proposta. Se aprovada, é encaminhada uma Ordem de Mudança de Engenharia (*Engineering Change Order* – ECO) para um Coordenador de Mudanças que coordena a execução da ECO, endereçando-a aos times de projeto, registrando todas as informações sobre as mudanças e a atualização da informação através de boletins técnicos para toda a empresa.

2.1.4 Melhoria Incremental e de Transformação do PDP

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o processo de apoio se aplica ao nível mais avançado de maturidade da empresa, ou seja, quando se tem sistematizado todo o processo de desenvolvimento do produto aplicado e com medição dos seus resultados, isto é, quando as macrofases e fases do processo são devidamente realizadas no processo de desenvolvimento.

Neste nível, o ciclo de melhoria contínua dos processos de apoio é institucionalizado, processos de “Gerenciamento de Mudanças”, de “Melhoria Incremental do PDP (MIPDP)” e “Transformação do PDP”.

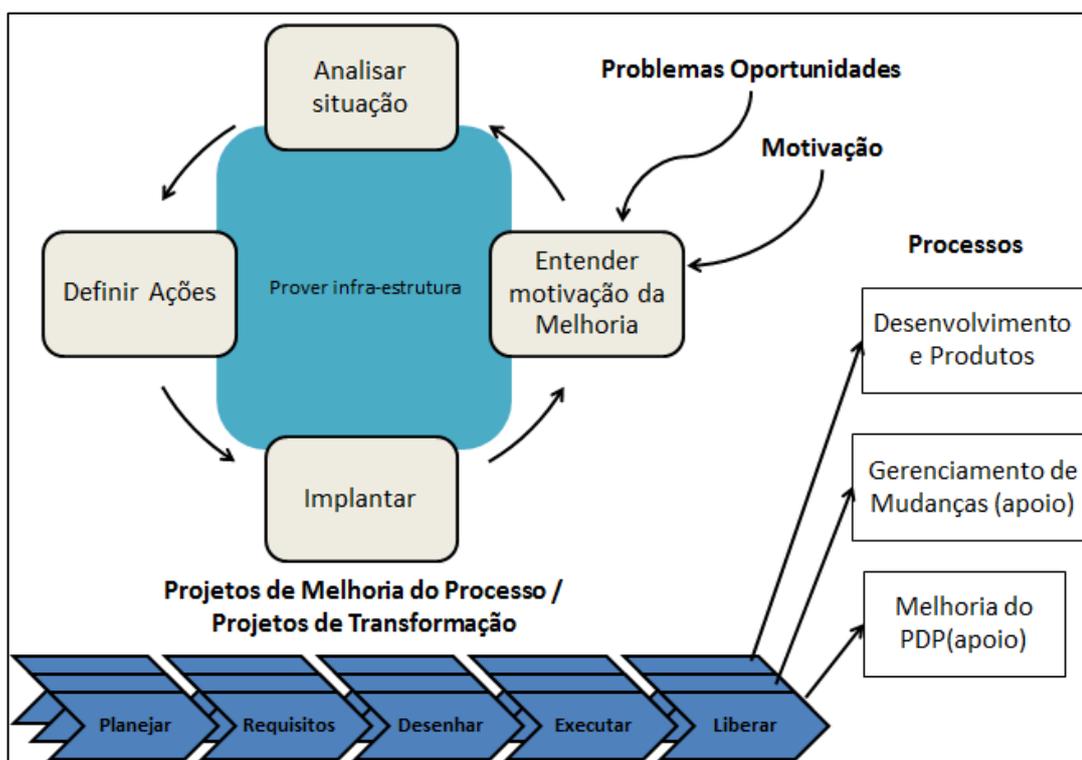
A Melhoria Incremental do Processo de Desenvolvimento de Produto (MIPDP) dificilmente possui um escopo muito abrangente. Seu início acontece a partir de problemas a serem resolvidos ou de oportunidades resultantes de áreas específicas, que surgem durante o processo de desenvolvimento de produtos. Mas, as entradas

se dão principalmente nas atividades da fase “Acompanhar o produto/processo” da macrofase de pós-desenvolvimento.

A transformação do PDP propõe melhorar as práticas de desenvolvimento de produto, objetivando solucionar problemas habituais e melhorar o seu desempenho, adequando-o a mudanças do ambiente tecnológico e do mercado. Isso leva a empresa a realizar novas atividades, a aplicar novos métodos ou ferramentas que aumentam a eficácia das atividades, como modularização de produtos.

O processo de transformação possui as mesmas fases do MIPDP no que diz respeito a planejar projeto, definir requisitos, desenhar solução, executar melhoria e liberar solução. Ele é cíclico tendo em vista que não é possível implantá-lo de uma só vez e sim de forma gradual como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Representação da visão geral do processo de melhoria incremental do PDP e do processo de transformação



Fonte: adaptado de Rozenfeld et al., 2006

Como já descrito, o processo de melhoria incremental do PDP parte da percepção dos problemas e oportunidades a resolver. Já o de transformação tem início pela compreensão da motivação relacionada à mudança de nível de maturidade da empresa.

Segundo Rozenfeld et al. (2006) é discutível quando o processo é de melhoria incremental ou de transformação. Não há um indicador preciso para definir isso, sendo o critério principal para diferenciá-los o motivo e o grau de mudança da nova solução.

Se uma mudança for significativa em relação à maturidade, ela é chamada de transformação e quando é pontual é denominada melhoria incremental. Em empresas de níveis mais baixos de desenvolvimento, isso se torna confuso e como regra é fixado como de transformação.

Adicionalmente, conforme descrito no Anexo A, é apresentado um comparativo entre Melhoria Incremental e Processo de Transformação com suas fases e atividades de ambos os processos.

Essas atualizações só podem ser aplicadas a empresas de níveis de maturidade focadas na melhoria contínua, ou seja, quando têm institucionalizados os processos de apoio “Gerenciamento das Mudanças de Engenharia”, “Melhoria Incremental do PDP” e o “Processo de Transformação do PDP”.

2.2 Design for X

Segundo Bralla (1998), o Design for X (DFX), ou Projeto para X, pode ser definido como uma abordagem baseada no conhecimento que visa projetar produtos para maximizar todas as características desejáveis, tais como alta qualidade, confiabilidade, facilidade de manutenção, segurança, ergonomia, ambiente e tempo de vida do produto e, ao mesmo tempo minimizando os custos no ciclo de vida, incluindo os custos de fabricação.

O termo DFX, também conhecido como “*Design for eXellence*”, é utilizado para designar o projeto para todos os fatores desejados ou projeto para excelência. Bralla (1996) o define como o processo onde as necessidades do ciclo de vida completo do produto são abordadas durante a fase de desenvolvimento do produto. Exemplo disso, existem diversos métodos, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Alguns atributos do Design for X

Nome do método	Sigla
Projeto para Estética (<i>Design for Aesthetics</i>)	-
Projeto para Manufatura (<i>Design for Manufacturing</i>)	DFM
Projeto para Montagem (<i>Design for Assembly</i>)	DFA
Projeto para Manufatura e Montagem (<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>)	DFMA
Projeto para Modularidade (<i>Design for Modularity</i>)	-
Projeto para o Meio Ambiente (<i>Design for Environment</i>)	DFE
Projeto para Serviço e Manutenção (<i>Design for Serviceability and Maintainability</i>)	DFMt
Projeto para Segurança (<i>Design for Safety</i>)	DFS
Projeto para Qualidade (<i>Design for Quality</i>)	DFQ
Projeto para Custo (<i>Design for Cost</i>)	DFC

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Alguns destes fatores para excelência serão descritos nos tópicos a seguir, dando uma visão da abordagem proposta.

2.2.1 Projeto para Manufatura e Montagem - DFMA

O projeto para manufatura (Design for Manufacturability, DFM) e projeto para montagem (Design for Assembly, DFA) são métodos distintos, porém aplicados simultaneamente como projeto para manufatura e montagem (Design for Manufacturability and Assembly, DFMA). Eles visam simplificar os processos, reduzir a quantidade de componentes, a redução de custos, a modularidade e a redução da complexidade na fabricação dos componentes e na sua montagem.

O princípio Design for Manufacturability (DFM), segundo Bralla (1998), é um método para obter um projeto do produto que facilita a tarefa de produção e reduzindo o custo de fabricação. Especificamente, DFM é principalmente uma técnica baseada no conhecimento que compreende uma série de diretrizes, princípios e recomendações para a concepção de um produto que seja fácil de ser produzido ou feito.

Bralla (1998) lista os seguintes princípios como aplicáveis a praticamente todos os processos de fabricação, ajudando os projetistas na especificação de produtos e componentes, para serem fabricados a um custo mínimo.

1. Simplicidade. Os produtos devem ter o menor número de peças, com a forma menos complexa, com menores ajustes de precisão e com sequência de fabricação mais curta;
2. Padrões de matérias e componentes. Utilizar matérias primas disponíveis

e peças de prateleira, permite que os benefícios de produção em massa quando tem baixo consumo das unidades. Uso de componentes padrões, também simplifica o gerenciamento de inventário, facilita a compra, evita investimentos em ferramental, e em equipamentos e acelera o ciclo de manufatura;

3. Projeto padronizado do próprio produto. Quando vários produtos semelhantes estão para ser produzidos, é necessário especificar os mesmo materiais, peças e subconjuntos para cada um. Esse procedimento irá proporcionar economias de escala para a produção do componente, simplificar o processo de controle e treinamento do operador e reduzir o investimento necessário para a produção de ferramentas e equipamentos.
4. Tolerâncias mais amplas. Tolerâncias mais apertadas trazem custos mais elevados, gerando fatores como operações extras de acabamento de usinagem, maior custo em ferramentais especiais, mais sucatas por não conformidades, maior custo de retrabalhos, necessidade de operadores mais qualificados e altamente treinados e investimentos consideráveis em equipamentos de precisão.
5. Uso de materiais mais processáveis. Utilizar os materiais mais processáveis (tempo de ciclo, velocidade de corte ideal, fluidez) disponíveis considerando as características funcionais do produto.
6. Trabalho em equipe com o pessoal de fabricação. Os projetos devem avançar sempre em conjunto com a equipe desde o início.
7. Prevenção de operações secundárias. Considerar o custo de operações e projetar para eliminar ou simplificá-los sempre que possível. Tais operações como rebarbação, inspeção, chapeamento, pintura, aquecimento, tratamento e manipulação, devem ser consideradas no desenvolvimento do produto.
8. O projeto deve ser apropriado ao nível de produção. O projeto deve ser adequado para um método de produção que seja econômico para a quantidade prevista. Por exemplo, um produto projetado com paredes muito finas de fundição, suscetível a falhas para uma produção tão baixa,

não justifica custo e seu retorno.

9. Utilizar características especiais dos processos. O projetista deve conhecer as características especiais dos processos de fabricação e utilizar esses recursos para eliminar operações de componentes separados e dispendiosos.
10. Evitar restrições de processo. Nos desenhos das peças, especificar apenas características finais necessárias, não especificar o processo a ser usado. Permitir que os profissionais de fabricação, quando possível, escolham de um processo que produza as dimensões necessárias, acabamentos ou as características exigidas.

Segundo Bralla (1998) Design for Assembly - DFA, projetar para montagem, é simplificar o produto para que tenha o menor número de peças, assim a sua montagem será mais fácil e mais rápida.

Podem-se destacar, dentre outros benefícios quando o número de peças é reduzido, menores intervenções da engenharia, minimização de documentos de controle de produção, níveis de estoques mais baixos, menos configurações de produtos, menor a necessidade de inspeção e controle de qualidade, menos movimentações de materiais e redução da carga de trabalho de compra de matérias - primas.

Montagens mais simples, muitas vezes, podem ser levadas ao mercado mais cedo por causa de poucas peças para projetar, adquirir, inspecionar e estoque com menos probabilidade de que ocorra um atraso. Embora não assegurado, produtos com menos peças têm oportunidade de maior qualidade e confiabilidade.

Bralla (1996), afirma que minimizar o número de peças é a abordagem principal quando se projeta para montagem. Os princípios mais importantes são:

1. Padronizar os desenhos. Usar documentos padronizados sem muitas variações de layouts de apresentação e estilos.
2. Utilizar subconjuntos modulares. Um módulo específico pode ser aplicável a diferentes produtos gerando benefícios em produção em escala.
3. Montagem vertical. Montagem utilizando como benefício a gravidade.

Bralla (1996) afirma que um bom projeto é a facilidade de ser manufaturado e montado, aplicando ao mesmo tempo dois princípios o DFM com DFA. No projeto para manufatura e montagem (DFMA), cada componente do conjunto deve ser criado para reduzir o número de operações e montagem ao mínimo.

2.2.2 Projeto para Serviço e Manutenção

O Projeto para Serviço e Manutenção (*Design for Serviceability and Maintainability*) compreende a adequação do produto e a sua manutenção. Para Pahl et al.(2005), no projeto que considera manutenção, durante a seleção de soluções, o projetista deve garantir atributos que favoreçam a manutenção simples, a ausência de manutenção, a substituição fácil de componentes de igual expectativa de vida, boa acessibilidade, pouco trabalho de montagem e desmontagem.

Pahl et al.(2005) citam algumas regras que devem ser consideradas para reduzir o trabalho de manutenção:

1. Dar preferências às soluções autocompensadoras e autoajustáveis;
2. Objetivar um projeto simples e com poucos componentes;
3. Utilizar componentes padronizados;
4. Favorecer o acesso fácil;
5. Favorecer a desmontagem simples;
6. Empregar sistema construtivo modular;
7. Utilizar poucas e sempre as mesmas ferramentas.

2.2.3 Projeto para Modularidade

Conforme Back et al.(2008), o Projeto para Modularidade (*Design for Modularity*) busca o conceito de projetar produtos para uma ampla faixa de necessidades, de forma racional e econômica. Para Chun-Che Huang (1998), modularidade é o termo utilizado para descrever unidades comuns para criar variantes do produto, visando à identificação das unidades independentes, intercambiáveis para satisfazer uma variedade de funções.

A seguir alguns conceitos de modularidade e modularização são descritos, assim como termos técnicos utilizadas no desenvolvimento de produtos modulares (adaptado de Fleig, 2008):

- a) Sistema: Arranjo de um grupo de blocos distintos que interagem entre si e com outros blocos, de maneira dinâmica, visando atender uma determinada função global, num dado ambiente.
- b) Módulo: Blocos distintos com interfaces padronizadas, intercambiáveis entre si, que quando combinados uns com os outros atendem diferentes funções globais, ou seja, geram uma família de produtos que atendem diferentes desejos e necessidades.
- c) Sistema modular: Conjunto de blocos distintos com interfaces padronizadas, intercambiáveis entre si, que quando combinados uns com os outros atendem diferentes funções globais, ou seja, atendem diferentes grupos de desejos e necessidades.
- d) Intercambiabilidade: Troca ou permutação de módulos dentro de um mesmo produto ou sistema, visando conferir-lhes melhores características ou desempenhos.
- e) Variância do módulo: Realização física de um módulo definida por especificações técnicas e desenhos. Um módulo pode ter uma variância ou várias variâncias, de acordo com as interfaces especificadas para o módulo.
- f) Modularidade: Termo técnico utilizado dentro do projeto de sistemas modulares para expressar a intercambiabilidade (facilidade de troca, permutação) entre os módulos, a fim de gerar a família de produtos, a qual é obtida através da padronização das especificações das interfaces desses módulos.
- g) Modularização: Decomposição de produtos e/ou modelos acabados numa lista de itens, que serão rearranjados dentro de módulos, normalmente um grupo de itens os quais podem ser planejados como um grupo.

Segundo Ericsson e Erixon (1999), o objetivo de uma plataforma modular de produto é criar um design de produto estrategicamente flexível que permita variações sem exigir mudanças no design do produto global, cada vez que uma nova variante é introduzida.

Back et al. (2008) destacam os benefícios do desenvolvimento de projetos modulares:

- Maior variedade de produtos;
- Módulos podem ser projetados e produzidos em paralelo, reduzindo o tempo de desenvolvimento;
- Rapidez no atendimento de usuários com necessidades mais diversificadas;
- Facilidade de atualização tecnológica do produto pela troca de módulos obsoletos;
- Maior possibilidade de adaptações a diferentes mercados.

Ericsson e Erixon (1999) afirmam que a boa arquitetura de produto é a solução para lidar com a complexidade e isso pode ser conseguido com a modularidade. Medidas para reduzir a complexidade da arquitetura de produto podem ser tratadas em três níveis: no nível de linha de produtos, no nível de produto e no nível de componente, tendo assim, um grande potencial de melhoria se os conceitos para modularização forem aplicadas nos níveis mais elevados.

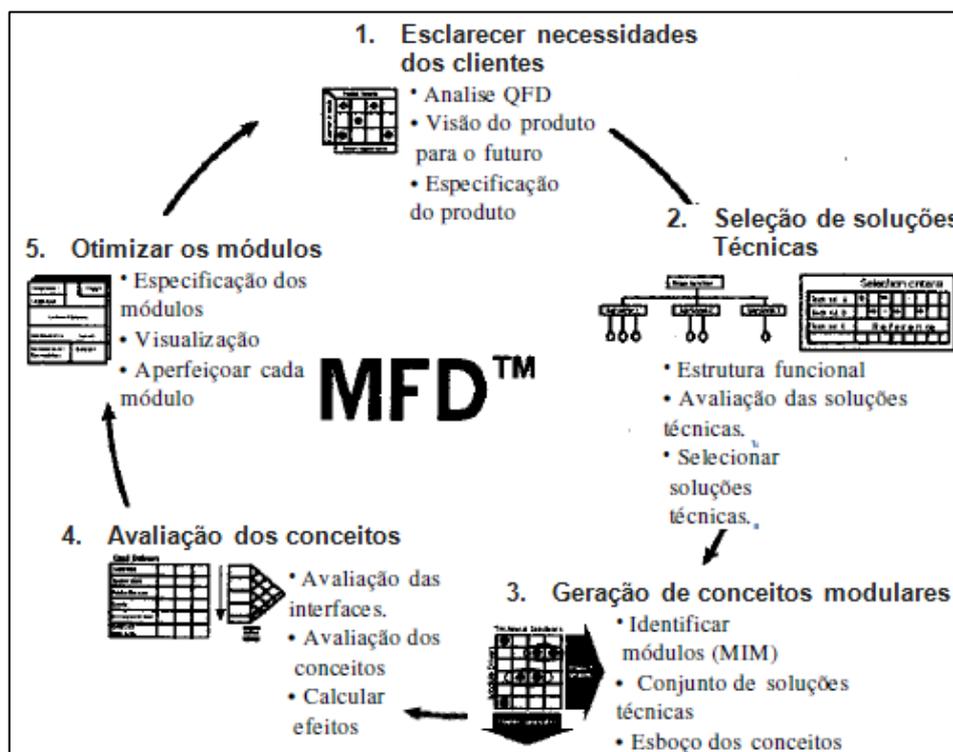
Nesse contexto, Rozenfeld et al. (2006) destacam que para projetar para modularidade são necessários métodos sistemáticos de geração e seleção de conceitos e que para isso é imprescindível o uso de ferramentas consagradas, tais como DFMA e o Desdobramento da Função Modular (*Modular Function Deployment* - MFD)

2.3 Desdobramento da função modular – MFD

A metodologia de Desdobramento da Função Modular (MFD), segundo Nilsson (1998), é aplicada a qualquer empresa como oportunidade para gerar uma estrutura apropriada de um produto preparado para customização, através de um procedimento sistemático para elaboração de projeto de produtos modulares.

Para Ericsson e Erixon (1999), o MFD é um método estruturado de suporte para as empresas para encontrarem o projeto de produto modular ideal, levando em consideração as necessidades específicas da empresa, provendo suporte para toda a fase de concepção do produto até o design final. Para os autores, o método MFD consiste de cinco etapas, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Cinco fases do MFD



Fonte: Adaptado de Nilsson, et al, 1998

2.3.1 1º Fase: Definir os requisitos do consumidor

A primeira fase comprova que os requisitos de projeto derivam das demandas do cliente e/ou do mercado. São definidas as características do que o produto deve receber para satisfazer as exigências do mercado atualmente e no futuro, pela análise de requisitos de concorrência e do cliente.

Segundo Ericsson e Erixon (1999), as necessidades do cliente devem ser formuladas a partir da versão simplificada do método conhecido como Desdobramento da Função Qualidade – QFD (*Quality Function Deployment*). O método consiste em uma forma sistemática de informação de Desdobramento da Qualidade (QD) para obter os requisitos e as necessidades dos clientes. Segundo

Cheng e Melo Filho (2010), nessa etapa do desenvolvimento do produto, o método permite organizar de forma estruturada, em hierarquias e com prioridades as relações dos requisitos dos clientes com as propriedades do produto que será desenvolvido.

Essa correlação sistematizada é estruturada através da Matriz da Qualidade conhecida também como Casa da Qualidade devido a sua forma. Ela é a plataforma de comunicação formal que serve para reunir diferentes opiniões entre especialistas da organização e entre os clientes para definição dos requisitos do produto (Wang, 2009).

Em uma análise teórica de publicações de Kobota et al. (2013) envolvendo modularidade e desdobramento da função qualidade, constataram que a matriz da casa da qualidade para modularidade acabam não sendo desdobradas mais de uma vez e realizadas de forma simplificada. Sendo o principal interesse ser a coleta das expectativas do cliente para convertê-las em especificações técnicas do projeto.

Segundo Erixon (1998), na finalidade de desdobramento da função modular, a matriz QFD foi modificada, limitando-se apenas a sua primeira etapa. Sem desdobramentos sucessivos, a matriz simplificada tem papel muito importante com a finalidade principal de esclarecer as demandas dos clientes e ou desejos sobre os produtos para a criação de um produto flexível e modulado, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Versão simplificada da matriz QFD, permite visualizar a relação dos desejos do cliente com as características do produto

Como	Modularidade	Outros requisitos do projeto							Soma
O que									
Cliente "Quer"		●			○				
			●		○		●		
		●		●		●			
		●							
Soma									

● = Forte relação (9) ● = Média relação(3) ○ = Fraca relação (1)

Fonte: Adaptado de Ericsson e Erixon, 1999

Como mostrado na Figura 7, o requisito “modularidade” é colocado em primeiro lugar na matriz simplificada por Erixon et al (1996) para já trazer essa mentalidade para a equipe da exigência do projeto. Assim, as necessidades do cliente serão definidas através de valores mensuráveis da matriz como alvo para configuração do design do produto que terá um foco no mercado.

2.3.2 2º Fase: Criar e selecionar soluções técnicas

Na segunda fase, as funções que atendem os requisitos e suas correspondentes soluções técnicas são identificadas e necessárias para prosseguir no projeto. Para cumprir com os requisitos dessa etapa, de um ponto de vista funcional, são identificadas as funções e sub funções. As soluções técnicas dos portadores das funções no que diz respeito aos critérios mais relevantes para o consumidor e para empresa são selecionadas. Essa quebra de funções é conhecida como decomposição funcional.

Ericsson e Erixon (1999) destacam que na decomposição das funções pode haver diversas soluções técnicas para uma determinada função e uma escolha deve ser feita. Para isso, recomendam por experiência que uma matriz é uma boa maneira de estruturar e representar alternativas. Como recomendação, a utilização da matriz de Pugh, que não é matemática, mas pode trazer mais visibilidade, expressa as decisões, as vantagens e desvantagens das opções, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Estruturação das vantagens e desvantagens através da matriz de Pugh

Conceitos e soluções técnicas	Critérios de Avaliação				Soma +	Soma -	Total global
	Critério 1	Critério 2	Critério 3				
Alternativa A	+	+	+	-			
Alternativa B	+	-	-	+			
Alternativa C							
	Referência						

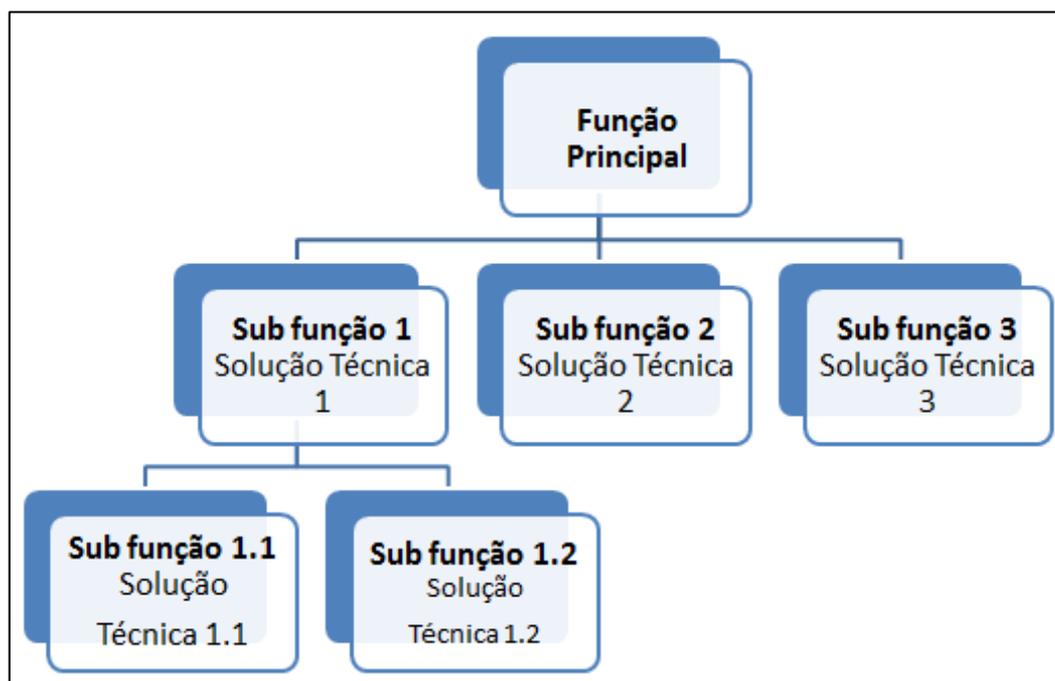
Fonte: Adaptado de Ericsson e Erixon, 1999

Ericsson e Erixon (1999) enfatizam que por tratar de produtos modulares, um pré-requisito para a obtenção de um design modular é a independência funcional,

com interações mínimas. Assim, os módulos podem ser tratados independentemente uns dos outros, tornando um sistema mais robusto de interfaces padronizadas.

Dessa forma, essa fase irá resultar em uma árvore de funções, conforme mostrado na Figura 9. Ela permite visualizar a estrutura funcional do produto e as soluções técnicas a partir da qual a plataforma do produto deve ser construída.

Figura 9 - Estrutura funcional do produto e soluções técnicas



Fonte: Adaptado de Ericsson e Erixon, 1999

2.3.3 3º Fase: Gerar conceito de módulo

Na terceira fase o núcleo do MFD, analisam-se as soluções técnicas do passo anterior sobre suas razões para formação de módulos. Ericsson e Erixon (1999), através de um grande estudo de casos, durante cinco anos, traduzem os objetivos das empresas em doze diretrizes para a modularização de produto, identificados e chamados de “*Module Drivers*”. Esses critérios abrangem todo ciclo de vida de um produto, conforme mostrado ilustrado na Tabela 1.

Esses conceitos também são utilizados na Matriz de Indicação de Módulos (MIM), conforme mostrado na Figura 10, em que cada solução técnica é avaliada através de uma escala que indica correlação dos componentes para a importância de sua respectiva razão de ser um módulo. O resultado da correlação entre a MIM e as soluções técnicas do produto e o QFD é denominado Mapa de Gerenciamento de

Produto (PMM), onde essa combinação permite visualizar o alinhamento dos requisitos do consumidor e as diretrizes de modularização em uma visão geral.

Tabela 2 - Diretrizes para modularização de Ericsson e Erixon, 1999

Desenvolvimento de Produtos	<i>Carryover</i>
	Evolução tecnológica
	Alterações de produtos planejadas
Variação	Diferentes especificações técnicas
	Estilo
Fabricação	Unidade comum
	Processo e/ou organização
Qualidade	Teste em separado
	Compra de produtos prontos
Após estar no mercado	Serviço e manutenção
	Atualização
	Reciclagem

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Estas diretrizes, Ericsson e Erixon (1999) são:

- *Carryover* – é uma parte do subsistema do produto multifuncional que provavelmente não será exposto a alterações no projeto durante o seu ciclo de vida na plataforma de produto; Acúmulo de conhecimento que vai transportada de uma geração para uma posterior.
- Evolução tecnológica – componentes susceptíveis a alterações como resultados de mudanças dos clientes ou da própria evolução tecnológica.
- Alterações de produtos planejados – preocupação com partes do produto que a empresa pretende desenvolver para lançar novos produtos, como redução de custos de produção.
- Diferentes especificações técnicas – lidando com a personalização e variação do produto, a adaptação para lidar com a variação na cadeia de produção para melhorar estoque, serviços e custos totais mais baixos.
- Estilo – podem ser fortemente influenciados pelas tendências; contêm partes visíveis do produto dando identidade ao mesmo;
- Unidade comum - apesar de um alto grau de personalização, requer muitas variantes do produto; é possível encontrar partes ou subsistemas que podem ser usados para a variedade de produtos ou para grande parte deles.
- Processo e/ou organização - para tornar a produção o mais eficiente possível,

as partes do produto que exigem o mesmo processo de produção específico estão agrupadas.

- Testes em separado - a possibilidade de testar separadamente cada módulo da família de produtos pode contribuir para a melhoria de qualidade significativa.
- Compra de produtos prontos - em vez de comprar as peças individuais de terceiros, alguns subsistemas no produto podem ser adequados para a compra, tais como módulos padrões de fornecedores.
- Serviço e manutenção - peças expostas para serviço e manutenção podem ser agrupadas para formar um módulo de serviço.
- Atualização - Projetar um módulo para permitir a atualização, como ofertas personalizadas; a possibilidade de mudar o produto no futuro.
- Reciclagem – facilidade em ser reciclável; o número de materiais diferentes em cada módulo deve ser limitado; os módulos permitem a fácil desmontagem do produto para a reciclagem ser simplificada.

Figura 10 - Matriz Indicadora de Módulos

Soluções Técnicas		Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Total
		Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Total
Desenvolvimento de Produtos	Carryover	●	○	○		
	Evolução tecnológica		●	●	○	
	Alterações de produtos planejadas	●		●		
Variação	Diferentes especificações técnicas		○	○	●	
	Estilo		●	●		
Fabricação	Unidade comum	●	●	●	○	
	Processo e/ou organização		○	●		
Qualidade	Teste em separado		●	●	●	
	Compra de produtos prontos	●		○		
Após estar no mercado	Serviço e manutenção					
	Atualização		●		●	
	Reciclagem	○	●		●	
Total						

● = Forte Module Drive (9) ● = Médio Module Drive(3) ○ = Fraco Module Drive(1)

Fonte: Adaptado de Ericsson e Erixon, 1999

Nilsson e Erixon.(1998) recomendam avaliação combinada dos dados da Matriz de Indicação de Módulos (MIM) com a Matriz das Propriedades do Produto (DPM) a utilização de um *software* estatístico para fazer a ramificação hierárquica , e gerar um dendograma para obter os candidatos a indicação de módulos.

Conceitos dos módulos são então gerados através das pontuações. São

selecionados os candidatos, com soluções técnicas com maiores pontos e também é ponderada quanto às possibilidades de integração com os módulos de menores pontos na formação dos módulos.

2.3.4 4º Fase: Avaliar o conceito dos módulos

Nesta etapa, avaliações dos conceitos dos módulos são realizadas através da correlação funcional dos mesmos. A avaliação das interfaces vai permitir focar os esforços de projeto na resolução das interações dos módulos e previsões econômicas sobre os efeitos esperados da modularização.

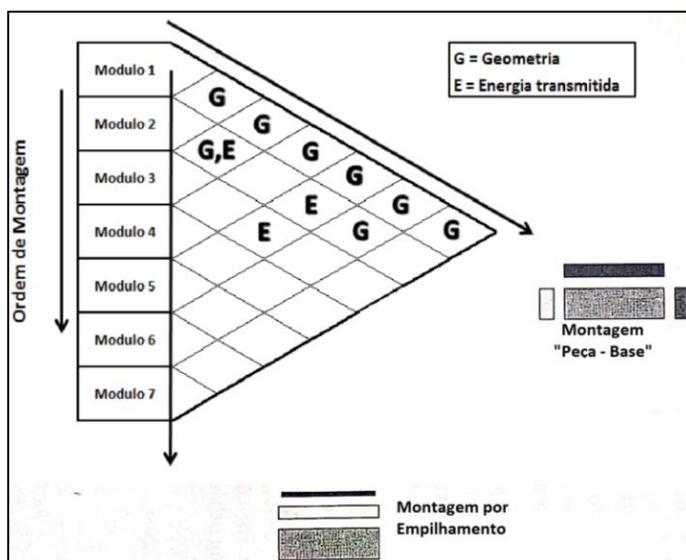
Segundo Ericsson e Erixon (1999), nesta fase, surgem dúvidas quanto aos efeitos dos conceitos gerados, as interfaces, a relação entre os módulos e os efeitos na produção é um dos principais pontos, podendo ser revisadas as considerações iniciais de projeto que se tornaram inviáveis e reavaliação dos conceitos através da análise do Mapa de Gerenciamento do Produto (PMM).

Segundo Lange e Gimenez (2008 *apud* BATAGLIN), as interfaces classificam-se em seis tipos:

- a) Interface espacial (S): define o espaço físico que um componente ocupa em relação a outro de acordo com a dimensão e posição, podendo não haver contato físico entre os módulos (propriedades: mm³, L).
- b) Interface de conexão ou fixação (A): define como um módulo se conecta a outro (propriedades geométricas: mm, Ø, unidades).
- c) Interface de transferência (T): define a forma que um módulo transfere potência mecânica, elétrica e fluídos (propriedades: m/s, Nm, N...).
- d) Interface de campo (F): define os efeitos não intencionais que o funcionamento de um módulo exerce sobre o outro, como campo magnético, temperatura entre outros (propriedades: °C, Hz, RPM).
- e) Interface de ambiente (E): define as condições de ambiente da aplicação em que um módulo foi projetado (propriedades: °C, %, m/s).
- f) Interface de comando (C): define a forma que um módulo envia um comando ou sinal para outro (propriedades: A, V, CAN).

As relações de interface dos módulos são avaliadas através da Matriz de Interfaces (MI) de Erixon, et al.(1996). Ela permite uma visão das restrições possíveis de uma montagem, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Matriz de Interfaces



Fonte: Adaptado de Ericsson e Erixon, 1999

As interfaces entre os módulos podem ser especificada com alguma relação desejada, normalmente envolvendo montagem, bem como tempo de montagem, custo de montagem, identificação de fixação, encaixes, movimentações, entre outros. No caso da Figura 11, foi identificada a geometria (G) e energia transmitida (E) para serem avaliadas.

A matriz de interfaces serve como um indicador de interfaces que necessita de atenção especial e/ ou ser melhorada. Todas as marcações devem ser sujeitas a uma análise mais complexa para não haver modificações futuras causadas por uma descrição de interface inadequada.

2.3.5 5° Fase: Otimizar módulos

Na etapa final, uma especificação é estabelecida para cada módulo, conforme mostrado na figura 12. A especificação contém informações técnicas sobre o módulo, bem como metas de custo, desenvolvimento planejado, descrição de variantes, descrição das considerações do QFD, descrições dos critérios da MIM,

avaliação da MI. Ericsson e Erixon (1999), afirmam que a partir daqui, o conceito modular pode ser melhorado, centrando-se separadamente em cada módulo.

Figura 12 – Exemplo de especificação de módulo

Responsável:	Módulo Chassis		
Objetivos:	Desenho		
Soluções Técnicas: * Carenagem * Barramento único	Módulo: Chassis		Origem: MIM
Interface: Carenagem	Tipo: Contato		Origem: MI
Considerado: Acesso fácil, tamanho forma			Origem: QFD

Fonte: Adaptado de Ericsson e Erixon (1998)

Dependendo das características do módulo, sem desconsiderar as indicações da MIM como base do que é importante em cada módulo, as ferramentas de projeto para manufatura (DFM) e projeto para montagem (DFA) podem ser aplicados na busca por melhorias do projeto no nível do componente, alcançando-se ótimos resultados.

Ericsson e Erixon (1999) afirmam que a apresentação do método MFD segue uma forma ideal de trabalho do passo um ao quinto passo. No entanto, trabalhos de concepções muito raramente começam a partir da primeira fase especificada em um método, continua através de cada fase, na ordem certa e termina com a fase final. Pontos de partida variam e várias interações podem ser necessárias antes de um resultado satisfatório ser alcançado.

3 METODOLOGIA

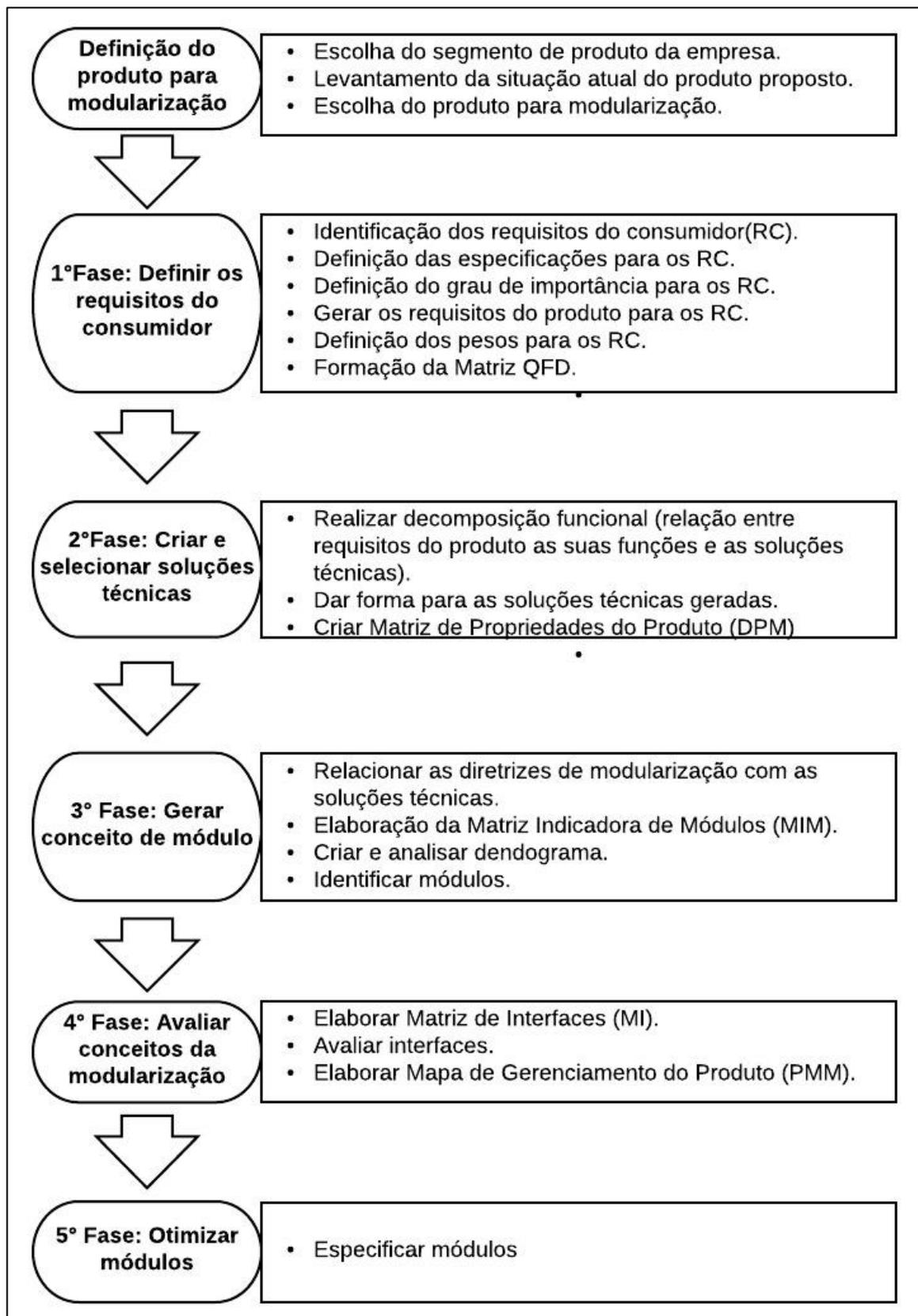
Este trabalho tem como objetivo aplicar o método MFD no desenvolvimento do conceito de uma tampa defletora com característica modular, em um grupo da família de produtos de motores elétricos já existentes no mercado.

Segundo Scalice et al. (2003), o desenvolvimento de uma arquitetura modular se difere de uma arquitetura integral (ou não modular), quando se estudam mais cuidadosamente as fases do PDP, principalmente em sua fase conceitual, ao adaptá-las às características de um projeto modular, tais como interfaces padronizadas, desenvolvimento de módulos e suas integrações. Isso ocorre, em grande parte, ao desconhecimento de suas vantagens, por parte dos profissionais da engenharia, das ferramentas adotadas para o desenvolvimento de produtos modulares.

Nesse contexto, a proposta deste trabalho, com a aplicação do método MFD torna-se viável como oportunidade pelo uso das ferramentas de apoio dos processos de Melhoria Incremental e de Transformação do PDP, visando melhorar os indicadores da empresa com soluções mais eficientes, atendimento ao cliente e redução de custos.

Para isso propõe-se como metodologia de trabalho, o fluxo apresentado na Figura 13, onde se observa o modelo MFD adaptado a realidade da empresa. Cada uma das fases será apresentada no decorrer deste capítulo.

Figura 13 - Metodologia de desenvolvimento do projeto



3.1 Aplicação da metodologia para modularização

Este tópico apresenta de forma estruturada a sequência das atividades realizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.1 Definição do Produto para Modularização

Entre diversos produtos do segmento de motores elétricos WEG, foi definida para o projeto de modularização a tampa defletora da família de motores elétricos HGF, na carcaça ABNT 500, conforme a Figura 14.

As tampas defletoras atuais em motores HGF, na carcaça ABNT 500, são de construção soldada, projetadas para direcionar o ar de forma contínua sobre o motor para aumento da sua troca térmica e eficiência energética.

Os sistemas de refrigeração em estudo neste trabalho são dos tipos totalmente fechado ventilação externa e totalmente fechado ventilação forçada. Conforme norma internacional IC411, é simplificada a identificação pelas siglas TFVE e TFVF, que indicam para ambas que o motor é totalmente fechado resfriado por ventilador externo montado no próprio eixo do motor (TFVE) e ventilador externo montado em um motor auxiliar (TFVF).

Figura 14 - Tampa defletora original do motor elétrico, linha HGF, ABNT 500



Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

A necessidade para trabalhar a tampa defletora não partiu somente de sua diversidade de componentes atuais, mas também pela sua complexidade de processamento, pelas necessidades técnicas para atender solicitações de clientes

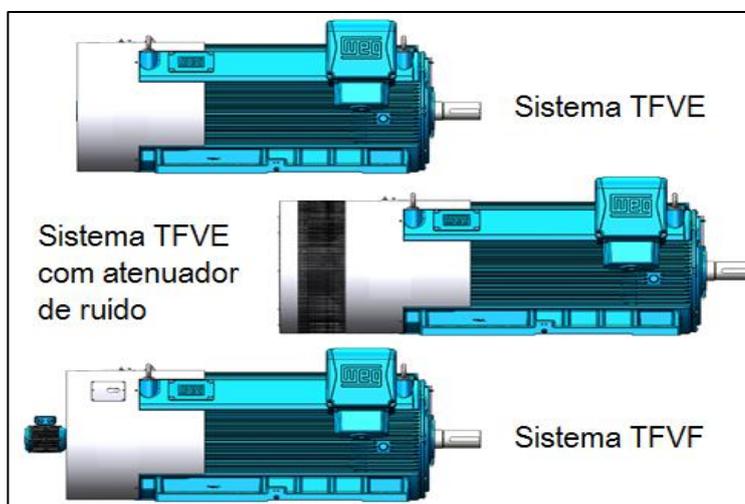
em suas aplicações e o interesse da empresa em tornar o produto mais atrativo para o mercado.

As tampas defletoras da linha HGF, da série 500, atualmente são ofertadas dentro de três grupos:

- Tampas defletoras com refrigeração TFVE, sem atenuador de ruído;
- Tampas defletoras com refrigeração TFVE, com atenuador de ruído;
- Tampas defletoras com refrigeração TFVF, para ventilação forçada.

A aquisição de motores trifásicos de indução, normalmente, vem acompanhada de mais motores de outras linhas para suprir a necessidade da planta do cliente. Isso faz despertar um senso crítico da tecnologia e soluções utilizadas no fornecimento que reforçou a necessidade de inovação no projeto de uma nova tampa defletora. Por exemplo, em uma mesma linha de motores elétricos diversas opções de defletoras para atender as variações de projetos tornam-se um assunto de frequentes questionamentos técnicos para os analistas de Vendas. Conforme mostrado na Figura 15, têm-se os principais tipos de tampas defletoras do padrão e opcional ofertadas, sem considerar as customizações e variações dentro desses grupos.

Figura 15 - Exemplo dos diferentes formas de tampas defletoras atualmente ofertadas.



Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Dentro desses grupos, há outras variações para as tampas defletoras, tais como, o dimensionamento de acordo com as suas polaridades, as suas formas construtivas (posição de montagem, horizontal ou vertical e motor com ou sem pés),

as possibilidades de uso com ou sem atenuador de ruído, preparadas para com ou sem uso de carenagens, para com ou sem sistema de fixação de encoders (equipamento de monitoramento de posição e velocidade) e outras características para atender exigências de normas que não alteram a sua forma como componentes em aço inoxidável, totalizando somente para variações disponíveis do padrão e opcional de oferta desse produto em 103 componentes.

A proposta do MFD de Ericsson e Erixon (1999) é a modularização, onde são tratados diversos produtos de uma família. Este trabalho tem como foco a modularização de produtos similares, com a mesma função, como estratégia de reprojeção de produtos existentes, se encaixando com o uso do MFD e suas ferramentas de projeto, visando a otimização de diferentes aspectos como a atualização tecnológica e manutenção.

Após essa definição do produto, é dado início à primeira fase do método MFD em identificar os requisitos do consumidor.

3.1.2 1º Fase: Definir os Requisitos do Consumidor

A imprevisibilidade de produtos customizados é contínua na indústria de motores elétricos onde todas as necessidades dos clientes tem que se adaptar ao produto disponível, em consequência, gerando derivações das linhas de produtos existentes e, ao mesmo tempo, ampliando exponencialmente as possibilidades de componentes dentro das opções que os produtos já oferecem.

Nesta etapa, é importante compreender os requisitos do cliente, o que ele realmente está precisando, priorizando a necessidade do consumidor. Isso, segundo Fleig (2008) pode ser levantado de duas maneiras, uma com a equipe de projetos com base em trabalhos anteriores que deram certo, e já estão no mercado, e também por meio de questionários e/ou opiniões de clientes.

Para Ericsson e Erisson (1999), esses requisitos podem ser levantados com uma versão simplificada do QFD, relacionando os requisitos dos clientes com os requisitos do projeto para modularização, que servirão como especificações do projeto para ser trabalhado.

Para isso, primeiramente é necessário identificar os requisitos dos clientes e a sua relação com as especificações, definindo cada requisito, conforme mostrado na

Tabela 3, onde se observa os principais requisitos levantados pela equipe do projeto.

Tabela 3 – Requisitos do consumidor e as definições /especificações para o produto

Requisitos do consumidor	Definições / Especificações
1. Boa aparência	1. Design inovador e atraente que transmita confiança. 2. Familiaridade com os produtos WEG. 3. Bom acabamento nas uniões.
2. Confiabilidade / Durabilidade	1. Robustez. 2. Desempenho. 3. Longo ciclo de vida. 4. Materiais resistentes a deformações. 5. Baixo índice de falhas.
3. Qualidade	1. Bom acabamento nas uniões. 2. Isento de arestas cortantes. 3. Alinhamento na montagem. 4. Não permitir vibração no funcionamento
4. Facilidade de utilização	1. Permitir içamento na montagem. 2. Menor esforço de montagem. 3. Adesivo indicativo para movimentação.
5. Facilidade de manutenção	1. Facilidade de acesso aos componentes para limpeza. 2. Facilidade de acesso para substituição de componentes.
6. Segurança	1. Em caso de falha dos componentes internos, os mesmos não sejam lançados para fora do sistema.
7. Resistente às condições do ambiente	1. Material e revestimentos à prova de corrosão.
8. Melhor aproveitamento dos espaços	1. Menor comprimento total
9. Não agredir o meio-ambiente	1. Fácil desmontagem para reciclagem de peças. 2. Materiais utilizados não sejam nocivos ao meio-ambiente
10. Baixo peso do componente	1. Menor massa do conjunto de componentes para facilitar a montagem e desmontagem.
11. Custo do produto	1. Aumentar a faixa de negociação
12. Varias faixas de aplicações	1. Menor número de opções de defletoras
13. Tempo de produção	1. Componente de fácil reposição no caso de falhas no processo.

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Com a finalidade de avaliar o peso dos requisitos do consumidor, esses foram listados de acordo com o seu grau de importância e identificados de 1 a 13, conforme Tabela 4, onde o requisito 1 tem maior valor para o consumidor e o 12 tem menor relevância para compra do produto.

Tabela 4 – Avaliação do grau de importância dos requisitos do consumidor

Requisitos do consumidor	Grau de Importância
Boa aparência	01
Confiabilidade / Durabilidade	03
Qualidade	02
Facilidade de utilização	10
Facilidade de manutenção	06
Segurança	09
Resistente às condições do ambiente	11
Melhor aproveitamento dos espaços	07
Não agredir o meio-ambiente	12
Massa do componente	13
Custo do produto	04
Varias faixas de aplicações	05
Tempo de produção	08

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Os requisitos dos consumidores foram avaliados em grau de importância como pesos para representar essa necessidade, conforme mostrado na Tabela 5, para posteriormente serem atribuídos aos requisitos do consumidor na matriz QFD.

Tabela 5 - Peso avaliado em relação ao grau de importância

Ordem de importância	Peso
01-02	05
03-04	04
05-07	03
08-10	02
11-13	01

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

A ordem dos pesos foi atribuída considerando que os maiores pesos para os requisitos mais atrativos para o cliente que o farão comprar o produto. Os valores médios trazem as impressões do produto após o seu recebimento, sendo que a utilidade em sua aplicação trará uma imagem que poderá fazê-lo comprar novamente o mesmo produto. Já os valores mais baixos são os requisitos mínimos para o produto permanecer no mercado.

Posteriormente, os requisitos do consumidor foram traduzidos pela equipe de projetos em requisitos do produto. Segundo Ericsson e Erixon (1999), a modularização deve ser considerada como o primeiro requisito para já direcionar o ponto de vista dos objetivos a serem alcançados. Os demais requisitos serão especificados dentro das possibilidades de serem trabalhadas pelos projetistas, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6– Requisitos do Produto

Requisitos do Produto
01. Modularização
02. Eficiência no escoamento de ar
03. Nível de ruído
04. Design WEG que transmita robustez
05. Consumo de energia
06. Material do componente
07. Resistência mecânica
08. Preço de custo
09. Capacidade de produção
10. Tamanho da defletora
11. Peso dos componentes
12. Folgas entre as partes
13. Nº de funções oferecidas
14. Rigidez estrutural
15. Elevação e movimentação
16. Vida útil
17. Facilidade de uso
18. Praticidade de uso
19. Reciclagem
20. Acabamento nas uniões
21. Segurança

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Para quantificar a matriz QFD na relação entre requisito do consumidor e requisitos do produto, foram utilizadas as seguintes pontuações: 9 pontos para correlação forte; 3 pontos para correlação média; 1 ponto para correlação fraca e, quando não ocorreu correlação, foram deixados os campos em branco para permitir melhor visualização.

O resultado destas correlações, exemplo utilizando o segundo item dos requisitos do produto: “Eficiência no escoamento do ar” da matriz QFD abaixo no Quadro 1, é realizado a multiplicação das pontuações das correlações(9 – correlação forte, 3 – correlação média e 1 – correlação fraca) pelos pesos relativos

ao grau de importância (5, 4, 3 , 2 e 1) para obter a soma desta correlação : [(3 x 5) + (3 x 4) + (9 x 5) + (3 x 3) + (1 x 1) + (1 x 4) + (9 x 4) + (9 x 3) + (9 x 2)] = 163

Quadro 1 - Matriz QFD

		RP: REQUISITOS DE PRODUTO																	PESO		Grau de importância						
		Modularização	Eficiência no escoamento de ar	Nível de ruído	Design WEG que transmita robustez	Consumo de energia	Material do componente	Resistência mecânica	Preço de custo	Capacidade de produção	Tamanho da defletora	Peso dos componentes	Folgas entre as partes	Nº de funções oferecidas	Rigidez estrutural	Elevação e movimentação	Vida útil	Facilidade de uso					Praticidade de uso	Reciclagem	Acabamento nas uniões	Segurança	
LEGENDA																											
○ Sem correlação																											
◐ 1 - Correlação Fraca																											
◑ 3 - Correlação Média																											
● 9 - Correlação Forte																											
RC: REQUISITOS DO CONSUMIDOR	Boa aparência	●	◐	◐	●	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	5	1	
	Confiabilidade / Durabilidade	●	◐	◐	●	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	4	3
	Qualidade	●	●	●	●	◐	●	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	5	2
	Facilidade de utilização	●			◐		◐		◐		◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	2	10
	Facilidade de manutenção	◐			◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	3	6
	Segurança	◐					◐	◐				◐			◐	◐	◐				◐	◐	◐	◐	◐	2	9
	Resistente as condições do ambiente	●					◐	◐	◐						◐	◐					◐	◐			◐	1	11
	Melhor aproveitamento do espaços	◐	◐	◐	◐		◐		◐		◐				◐	◐									◐	3	7
	Não agredir o meio-ambiente	◐					◐								◐						◐	◐			◐	1	12
	Baixo peso do componente	◐	◐	◐			◐		◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐									◐	1	13
	Custo do produto	●	●	◐	◐	●	●	◐	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐								◐	4	4
	Varias faixas de aplicações	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐								◐	3	5
	Tempo de produção	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐					◐	◐	◐	◐	◐	2	8
	Σ (Correlação RC-RP)		262	163	106	189	90	234	133	168	114	84	55	87	195	142	128	81	67	58	48	48	100	2552			
Percentual		10%	6%	4%	7%	4%	9%	5%	7%	4%	3%	2%	3%	8%	6%	5%	3%	3%	2%	2%	2%	4%	100%				
Classificação		1	6	11	4	13	2	8	5	10	15	19	14	3	7	9	16	17	18	20	20	12					

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

3.1.3 2º Fase: Criar e Selecionar Soluções Técnicas

Na fase anterior a análise dos requisitos do produto foi desenvolvida com foco no mercado. Para prosseguir é necessário ter uma visão técnica do produto. Segundo Ericsson e Erixon (1999) a visão de produto deve ter o ponto de vista funcional, para isso é necessário realizar uma decomposição funcional, eles não mencionam uma forma específica de realizar isso, podendo ser realizada de muitas formas diferentes, mas com o objetivo principal de mapear todas as funções e explicá-las em seu contexto na forma de soluções técnicas, onde cada função ou grupo de funções podem ter diversas soluções técnicas para serem selecionadas, conforme mostrado na Tabela 7.

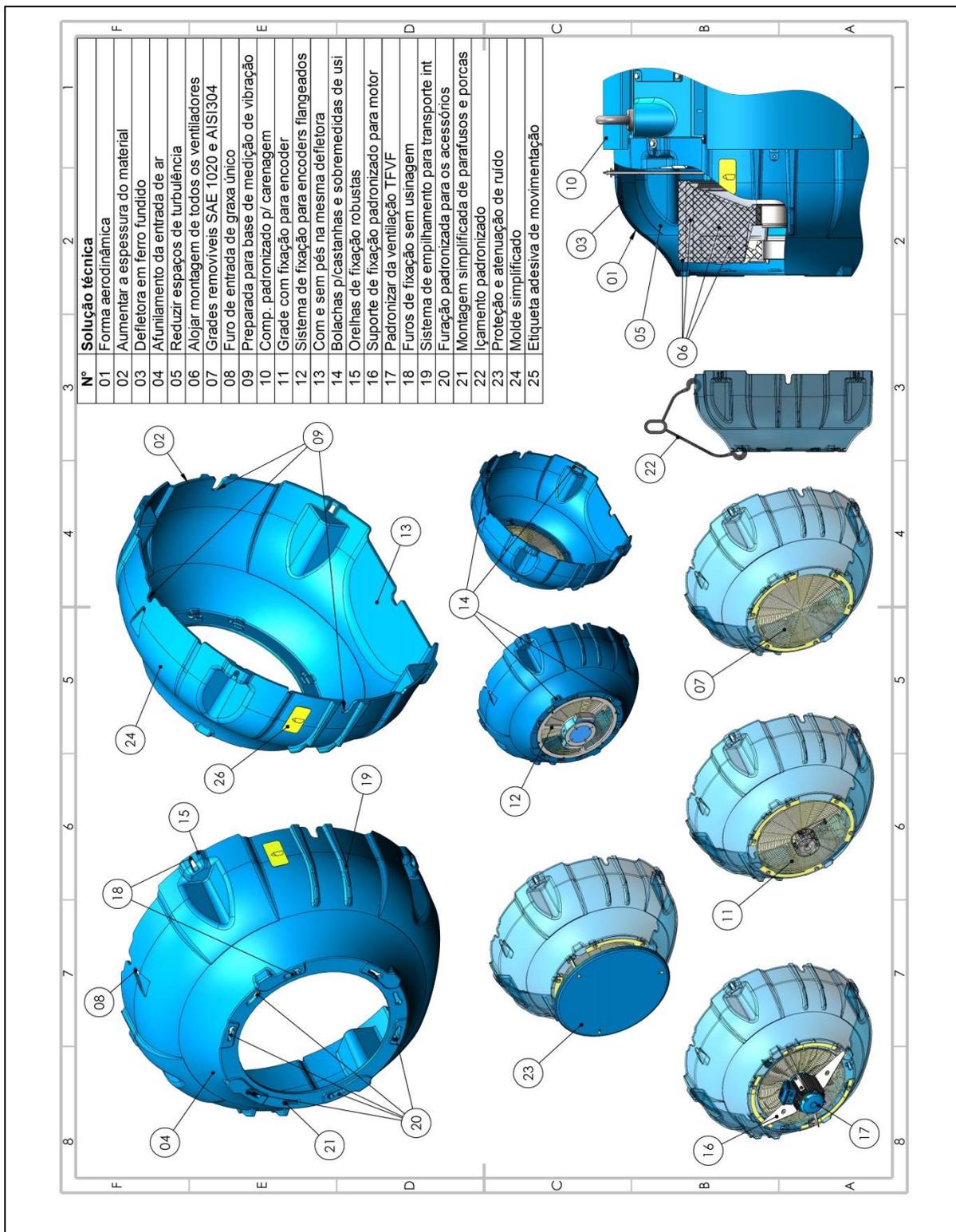
Para avaliação prévia das soluções para as funções, foi necessário dar forma para a elas, utilizando uma ferramenta CAD na modelação 3D e simulação de montagens. Com base na experiência foram atribuídas 25 soluções técnicas para os 5 grupos de funções, conforme mostrado na Figura 16.

Tabela 7 – Soluções técnicas para as funções do produto

Requisitos do Produto	Funções	Soluções Técnicas
<ul style="list-style-type: none"> - Modularização. -Eficiência no escoamento de ar. - Nível de ruído. - Design WEG que transmita robustez. - Consumo de energia. - Material do componente. - Resistência mecânica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Direcionar o ar. - Atenuar ruído. 	<ul style="list-style-type: none"> 01 - Forma aerodinâmica. 02 - Aumentar a espessura do material. 03 - Defletora em ferro fundido. 04 - Afunilamento entrada de ar. 05 - Reduzir espaços de turbulência.
<ul style="list-style-type: none"> - Preço de custo. - Capacidade de produção. - Tamanho da defletora. - Peso dos componentes. - Folgas entre as partes. - Nº de funções oferecidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permitir sistema TFVE. - Acessar os ventiladores. - Permitir lubrificação do mancal. - Acessar as bases de medição de vibração. - Montar carenagens na carcaça. - Permitir sistemas de encoders. 	<ul style="list-style-type: none"> 06 - Alojamento de todos os ventiladores. 07 - Grades removíveis. 08 - Furo de entrada de graxa único. 09 - Preparada p/ base de medição de vibração. 10 – Comp. padronizado p/ carenagem. 11 - Grade de fixação para encoder. 12 - Sistema de fixação para encoders flangeados. 13 - Unificar com e sem pés. 14 - Bolachas para castanhas e sobremedidas de usinagem.
<ul style="list-style-type: none"> - Rigidez estrutural. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permitir sistema TFVF 	<ul style="list-style-type: none"> 15 - Orelhas de fixação robustas. 16 - Suporte de fixação para motor. 17 - Padronizar da ventilação TFVF. 18 - Fixação sem usinagem.
<ul style="list-style-type: none"> -Elevação e movimentação. - Vida útil. - Facilidade de uso. - Praticidade de uso. - Reciclagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar o transporte e manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> 19 - Sistema de empilhamento para transporte interno. 20 - Furação padronizada para os acessórios. 21 - Montagem simplificada de parafusos e porcas. 22 - Lçamento padronizado.
<ul style="list-style-type: none"> - Acabamento nas uniões. - Segurança. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger os ventiladores. - Prover segurança na utilização. 	<ul style="list-style-type: none"> 23 - Proteção e atenuação de ruído 24 - Molde simplificado. 25 - Etiqueta adesiva.

Fonte: O próprio autor (2016)

Figura 16 – Representação das soluções técnicas para tampa defletora



Segundo Nilsson e Erixon.(1998) com QFD simplificado permite transformar a “voz do consumidor” em “voz da engenharia” com objetivo de criar um produto flexível, modularizado no qual permita uma variedade de produtos.

Para isso Nilsson e Erixon (1998) introduziram nessa fase a Matriz de Propriedades do Produto (DPM) para avaliação dos requisitos do produto vs soluções técnicas da equipe de projetos. A DPM foi aplicada para expressar em valores mensuráveis essa correlação para o desenvolvimento do produto, conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Matriz de Propriedades do Produto.

		RP: REQUISITOS DE PRODUTO																				Σ (Soluções Técnicas)	
		Modularização	Eficiência no escoamento de ar	Nível de ruído	Design WEG que transmite robustez	Consumo de energia	Material do componente	Resistência mecânica	Preço de custo	Capacidade de produção	Tamanho da defletora	Peso dos componentes	Folgas entre as partes	Nº de funções oferecidas	Rigidez estrutural	Elevação e movimentação	Vida útil	Facilidade de uso	Praticidade de uso	Reciclagem	Acabamento nas uniões		Segurança
LEGENDA																							
○ Sem correlação																							
◐ 1 - Correlação Fraca																							
◑ 3 - Correlação Média																							
● 9 - Correlação Forte																							
ST: SOLUÇÕES TÉCNICAS	Forma aerodinâmica		●	●	●	●	●		◐	◐	◐	◐	◐	◐							◐	60	
	Aumentar a espessura do material	●		●	◐		●	●	◐	◐	●	●	◐	◐	●	◐					◐	76	
	Defletora em ferro fundido	●	◐	●	●	◐	●	●	●	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐				◐	96	
	Furo de entrada de graxa único	●					◐		◐	◐			◐	◐					◐	◐		30	
	Furos de fixação sem usinagem	◐					●		●	●			◐	◐					◐	◐		37	
	Molde simplificado	●	◐	◐		◐	●		●	●	◐		◐	◐					◐	◐	◐	58	
	Orelhas de fixação robustas	●					●	◐		◐	◐	●	◐	◐	●	◐					◐	51	
	Com e sem pés na mesma defletora	●			◐				●	◐	◐		◐	●								33	
	Afunilamento da entrada de ar	●	●	●	◐	●					◐		◐	◐								44	
	Reduzir espaços de turbulência		●	◐	●	●					●	◐	◐									42	
	Alojar montagem de todos os ventiladores	●	●	●	◐	●				◐		●		◐	●				◐	◐		61	
	Comprimento padronizado para as funções	●	●		●		◐	◐	◐	◐	●	◐	◐	●					◐	◐		63	
	Preparada para base de medição de vibra	●	◐		◐		◐		◐	◐	●		◐	●		◐			◐	◐		42	
	Furação padronizada para os acessórios	●			◐		◐		◐	◐			◐	●					◐	◐		37	
	Montagem simplificada de parafusos e porcas	●					◐		◐	◐			◐	●					◐	◐	◐	37	
	Suporte de fixação padronizado para motor	●	◐		◐	◐	◐		◐	◐	◐	◐		●	◐				◐	◐	◐	42	
	Padronizar da ventilação TFVF	●	◐		◐	◐	◐		◐	◐	◐	◐		◐	◐				◐	◐		37	
	Grade removível SAE 1020 e AISI304	●	◐		◐				◐	◐			◐	●					●	●	◐	49	
	Grade com fixação para encoder	●	◐		◐				◐	◐			◐	●					●	●	◐	49	
	Sistema de fixação para encoders flangea	●	◐		●	●	●		◐	◐	◐		◐	●	◐				◐	◐	◐	62	
	Bolachas para castanhas e sobremedidas	●			◐		◐				●	◐		◐	◐				◐	◐		36	
	Proteção e atenuação de ruído	●	◐	●	◐				◐	●	◐		◐	●					◐	◐		58	
	Sistema de empilhamento para transporte interno	●			◐		◐		◐	◐			◐	●		●			●	◐		57	
lçamento padronizado	●			●				◐	◐			◐			●			◐	◐		45		
Etiqueta adesiva de movimentação	◐														◐						13		
Σ ST x RP		193	64	56	75	49	86	22	60	81	66	33	43	142	35	26	4	58	52	18	10	42	1215
%		16%	5%	5%	6%	4%	7%	2%	5%	7%	5%	3%	4%	12%	3%	2%	0%	5%	4%	1%	1%	3%	100%
Class.		1	7	10	5	12	3	18	8	4	6	16	13	2	15	17	21	9	11	19	20	14	

Fonte: O próprio autor (2016)

3.1.4 3º Fase: Gerar conceito de módulo

Nesta fase do método MFD as soluções técnicas da fase anterior, serão avaliadas através da Matriz de Identificação de Módulos (MIM). Nilsson e Erixon (1998) conectam as diretrizes de modularização com as soluções técnicas como avaliação dos objetivos da modularização no projeto. Os resultados positivos da modularidade conceituam as razões pelas quais a empresa deve modularizar seus produtos. A linha de soma abaixo na avaliação parcial da MIM indica as diretrizes mais importantes da modularização, conforme mostrada no Quadro 3.

Quadro 3 - Matriz de Identificação de Módulos

LEGENDA		DIRETRIZES DE MODULARIZAÇÃO											Soma			
		Desenvolvimento de Produtos		Variação			Fabricação		Qualidade		Após estar no mercado					
		Carryover (Acúmulo de Conhecimento)	Evolução tecnológica	Alterações de produtos	Diferentes especificações	Estilo	Unidade comum	Processo e/ou organização	Teste em separado	Compra de produtos prontos	Serviço e manutenção	Atualização		Reciclagem		
ST: SOLUÇÕES TÉCNICAS	Forma aerodinâmica	●		●		●	●		○							39
	Aumentar a espessura do material	●														9
	Defletora em ferro fundido	●		●	●	●	●						○	○		49
	Furo de entrada de graxa único	●					●	●	○							30
	Furos de fixação sem usinagem	●		●			●	●	○							39
	Molde simplificado	●	○	●	○				●				○			34
	Orelhas de fixação robustas	●					●		○							21
	Com e sem pés na mesma defletora	●		○		○	●									24
	Afunilamento da entrada de ar	●					●									18
	Reduzir espaços de turbulência	●							○							12
	Alojar montagem de todos os ventiladores	●		●	●			●								36
	Comprimento padronizado para as função de carenagem	●		●	●	○	●	●								48
	Preparada para base de medição de vibração	●		●	●	○		●	○							42
	Furação padronizada para os acessórios	●		●	○			●					○			31
	Montagem simplificada de parafusos e porcas	●		○	●	○	●		○					○		39
	Suporte de fixação padronizado para motor		●	○	●	○	●	○	○	●	●	●	○			69
	Padronizar da ventilação TFVF		●	○	●	○	○				●	●				45
	Grade removível SAE 1020 e AISI304	●	●	○	●	○		●	○	●	●	●	○	○		75
	Grade com fixação para encoder		●	○	●	○	●	●	○	●	●	○	○			69
	Sistema de fixação para encoders flangeados	●	●	●		○	●	●	○	●	○	●	○			75
Bolachas para castanhas e sobremedidas de		●				○	○	○							18	
Proteção e atenuação de ruído		●	○	●	○	○	●	●		●					54	
Sistema de empilhamento para transporte interno	●			○	○	●		○				○			28	
Çamento padronizado	●							●							18	
Etiqueta adesiva de movimentação				○		○									6	
Soma		171	66	102	102	51	129	96	66	36	48	43	18			

Fonte: O próprio autor (2016)

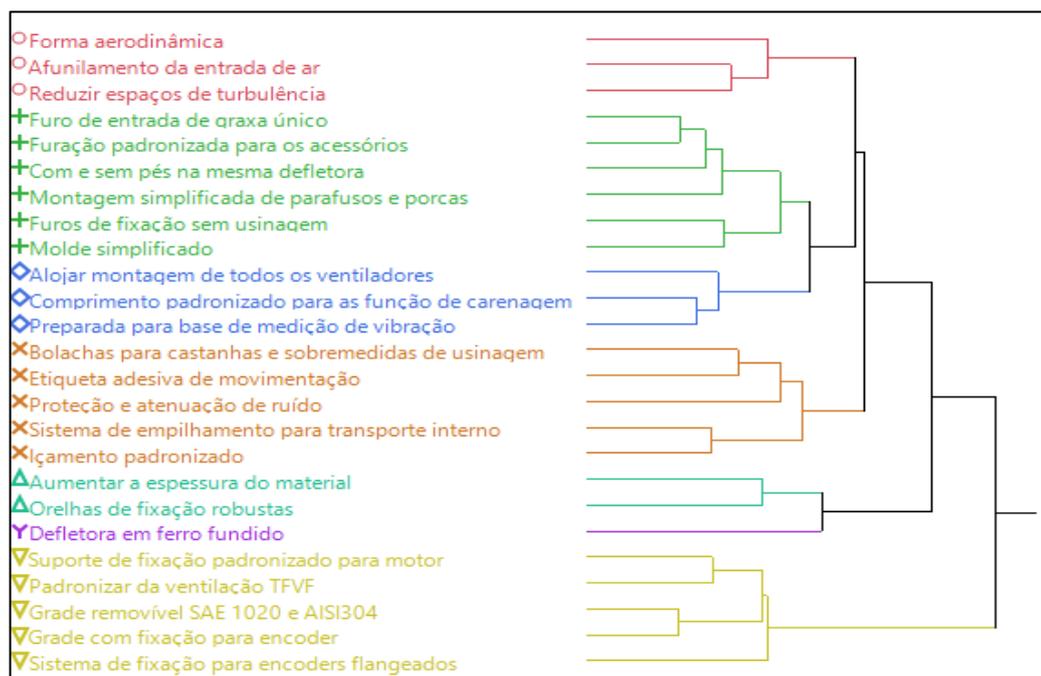
A análise de *Cluster* busca o agrupamento dos dados baseando-se em similaridade entre eles, através do método de *Ward*. Esse agrupamento é representado na forma dendograma, que permite visualizar os agrupamentos na forma de um diagrama de árvore. Após esta análise foi gerado o dendograma, conforme mostrado na Figura 17.

De acordo com Ericsson e Erixon (1999) em uma experiência na geração de módulos para um aspirador de pó mencionaram que o valor ideal de módulos é raiz quadrada do numero de componentes atuais.

Como o número de componentes atuais poderia chegar até 103 componentes, considerando todas as possibilidades de combinações, formando 10 módulos, onde os agrupamentos das soluções técnicas seriam irrelevantes e sem sentido para formação de módulos. Foram selecionadas as opções mais usuais, em termos de volume de produção, o que irá refletir um verdadeiro resultado da modularização.

Foram identificados 58 componentes com maior volume de vendas, assim a opção de 7 grupos se apresentou com maior coerência para engenharia na avaliação dos módulos, de acordo com a Figura 17.

Figura 17 – Dendograma da matriz MIM e DPM



Fonte: O próprio autor (2016)

A avaliação dos módulos gerados pelo dendograma permitiu identificar as soluções técnicas com maior afinidade para formação de módulos. Os grupos formados na Figura 17 estão identificados por simbologias de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 – Agrupamentos gerados no dendograma.

Grupos	Símbolo	Soluções Técnicas
1		Forma aerodinâmica; Afunilamento da entrada de ar; Reduzir espaços de turbulência.
2		Furo de entrada de graxa único; Furos de fixação sem usinagem; Molde simplificado; Com e sem pés na mesma defletora; Furação padronizada para os acessórios; Montagem simplificada de parafusos e porcas.
3		Alojar montagem de todos os ventiladores; Comprimento padronizado para a função de carenagem; Preparada para base de medição de vibração.
4		Sistema de empilhamento para transporte interno; Içar padronizado; Etiqueta adesiva de movimentação; Bolachas para castanhas e sobremedidas de usinagem.
5		Orelhas de fixação robustas; Aumentar a espessura do material.
6		Defletora em ferro fundido.
7		Suporte de fixação padronizado para motor; Padronizar da ventilação TFVF; Grade removível SAE 1020 e AISI304; Grade com fixação para encoder; Sistema de fixação para encoders flangeados.

Fonte: O próprio autor (2016)

A formação de grupos por meio do dendograma agrupou as similaridades entre os dados das soluções técnicas, estes foram avaliados agora sobre a experiência da engenharia para a formação de módulos, assim novos agrupamentos foram realizados com base no dendograma.

Essa avaliação é necessária, em vista que algumas soluções técnicas remetem ao mesmo candidato a módulo, grupos menores foram redistribuídos e algumas soluções apesar de agrupadas formariam novas funções foram então separadas.

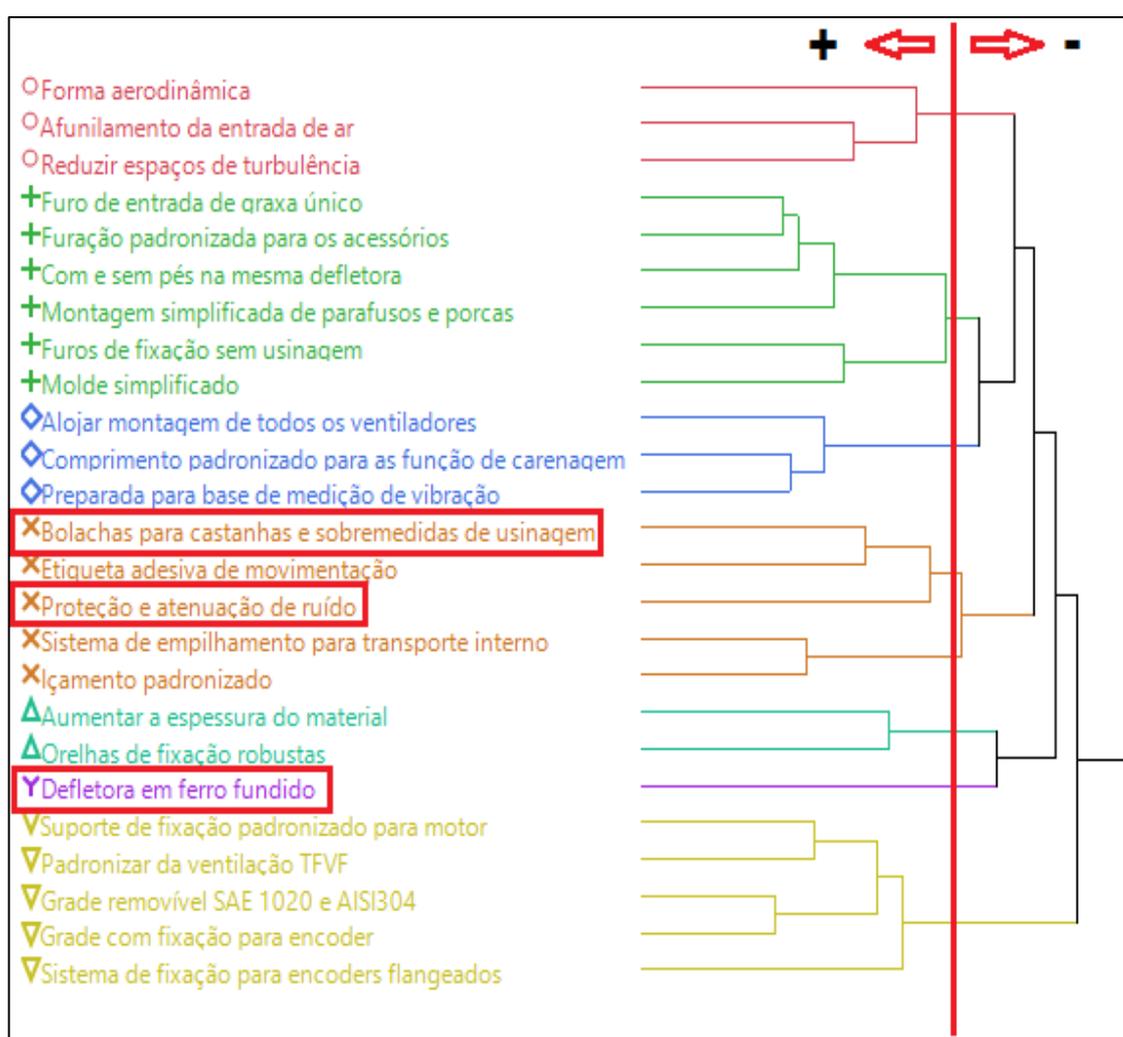
Exemplo disso, o agrupamento das soluções técnicas de: “bolachas para castanhas e sobremedidas de usinagem” e “sistema de proteção e atenuação de ruído” em um mesmo grupo de módulo, sabendo que os mesmos são fisicamente separados. Também ocorreu o contrário em que a solução técnica de “defletora em

ferro fundido” ter ficado em uma sub árvore em separado do módulo da tampa defletora.

Conforme mostrado na Figura 18, o *software* preenche espaços estatisticamente de uma grande quantidade de dados mostrando a similaridade entre as soluções. Movimentando a régua para o ramo da árvore para direita obtêm-se menores similaridades e para esquerda tem-se de maiores similaridades.

Com este recurso foi possível á identificação dos módulos, os agrupamentos do dendograma se mostraram em 80% coerentes.

Figura 18 - Visualização do dendograma com a régua e as divergências nos grupos



Fonte: O próprio autor (2016)

O agrupamento das soluções técnicas final e os módulos criados são apresentados na Tabela 9.

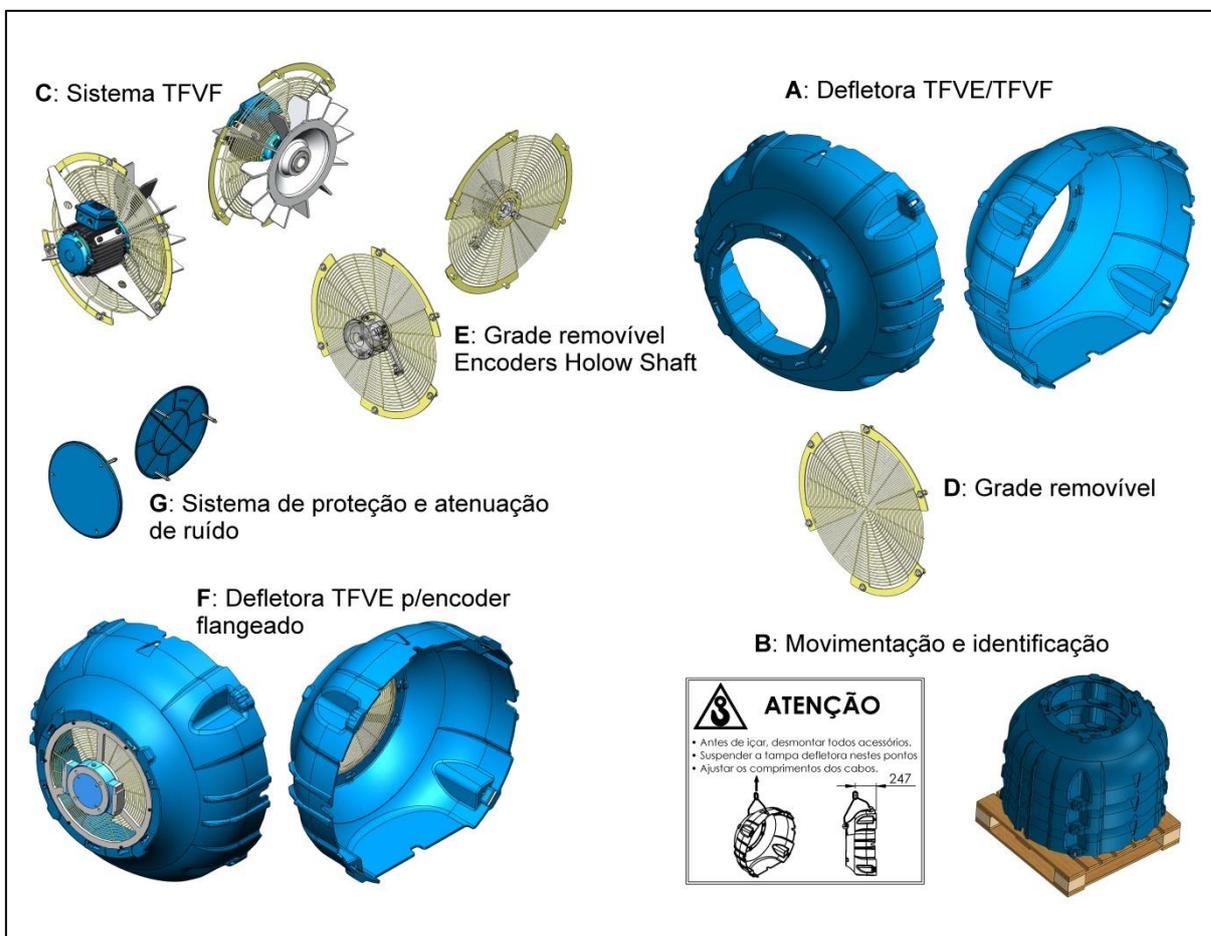
Tabela 9 – Módulos gerados a partir do dendograma

Grupos do Dendograma	Soluções Técnicas	Módulos
1 (○)	Forma aerodinâmica	A: Defletora TFVE/TFVF
1 (○)	Afunilamento da entrada de ar	
1 (○)	Reduzir espaços de turbulência	
2 (+)	Furo de entrada de graxa único	
2 (+)	Furação padronizada para os acessórios	
2 (+)	Com e sem pés na mesma defletora	
2 (+)	Montagem simplificada dos parafusos e porcas	
2 (+)	Furos de fixação sem usinagem	
2 (+)	Molde simplificado	
3 (⊙)	Alojar montagem de todos os ventiladores	
3 (⊙)	Comprimento padronizado para a função de carenagem	
3 (⊙)	Preparada para base de medição de vibração	
5 (△)	Aumentar a espessura do material	
5 (△)	Orelhas de fixação robustas	
6 (Υ)	Defletora em ferro fundido	
4 (✗)	Sistema de empilhamento para transporte interno	
4 (✗)	Içamento padronizado	
4 (✗)	Etiqueta adesiva de movimentação	
7 (▽)	Suporte de fixação padronizado para motor	C: Sistema TFVF
7 (▽)	Padronizar da ventilação TFVF	
7 (▽)	Grade removível SAE 1020 e AISI304	D: Grade removível
7 (▽)	Grade removível Encoders <i>Hollow Shaft</i>	E: Grade removível p/ Encoders <i>Hollow Shaft</i>
7 (▽)	Sistema de fixação para encoders flangeados	F: Defletora TFVE p/encoder flangeado
7 (▽)	Bolachas para castanhas e sobremedidas de usinagem	
4 (✗)	Proteção e atenuação de ruído	G: Sistema de proteção e atenuação de ruído

Fonte: O próprio autor (2016)

Esses módulos foram projetados, a Figura 7 apresenta as características finais de cada módulo.

Figura 19 – Módulos finais gerados para tampa defletora



Fonte: O próprio autor (2016)

3.1.5 4º Fase: Avaliar conceitos da modularização

Nessa fase os módulos foram avaliados em termos de funcionalidade e correlação um com os outros. Essa relação é realizada através da Matriz de Interfaces (MI) que permite identificar os tipos de interfaces para avaliação de possíveis falhas na geração dos conceitos dos módulos, correlacionando com métodos atuais como medição das soluções propostas.

A Matriz de Interfaces foi avaliada e identificada com os seguintes tipos de interfaces existentes no sistema: espacial (S), de fixação (A), de transferência (T), de campo (F) e de ambiente (E).

Quadro 5 – Matriz de Interfaces

Tipos de Interfaces: S - espacial A - de fixação T - de transferência F - de campo E - de ambiente	Defletora TFVE/TFVF	Movimentação e identificação	Sistema TFVF	Grade removível	Grade removível Encoders Hollow Shaft	Defletora TFVE para encoder flangeado	Sistema de proteção e atenuação de ruído
Defletora TFVE/TFVF		S, A, T	S, A, T, F, E	A, T, E	S, A, T, E	S, A, T, F, E	A, T, F, E
Movimentação e identificação			S, A, T	T	T	S, A, T	T
Sistema TFVF				S, A, T, E			
Grade removível							S, T
Grade removível Encoders Hollow Shaft							S, T
Defletora TFVE p/encoder flangeado							A, T, F, E
Sistema de proteção e atenuação de ruído							

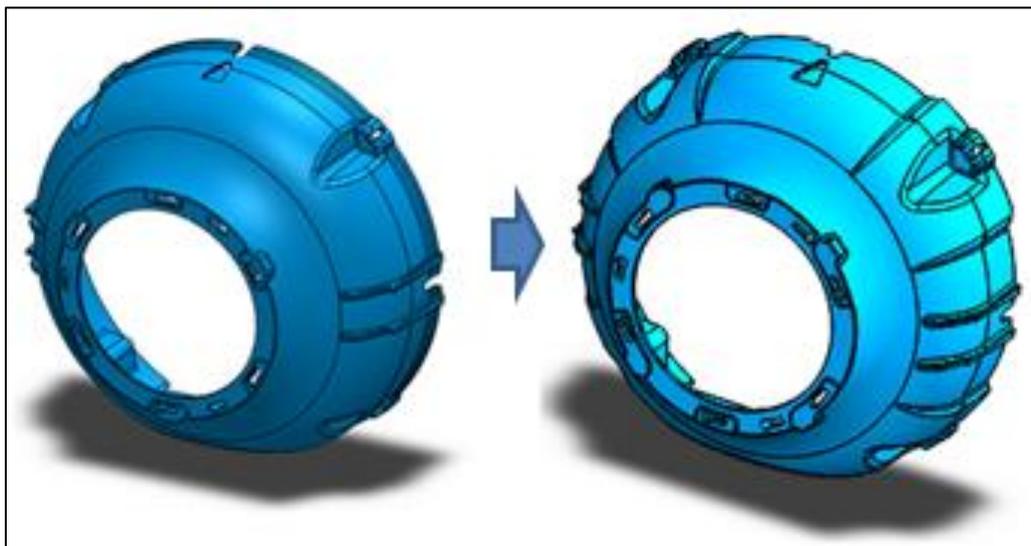
Fonte: O próprio autor (2016)

As interfaces identificadas no sistema foram:

- Espacial, que define o limite entre dois módulos prevendo possíveis colisões;
- De conexão, são os furos para parafusos na avaliação de interferências;
- De transferência, quando ocorrerem esforços de cargas e vazão de ar, de campo, quando passivo de temperatura e vibração;
- De ambiente, na avaliação de efeitos do ambiente que podem acarretar na corrosão dos componentes.

A avaliação de interfaces trouxe mudanças significativas no design da tampa defletora e alguns ajustes de folgas nas conexões entre os módulos. Como exemplo disso, na figura 20, mostra alterações no design resultantes da análise transferência de fluxo do ar.

Figura 20 - Alterações realizadas no design da tampa defletora.



Fonte: O próprio autor (2016)

Nessa fase foi possível medir os efeitos resultantes da modularização na avaliação das alterações propostas com a situação anterior. Essa avaliação se baseou em forma comparativa em relação ao conceito original.

Com a proposta desse trabalho em modularização da tampa defletora, foi mensurada a redução de componentes, conforme mostrado na Tabela 10. É possível verificar a redução de 87% das variações desses componentes junto com pequenas variações de módulos.

Na Tabela 10, foram indicadas as tampas defletoras originais mais usuais, com exceção da defletora para encoder flangeado que mostrou forte tendência de mercado futuro e também foi considerada como requisito no novo conceito. Também foi acrescentada a parte, os multiplicadores de opções que foram divididos para melhor entendimento na compilação de dados.

Os multiplicadores tabelados são: o material da grade, que recebe variações em sua matéria prima de aço carbono para aço inoxidável AISI 304, a opção sem pés, em sua concepção original tem forma circular em sua base, a opção com encoder, em vista que as grades são soldadas gera novas variações e a opção de base para medição de vibração que originalmente exige um recorte na defletora. Todas essas opções multiplicadoras são demonstradas na Figura 21.

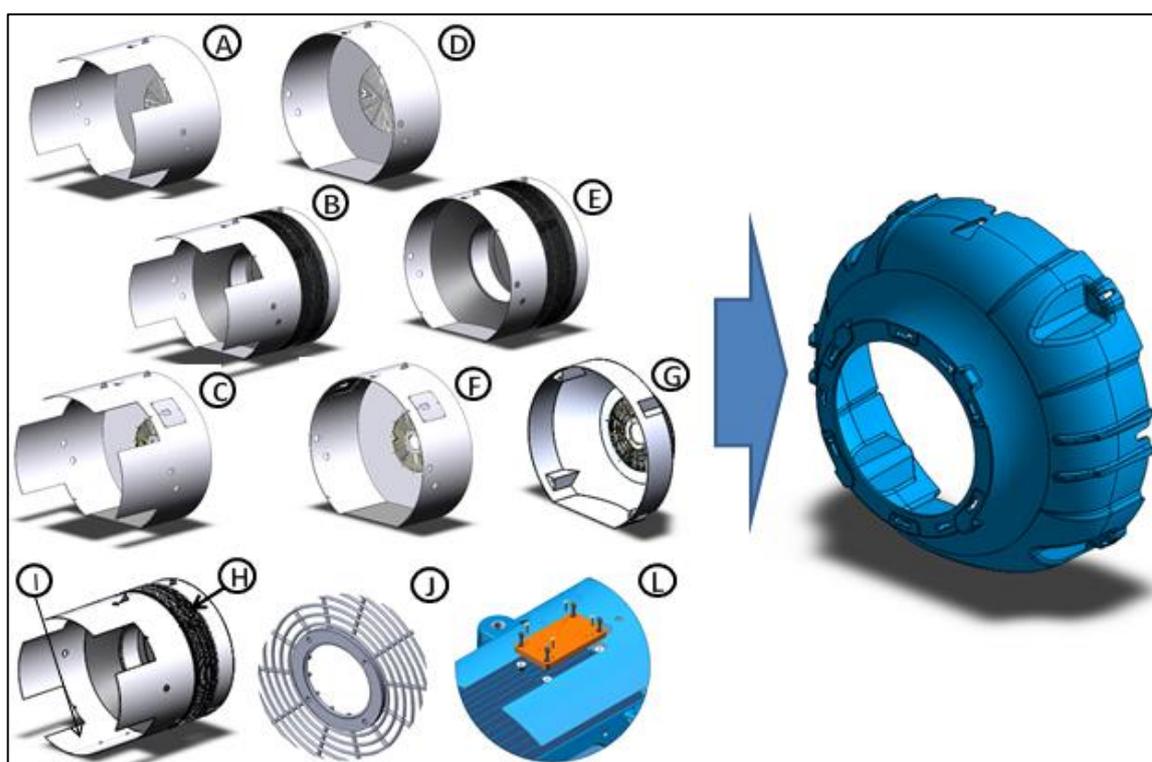
Tabela 10 - Número de variações no conceito original em relação ao novo conceito

Componentes	Ref.	Concepção Original	Concepção Nova
Defletoras TFVE	A	3	
Defletoras com atenuador de ruído	B	3	
Defletoras TFVF	C	1	
Defletoras TFVE para carenagem	D	3	2
Defletoras com atenuador para carenagem	E	3	
Defletoras TFVF para carenagem	F	1	
Defletoras TFVE para encoder flangeado	G	1	
Multiplicadores de opções			
Material da grade	H	15	8
Opção sem pés	I	15	-
Opção com Encoder	J	28	3
Opção com base de medição para vibração	L	30	-
Total		103	13

Fonte: O próprio autor (2016)

No design original as tampas defletoras são de construção soldada com a união de diversas partes, nesse trabalho foram consideradas como um único componente na medição de resultados.

Figura 21 - Variações de tampas defletoras originais e os seus multiplicadores



Fonte: O próprio autor (2016)

Foram avaliados comparativamente com o design original o comprimento e o peso final das tampas defletoras nas opções de refrigerações nas características TFVE, TFVE com atenuador de ruído e TFVF, conforme Tabela 11 e Figura 22.

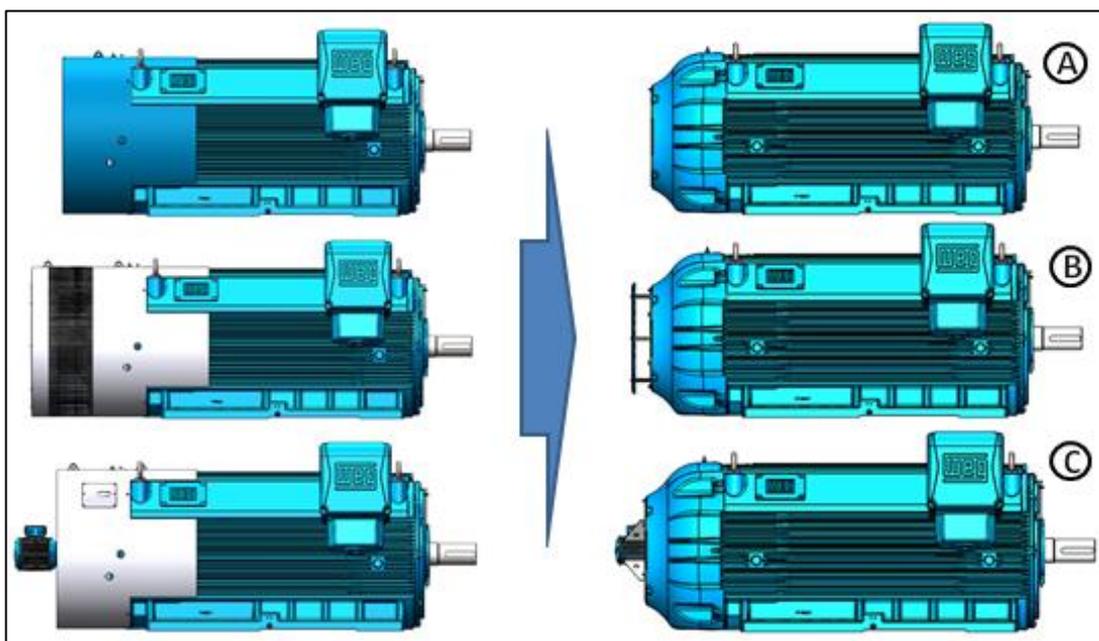
Tabela 11 – Comparativo de comprimento e massa das tampas defletoras

Características	Material	TFVE (A)	TFVE+Atenuador (B)	TFVF (C)
Comprimento total	Aço	2700 mm	3050 mm	3000 mm
	Ferro	2700 mm ■	2840 mm ▼	2900 mm ▼
Massa	Aço	75 kg	155 kg	215 kg
	Ferro	125 kg ▲	145 kg ▼	125 kg ▼

Fonte: O próprio autor (2016)

Na Figura 22, mostra o comparativo entre o design original com tampas defletoras de construção soldada e o design novo da tampa defletora modular em ferro fundido. Conforme a Tabela 11, o único ponto de desvantagem na modularização foi o aumento de massa na refrigeração TFVE.

Figura 22 - Comparativo entre o design original e novo das tampas defletoras

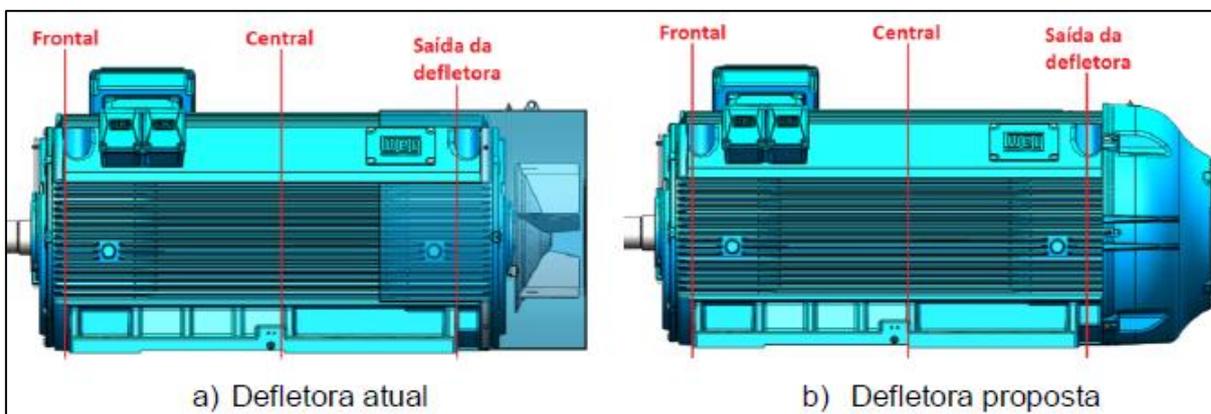


Fonte: O próprio autor (2016)

Foi avaliado também, através de simulações numéricas utilizando-se do *software* CFX visando identificar o impacto na alteração da tampa defletora proposta no desempenho térmico dos motores HGF 500. O desempenho térmico do motor dos motores está intimamente ligado à velocidade do ar imposta pelo ventilador uma vez que este parâmetro impacta diretamente no coeficiente de convecção.

Em vista disso, como critério de avaliação dos projetos, tomaram-se as velocidades do escoamento do ar ao longo da defletora, conforme ilustrado na Figura 23. De forma adicional também se observou o valor da potência consumida pelo sistema de ventilação representada nas perdas mecânicas do motor.

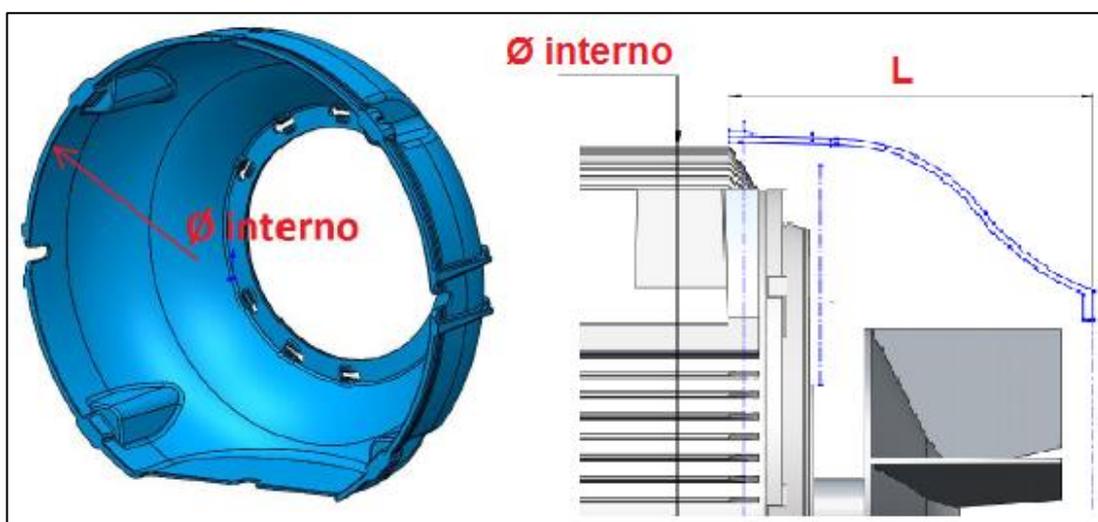
Figura 23 - Planos de avaliação



Fonte: O próprio autor (2016)

Para a verificação da nova defletora, optou-se por avaliar o diâmetro interno e o comprimento da mesma, identificando quais as medidas mais adequadas para o novo projeto. Conforme mostra a Figura 24 as medidas avaliadas, a medida “L” foi alterada ao longo das simulações conforme a variação do diâmetro interno de forma a evitar o choque da defletora com as aletas na carcaça.

Figura 24 - Dimensões avaliadas



Fonte: O próprio autor (2016)

A Tabela 12 mostra os diâmetros avaliados com as correspondentes cotas “L” adotadas.

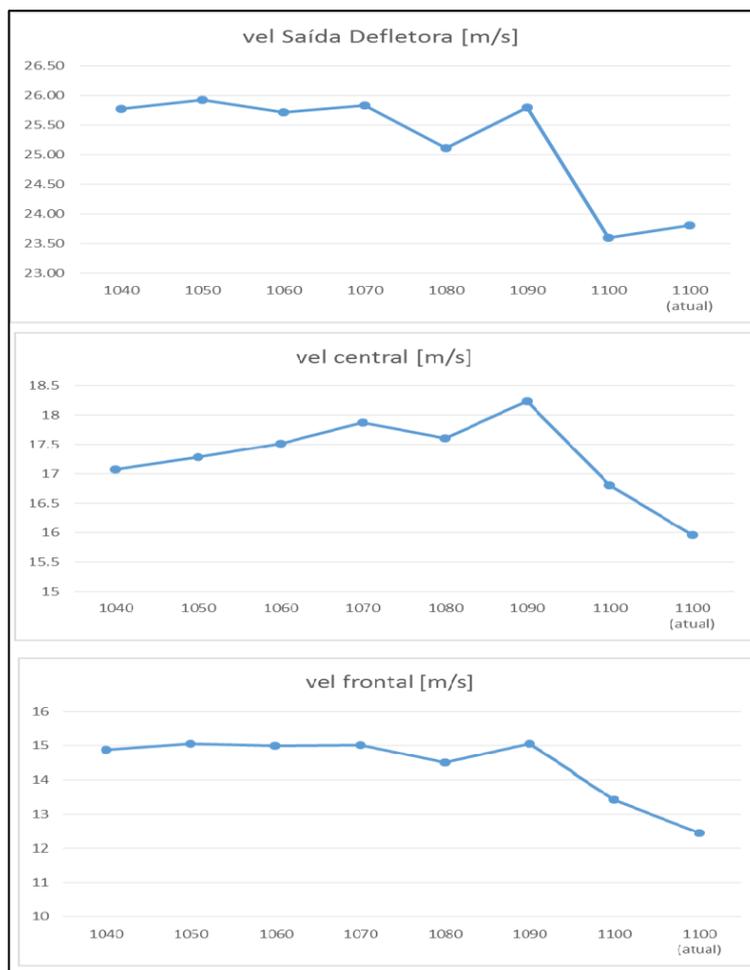
Tabela 12 - Dimensões avaliadas

L [mm]	Ø Interno da Defletora [mm]
445	1040
450	1050
450	1060
455	1070
455	1080
468	1090
468	1100
468	1100 (atual)

Fonte: O próprio autor (2016)

A Figura 25 mostra os resultados obtidos da velocidade média de ar na saída da tampa defletora, no plano central e no plano frontal para as configurações avaliadas.

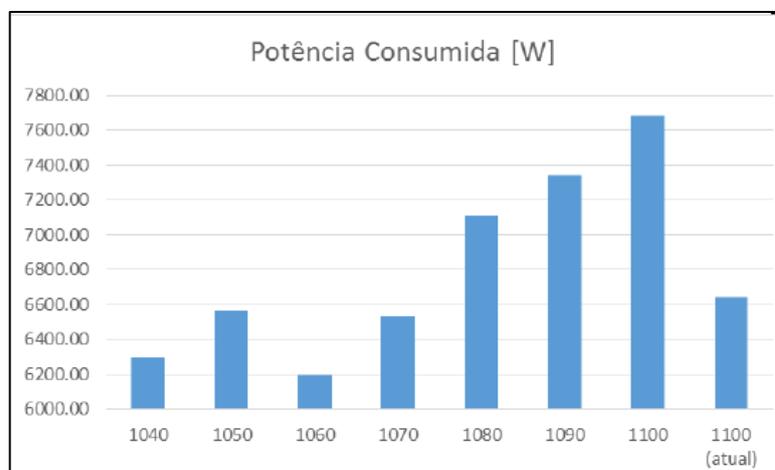
Figura 25 - Avaliação da velocidade média nos planos de saída, central e frontal



Fonte: O próprio autor (2016)

Conforme mostra a Figura 26, em relação à potência consumida pelo sistema de ventilação, destaca-se que não houve incrementos significativos em relação à situação atual.

Figura 26 - Potência consumida pelo sistema de ventilação

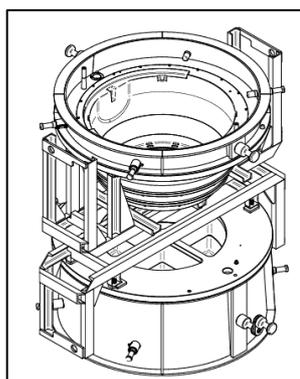


Fonte: O próprio autor (2016)

Após a realização das simulações e a comparação dos resultados com o projeto atual, foi adotado os valores 1070 mm para o diâmetro interno e 455 mm para o comprimento "L". Essa avaliação impactou diretamente no design do primeiro esboço do componente proposto conforme ilustrado na Figura 20.

O investimento nesse projeto para fabricação da tampa defletora proposta foi em um molde de alumínio de uma cavidade, conforme mostrado na figura 27. A análise econômica da modularização foi avaliada de forma comparativa, onde o novo conceito modularizado terá um custo reduzido de até 75% em relação ao conceito original e retorno sobre o capital investido em 6 meses.

Figura 27 – Molde em alumínio de uma cavidade



Fonte: O próprio autor (2016)

Com a avaliação da Matriz de Interfaces (MI) foi possível identificar, definir e descrever as interfaces entre os módulos. Esta avaliação deve ser cautelosa, tendo em vista a influência significativa sobre o produto final. Isto é um fator importante para seleção do conceito, permitindo realizar previsões econômicas e medir resultados sobre os efeitos da modularização de forma coerente já visualizando o produto final.

A MI completa o Mapa de Gerenciamento do Produto (PMM), que é um elemento importante para análise de conceitos. O PMM possibilita uma visão generalizada sobre os conceitos utilizados. O mapa foi formado pela combinação das três principais matrizes, a matriz QFD que transmite as necessidades do consumidor correlacionando com as propriedades do produto, a matriz DPM que relaciona as propriedades do produto com as soluções técnicas e a MIM que relaciona as soluções técnicas com as diretrizes de modularização.

O PMM fica ativo durante todo o projeto, podendo ser revisada com novas considerações vistas durante o processo conceitual. Nessa ocasião é necessário avaliar o seu impacto sobre as demais matrizes, como por exemplo, não atender alguma necessidade do consumidor.

O PMM contribui como histórico de projeto onde nem todos os projetistas estão familiarizados com todos os módulos. Também, mostra as razões das especificações, explicadas de uma forma lógica do que há por trás dos módulos individualmente e as suas interfaces, conforme pode ser visualizada no Quadro 6.

3.1.6 5° Fase: Otimizar módulos

Nesta etapa é gerada a documentação final com as especificações das fases vivenciadas pelo método MFD e as considerações relevantes de todos os módulos. Essas especificações são importantes como um nivelamento de informações, bem como dados de entrada na fase do projeto detalhado.

Como pode ser necessária a participação de mais projetistas que não participaram do processo do MFD, a documentação evidencia em longo prazo a lógica por trás de cada módulo, podendo assim os projetistas originais passar para outras atividades.

Essas especificações envolvem o Mapa de Gerenciamento do Produto (PMM) que apresenta de forma visível todas as conexões, necessidades do consumidor e soluções técnicas, a aplicação do *Design for Assembly* (DFA) com reduções e integração de partes para montagem, a análise e especificações de módulos bem como a avaliação de suas interfaces.

Esta documentação com as especificações e descrição dos módulos, é realizada através de uma planilha para preenchimento de dados na forma de formulários. Nelas estão a descrição de cada módulo, indicando a origem de cada especificação para conhecimento e suporte para as demais áreas funcionais da empresa sobre a modularização aplicada e suas razões, conforme mostrado nos Apêndices de A até G.

Com a documentação gerada, conforme Ericsson e Erixon (1999) os esforços podem ser concentrados no aperfeiçoamento dos módulos isoladamente, tais como os conceitos de Projeto para Manufatura e Montagem (DFMA) para obter maiores resultados a partir do conceito já gerado.

Finalizou-se a metodologia de aplicação do MFD no desenvolvimento da concepção de uma tampa defletora, agora serão avaliados e discutidos os resultados obtidos com a modularização.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a aplicação do método MFD foi possível identificar resultados significativos, na redução de itens, na redução de custos, na simplificação dos processos de manufatura e no atendimento ao consumidor. Os principais resultados deste trabalho serão discutidos a seguir.

4.1 Avaliação da Aplicação do MFD para Modularização

Para a empresa, o método é novo, o fato de não ter sido aplicado nenhum método na concepção de um produto modular contribuiu para seu interesse na aplicação do MFD.

Nesse contexto, este trabalho contribui tanto como uma ferramenta para o processo de Melhoria Incremental, bem como uma nova proposta no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), aumentando o nível de conhecimento e alcançando um novo nível como Processo de Transformação do PDP.

Na aplicação da modularização do produto, foco deste trabalho, considerações e resultados foram elaborados, os quais serão descritos a seguir.

4.2 Resultados da 1º Fase: Definir os Requisitos do Consumidor

A identificação dos requisitos dos clientes foi fundamental para justificar e dar início a este trabalho. Atender as diversas variações de projetos exige grandes intervenções da Engenharia de Produto na adaptação do conceito atual para o customizado. As necessidades frequentes dos consumidores ajudaram a criar um grande banco de dados da situação atual para a definição desses requisitos.

Nessa fase, foi necessário refletir mais sobre as necessidades dos consumidores para transformá-las em especificações para o produto. Essa avaliação desafiou o projeto, tendo em vista as necessidades especificadas, como a aparência, que é a primeira em grau de importância, seguida de outros fatores de grande importância como a qualidade, confiabilidade, custo do produto e o atendimento a várias especificações.

A tradução dessas necessidades em requisitos do produto foi cautelosa e a abordagem do QFD como ferramenta do MFD mostrou-se eficiente. Nos requisitos

do produto foi identificado o de modularização como relação da matriz QFD, e isso diferenciou toda a avaliação, reforçando a necessidade da aplicação do método MFD.

4.3 Resultados da 2° Fase: Criar e Selecionar Soluções Técnicas

Nessa fase, os requisitos do produto identificados na matriz QFD foram traduzidos sob um ponto de vista funcional para geração das soluções técnicas.

As correlações dessas soluções técnicas com os requisitos do produto foram mensuradas através da Matriz de Propriedades do Produto (DPM). Os requisitos do produto que obtiveram correlações mais fortes foram a modularização, que é um dos principais objetivos, o número de funções atribuídas, o material do componente, a capacidade de produção e o seu design. As informações geradas pela DPM são importantes como dados para formação de módulos na fase seguinte.

4.4 Resultados da 3° Fase: Gerar conceito de módulo

Nessa fase foram criados os conceitos dos módulos, através da Matriz de Indicação de Módulos (MIM), que auxilia na criação de uma arquitetura modular. Os grupos de módulos funcionais são criados de acordo com vantagens estratégicas para a empresa.

As razões estratégicas específicas para empresa são chamados de “*Module Drivers*”, os quais conduzem na formação de um módulo. Esses foram encontrados em estudos de casos e comprovados por pesquisadores, sendo assim colocados como diretrizes para modularização, para serem analisadas em correlação com as soluções técnicas.

A MIM também forneceu uma sistemática de avaliação de oportunidades de integração de múltiplas soluções técnicas em módulos e para gerar o conceito modular.

Com a combinação entre MIM e DPM, pode-se realizar a avaliação estatística de *Cluster*, gerado pelo *software* em forma de árvore, o dendograma identificou as similaridades dos candidatos a módulos. Essa avaliação não correspondeu diretamente aos módulos esperados, necessitando intervenção humana para definir os módulos, exigindo conhecimentos de engenharia, entendimento do cliente,

mercado e estratégia competitiva e uma visão de custo. A necessidade de intervenção humana deixa uma lacuna com métodos apropriados para isso.

4.5 Resultados da 4ª Fase: Avaliar conceitos da modularização

Na aplicação desse novo método surgem dúvidas em relação ao conceito desenvolvido no trabalho, tais como o retorno que trará para empresa, o quanto o novo design é melhor que o anterior e os impactos que terá sobre a produção. A avaliação de interfaces entre os módulos têm influência significativa sobre esses resultados por se aproximar do produto final.

Com a conclusão da Matriz de Interfaces (MI) foi possível completar o Mapa de Gestão do Produto (PMM) sendo que as informações contidas nele deixam o histórico com todos os parâmetros de projeto, fornecendo uma visão geral do MFD.

4.6 Resultados da 5ª Fase: Otimizar módulos

Nessa fase resultam nas especificações dos módulos o qual traz todas as considerações relevantes para cada módulo. A partir daqui a integridade dos módulos da fase do projeto conceitual está documentada para a passagem de fase do Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) para a fase do projeto detalhado.

A documentação dos módulos juntamente com os resultados da modularização e os seus investimentos e prazos de fabricação foram submetidos para aprovação ao Comitê de Controle de Mudanças (CCB), formado pelas gerências de diversas áreas. O investimento e a proposta aprovadas pelo comitê foi encaminhada para a aprovação da Diretoria, que emitiu autorização através da Ordem de Mudança de Engenharia para fabricação do ferramental.

Os projetos detalhados serão preparados para produção através do lote piloto. Nessa fase, a validação dos processos com o ferramental em forma definitiva e será submetido a testes antes da homologação do processo e lançamento do produto.

Serão avaliados nos testes: o ferramental na obtenção da tampa defletora, avaliação de montagem e as expectativas de desempenho térmico antes de seu lançamento no mercado.

Em vista disso, a avaliação do produto, ainda pode sofrer alterações pela equipe de projetos, no caso do surgimento de uma nova necessidade de aperfeiçoamento. A avaliação do impacto sobre o produto será realizado através das considerações especificadas dos módulos, que se torna um documento vivo e controlado preservando o histórico do produto, assim como o Mapa de Gerenciamento do Produto (PMM).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados apresentados neste trabalho, certifica-se que a aplicação da ferramenta de análise aqui fundamentada na metodologia de projeto, Desdobramento da Função Modular (MFD - *Modular Function Development*), foi aplicada para concepção de um projeto de uma tampa defletora na empresa fabricante de motores elétricos WEG S/A.

O trabalho teve início no entendimento de um processo de desenvolvimento de produto, com a finalidade de identificar uma estrutura coerente com empresa para embasamento e conexão dessa aplicação. Foram avaliadas as etapas de projetos desde o surgimento de uma necessidade até o processo de apoio pós-lançamento, quando a oportunidade de melhoria foi aplicada.

A aplicação do método MFD na empresa foi inovadora. Apesar de existirem indícios de modularidade, não havia um método conceitual utilizado durante o processo de desenvolvimento de produtos.

A abordagem desse projeto contribuiu na proposta de melhoria contínua através do Processo de Melhoria Incremental do Produto. Na empresa, esse trabalho trouxe uma nova proposta de desenvolvimento de produto no que diz respeito ao processo de transformação PDP, aumentando assim o seu nível de maturidade para a criação de novos produtos.

A escolha do produto para aplicação do MFD foi fundamental para obtenção dos resultados, por ter características não favoráveis estrategicamente para empresa em termos de processos fabris, técnicos, econômicos e de satisfação ao cliente.

A aplicação da metodologia do MFD mostrou uma série de vantagens:

- A estruturação do MFD no processo de desenvolvimento de produto leva a decisões racionais de produto;
- O produto modular é mais competitivo; com pequenas variações gera funções diferentes no atendimento ao cliente;

- A análise de interfaces permite ao projetista avaliar diversos pontos de possíveis problemas reduzindo as possibilidades de problemas no decorrer do ciclo de vida do produto;
- As especificações de módulos geradas trazem as considerações do produto, familiarizando os demais usuários com os requisitos adotados na modularização levando até as necessidades do consumidor;
- Permitir o pensamento criativo incentivando o trabalho em equipe na obtenção dos resultados, sendo trabalhados de forma simultânea por meio de projetos preliminares com base nas indicações do MFD;
- O MFD não substitui projetos consagrados como DFMA e outros do DFX, mas sim os complementa;
- A medição fácil de resultados na substituição de designs originais estimulando a criatividade em obtê-los.

Além da aplicação do MFD no processo de concepção do produto vale reforçar, nos resultados, que o desenvolvimento de uma nova defletora em ferro fundido substitui a original construída em aço. Além disso, atenderão diversas formas construtivas, opções de acessórios, isenta de usinagens, em um só item de fundição.

A nova defletora para a linha de motores trifásicos HGF, na carcaça ABNT 500, será a defletora já produzida pela empresa, desafiando assim os processos metalúrgicos e de engenharia, não comprometendo as necessidades técnicas do produto.

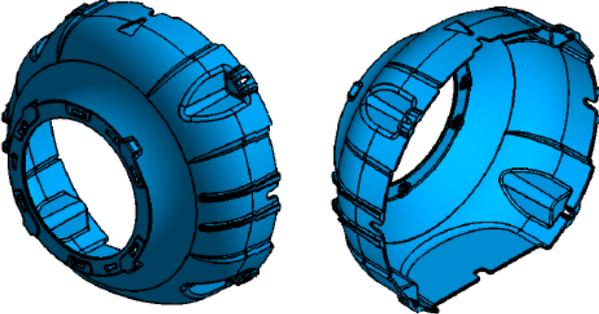
Por fim, esse trabalho atingiu seu objetivo na aplicação do MFD no conceito de uma tampa defletora, trazendo ganhos significativos em termos de processo de desenvolvimento de produto, solução mais eficiente, redução de custos e lançamento de um produto mais atrativo para o mercado. Vale salientar outras barreiras tecnológicas neste projeto ao atender as espessuras mínimas, a regularidade geométrica na garantia para as folgas das interfaces e as expectativas previstas nas avaliações numéricas (velocidade do ar, potência consumida e estrutural). Portanto, deixa-se aqui a proposta de continuação desse trabalho na aplicação do método MFD em outros componentes, para ampliação dos resultados.

REFERÊNCIAS

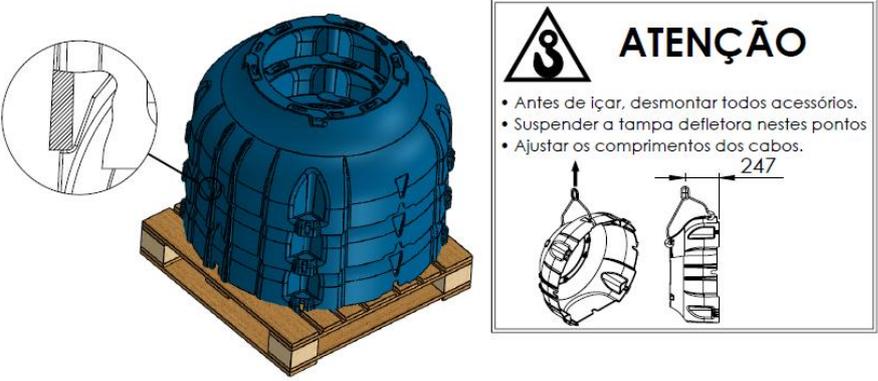
- ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006
- BACK, Nelson et al. **Projeto integrado de produtos**. Planejamento, concepção e modelagem, 2008.
- BATAGLIN, Marcelo. **O método do desdobramento da função modular no projeto e manufatura sustentável de produtos: aplicação em uma empresa do setor metal-mecânico**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.
- BRALLA, James G. **Design for manufacturability handbook**. 2nd edition 1998.
- BRALLA, James G. **Design for excellence**. McGraw-Hill Professional Publishing, 1996.
- CHENG L. C.; MELO FILHO L. D. R. QFD: **desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Editora Blucher, 539 p., 2007.
- ERIXON, O. G.; ERICSSON, A. **Controlling design variants**. Society of manufacturing engineers, 1999.
- FLEIG, Alexandre Malezzan et al. **Sistematização da concepção de produtos modulares: um estudo de caso na indústria de refrigeração**. 2008.
- HUANG, Chun-Che; KUSIAK, Andrew. Modularity in design of products and systems. **Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on**, v. 28, n. 1, p. 66-77, 1998.
- KUBOTA, Flávio Issao; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **MODULARIDADE E DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE: UMA ANÁLISE TEÓRICA DE PUBLICAÇÕES**. *Revista Gestão Industrial*, v. 9, n. 3, 2013.
- NILSSON, Per, et al. The chart of modular function deployment. **MODULARITY IN USE-EXPERIENCES FROM FIVE COMPANIES**, 1998.
- PAHL, Gerhard et al. **Projeto na engenharia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.;

SCALICE, Régis Kovacs et al. **Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e beneficiamento de mexilhões**. 2003.

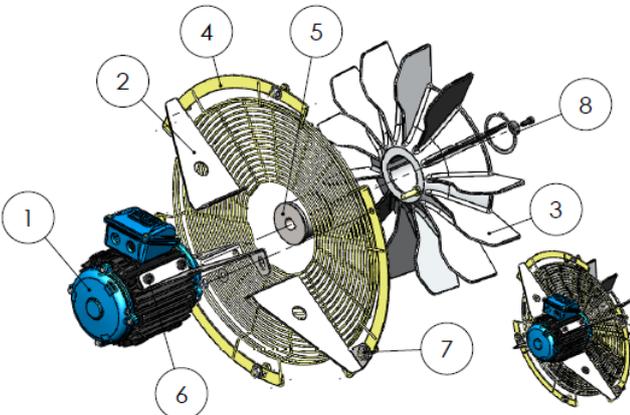
APÊNDICE A - Módulo A: Defletora TFVE / TFVF

Módulo: Defletora TFVE / TFVF	
Objetivos: Direcionar o ar gerado pelos ventiladores sobre as aletas motor. Deve atender a refrigeração totalmente fechada ventilação externa (TFVE) e totalmente fechada ventilação forçada (TFVF) para as diferentes formas construtivas e montagem dos acessórios do motor.	
Desenho do módulo:	
	
Soluções Técnicas (MIM): Forma aerodinâmica. Defletora em ferro fundido. Aumentar a espessura do material. Furo de entrada de graxa único. Furos de fixação sem usinagem. Molde simplificado. Orelhas de fixação robustas. Com e sem pés na mesma defletora. Afunilamento da entrada de ar.	Redução dos espaços de turbulência. Alojamento de todos os ventiladores. Comprimento padronizado para as funções de carenagem. Preparada para base de medição de vibração. Furação padronizada para os acessórios. Montagem simplificada de parafusos e porcas.
Diretrizes de Modularização (MIM): <i>Carryover</i> (Acumulo de Conhecimento). Evolução tecnológica. Alterações de produtos planejadas. Estilo. Unidade comum.	Processo e/ou organização. Teste em separado. Atualização. Reciclagem.
Interfaces (MI): Movimentação e identificação. Sistema TFVF. Grade removível. Grade removível Encoders <i>Hollow Shaft</i> . Defletora TFVE para encoder flangeado. Sistema de proteção e atenuação de ruído.	Tipos de Interfaces: Espacial, conexão e transferência. Espacial, conexão, transferência, campo e ambiente. Conexão, transferência e ambiente. Espacial, conexão, transferência e ambiente. Espacial, conexão, transferência, campo e ambiente. Conexão, transferência, campo e ambiente.
Considerar (QFD - Propriedades do Produto): Modularização. Eficiência no escoamento de ar. Nível de ruído. Design WEG que transmita robustez. Consumo de energia. Material do componente. Resistência mecânica. Preço de custo.	Folgas entre as partes. Nº de funções oferecidas. Rigidez estrutural. Acabamento. Segurança.

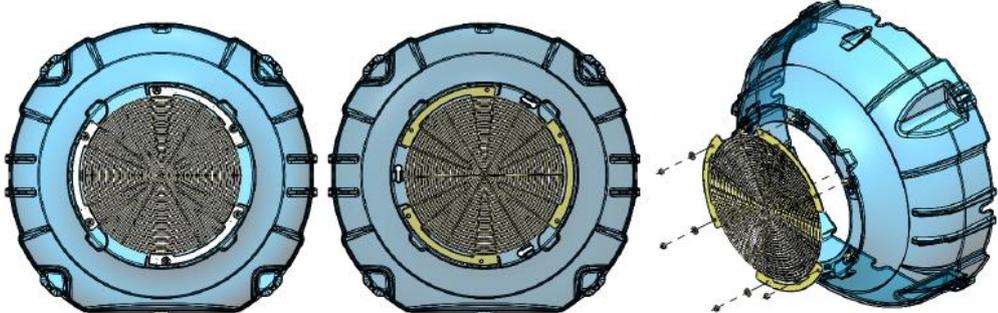
APÊNDICE B - Módulo B: Movimentação e identificação

Módulo: Movimentação e identificação	
Objetivos: Identificação dos pontos de içar e as condições para elevação e movimentação da tampa defletora através do componente etiqueta. Nervuras laterais para sobreposição de até três defletoras de forma segura na movimentação interna, facilitando o empilhamento alinhado e livre verticalmente.	
Desenho do módulo:	
	
Soluções Técnicas (MIM): Sistema de empilhamento para transporte interno. Içamento padronizado. Etiqueta adesiva de movimentação.	
Diretrizes de Modularização (MIM): <i>Carryover</i> (Acumulo de Conhecimento). Diferentes especificações técnicas. Estilo. Unidade comum. Teste em separado.	
Atualização.	
Interfaces (MI): Defletora TFVE/TFVF Sistema TFVF. Grade removível. Grade removível Encoders <i>Hollow Shaft</i> . Defletora TFVE para encoder flangeado. Sistema de proteção e atenuação de ruído.	Tipos de Interfaces: Espacial, conexão e transferência. Espacial, conexão e transferência. Transferência. Transferência. Espacial, conexão e transferência. Transferência.
Considerar (QFD - Propriedades do Produto): Modularização. Design WEG que transmita robustez. Consumo de energia. Material do componente. Resistência mecânica. Preço de custo.	Capacidade de produção Nº de funções oferecidas. Elevação e movimentação. Facilidade de uso. Praticidade de uso. Segurança.

APÊNDICE C - Módulo C: Sistema TFVF

Módulo: Sistema TFVF																					
Objetivos: Refrigerar o motor principal com sistema de ventilação independente. Deve atender as formas construtivas e permitir a desmontagem sem retirar a retirada da tampa defletora.																					
Desenho do módulo:																					
 <table border="1" data-bbox="981 548 1332 840"> <thead> <tr> <th colspan="2">Módulo C</th> </tr> <tr> <th>pos.</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Motor ventilação</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Suporte do motor</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Ventilador</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Grade</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Bucha</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Fixação do motor</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Fixação do suporte</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Fixação do ventilador</td> </tr> </tbody> </table>		Módulo C		pos.	Descrição	1	Motor ventilação	2	Suporte do motor	3	Ventilador	4	Grade	5	Bucha	6	Fixação do motor	7	Fixação do suporte	8	Fixação do ventilador
Módulo C																					
pos.	Descrição																				
1	Motor ventilação																				
2	Suporte do motor																				
3	Ventilador																				
4	Grade																				
5	Bucha																				
6	Fixação do motor																				
7	Fixação do suporte																				
8	Fixação do ventilador																				
Soluções Técnicas (MIM): Suporte de fixação padronizado para motor. Padronizar da ventilação TFVF.																					
Diretrizes de Modularização (MIM): Evolução tecnológica. Alterações de produtos planejadas. Diferentes especificações técnicas. Estilo. Unidade comum. Processo e/ou organização.	Teste em separado. Compra de produtos prontos. Serviço e manutenção. Atualização. Reciclagem.																				
Interfaces (MI): Defletora TFVE/TFVF. Movimentação e identificação. Grade removível.	Tipos de Interfaces: Espacial, conexão, transferência, campo e ambiente. Espacial, conexão e transferência. Espacial, conexão, transferência, campo e ambiente.																				
Considerar (QFD - Propriedades do Produto): Modularização. Eficiência no escoamento de ar. Design WEG que transmita robustez. Consumo de energia. Material do componente. Preço de custo. Capacidade de produção. Tamanho da defletora. Peso dos componentes.	Folgas entre as partes. Nº de funções oferecidas. Rigidez estrutural. Facilidade de uso. Praticidade de uso. Reciclagem.																				

APÊNDICE D - Módulo D: Grade removível

Módulo: Grade removível	
Objetivos: Impedir a passagem de objetos maiores que 5 mm e acesso das mãos ao ventilador em funcionamento. Deve permitir o posicionamento para obstrução dos furos de fixação sobressalentes quando não utilizados, atender a montagem combinada com o disco de proteção, atender os diferentes tipos de materiais com a mesma geometria e permitir a desmontagem sem retirar a tampa defletora.	
Desenho do módulo:	
	
Soluções Técnicas (MIM): Grade removível SAE 1020 e AISI304	
Diretrizes de Modularização (MIM): Carryover (Acumulo de Conhecimento). Evolução tecnológica. Alterações de produtos planejadas. Estilo. Processo e/ou organização. Teste em separado.	Compra de produtos prontos. Serviço e manutenção. Atualização. Reciclagem.
Interfaces (MI): Defletora TFVE/TFVF. Movimentação e identificação. Sistema TFVF. Sistema de proteção e atenuação de ruído.	Tipos de Interfaces: Conexão, transferência e ambiente. Transferência. Espacial, conexão, transferência, campo e ambiente. Espacial e transferência.
Considerar (QFD - Propriedades do Produto): Modularização. Eficiência no escoamento de ar. Design WEG que transmita robustez. Material do componente. Preço de custo. Capacidade de produção.	Folgas entre as partes. Nº de funções oferecidas. Facilidade de uso. Praticidade de uso. Reciclagem. Segurança.

APÊNDICE E - Módulo E: Grade removível para encoders hollow shaft

Módulo: Grade removível para encoders <i>hollow shaft</i> .																			
Objetivos: Atender as características da grade removível e permitir fixação do sistema de encoders <i>hollow shaft</i> . A grade deve ter fixação padronizada para as tampa de proteções, permitir a desmontagem sem a retirada da grade e passagem de eixo com diâmetro padronizado.																			
Desenho do módulo:																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Módulo E</th> </tr> <tr> <th>Pos.</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Grade</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Encoder</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Eixo</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Proteção encoder</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Fixação da grade</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Fixação da proteção do encoder</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Fixação do encoder</td> </tr> </tbody> </table>	Módulo E		Pos.	Descrição	1	Grade	2	Encoder	3	Eixo	4	Proteção encoder	5	Fixação da grade	6	Fixação da proteção do encoder	7	Fixação do encoder	
Módulo E																			
Pos.	Descrição																		
1	Grade																		
2	Encoder																		
3	Eixo																		
4	Proteção encoder																		
5	Fixação da grade																		
6	Fixação da proteção do encoder																		
7	Fixação do encoder																		
Soluções Técnicas (MIM): Grade com fixação para encoder.																			
Diretrizes de Modularização (MIM): Evolução tecnológica. Alterações de produtos planejadas. Estilo. Unidade comum. Processo e/ou organização. Teste em separado.	Compra de produtos prontos. Serviço e manutenção. Atualização. Reciclagem.																		
Interfaces (MI): Defletora TFVE/TFVF. Movimentação e identificação. Sistema de proteção e atenuação de ruído.	Tipos de Interfaces: Espacial, conexão, transferência e ambiente. Transferência. Espacial e transferência.																		
Considerar (QFD - Propriedades do Produto): Modularização. Eficiência no escoamento de ar. Design WEG que transmita robustez. Material do componente. Preço de custo. Capacidade de produção.	Folgas entre as partes. Nº de funções oferecidas. Facilidade de uso. Praticidade de uso. Reciclagem. Segurança.																		

APÊNDICE F - Módulo F: Defletora TFVE para encoder flangeado

Módulo: Defletora TFVE para encoder flangeado.	
Objetivos: Direcionar o ar gerado pelos ventiladores sobre as aletas motor. Modelo com sistema de intercambiável para fixação axial com acréscimo de sobremedida para usinagem interna, controles geométricos das interfaces dos componentes (carcaça – defletora – flange – encoder), bolachas de fixação para placa de 4 pontos, usinagem para grade flangeada e grade com fixação para encoder.	
Desenho do módulo:	
Soluções Técnicas (MIM): Sistema de fixação para encoders flangeados. Bolachas para castanhas e sobremedidas de usinagem.	
Diretrizes de Modularização (MIM): Carryover (Acumulo de Conhecimento). Evolução tecnológica. Alterações de produtos planejadas. Estilo. Unidade comum.	Processo e/ou organização. Teste em separado. Atualização. Reciclagem.
Interfaces (MI): Defletora TFVE/TFVF Movimentação e identificação. Sistema de proteção e atenuação de ruído.	Tipos de Interfaces: Espacial, conexão, transferência, campo e ambiente. Espacial, conexão e transferência. Conexão, transferência, campo e ambiente.
Considerar (QFD - Propriedades do Produto): Modularização. Eficiência no escoamento de ar. Design WEG que transmita robustez. Consumo de energia. Material do componente. Preço de custo. Capacidade de produção. Tamanho da defletora. Peso dos componentes.	Folgas entre as partes. Nº de funções oferecidas. Rigidez estrutural. Facilidade de uso. Praticidade de uso. Reciclagem. Segurança.

APÊNDICE G - Módulo G: Sistema de proteção e atenuação de ruído

Módulo: Sistema de proteção e atenuação de ruído.													
Objetivos: Proteger ventilador contra partículas externas na montagem vertical e atenuar o ruído com a graduação do afastamento da entrada de ar da defletora. Deve ser considerado a desmontagem da defletora e grade.													
Desenho do módulo:													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Módulo G</th> </tr> <tr> <th>Pos.</th> <th>Descrição</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Disco de proteção</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Prolongador</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Fixação do disco e prolongador</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Fixação do prolongador</td> </tr> </tbody> </table>	Módulo G		Pos.	Descrição	1	Disco de proteção	2	Prolongador	3	Fixação do disco e prolongador	4	Fixação do prolongador	
Módulo G													
Pos.	Descrição												
1	Disco de proteção												
2	Prolongador												
3	Fixação do disco e prolongador												
4	Fixação do prolongador												
Soluções Técnicas (MIM): Grade com fixação para encoder.													
Diretrizes de Modularização (MIM): Evolução tecnológica. Alterações de produtos planejadas. Estilo. Unidade comum. Processo e/ou organização. Teste em separado.	Serviço e manutenção.												
Interfaces (MI): Defletora TFVE/TFVF. Movimentação e identificação. Grade removível. Grade removível p/Encoders <i>Hollow Shaft</i> . Defletora TFVE para encoder flangeado.	Tipos de Interfaces: Conexão, transferência, campo e ambiente. Transferência. Espacial e transferência Espacial e transferência Conexão, transferência, campo e ambiente.												
Considerar (QFD - Propriedades do Produto): Modularização. Eficiência no escoamento de ar. Design WEG que transmita robustez. Material do componente. Preço de custo. Capacidade de produção.	Folgas entre as partes. Nº de funções oferecidas. Facilidade de uso. Praticidade de uso. Reciclagem. Segurança.												

ANEXO A – Melhoria Incremental x Processo de Transformação

MELHORIA INCREMENTAL	PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO
Entender motivação das melhorias	Entender motivação das melhorias
Levantar problemas e oportunidades	Avaliar os últimos conhecimentos
Coletar e filtrar propostas de melhorias	Avaliar a estratégia da empresa
Consolidar propostas, problemas e oportunidades	Consolidar a estratégia de transformação do PDP
Analisar a Situação Atual	Analisar a Situação Atual
Identificar causas dos problemas	Diagnóstico e maturidade atual
Avaliar viabilidade das oportunidades	Criar a visão estratégica
Avaliar a eficiência e a eficácia das propostas	Definir política de transformação
Avaliar o impacto da melhoria nas áreas de conhecimentos e em outros processos	Definir estratégias e objetivos da transformação
Definir Ações	Definir Ações
Aprovar proposta de melhoria	Selecionar e adotar modelo de referência
Identificar as soluções alternativas	Definir nível de maturidade
Definir conjuntos de ações para a melhoria	Definir as políticas para implantação dos processos
Priorizar e avaliar a viabilidade ações	Definir os projetos de transformação
Implantar	Implantar
Planejar o projeto de melhoria	Planejar o projeto de melhoria
Prover recursos e pessoal para a melhoria	Prover recursos e pessoal para a melhoria
Atribuir responsabilidades para melhoria	Atribuir responsabilidades para melhoria
Treinar pessoas para a melhoria	Treinar pessoas para a melhoria
Envolver interessados na melhoria	Envolver interessados na melhoria
Definir critérios de avaliação da melhoria	Definir critérios de avaliação da melhoria
Definir requisitos	Definir requisitos
Adotar referência	Analisar o nível do modelo de referência adotado
Levantar , definir e aprovar requisitos	Levantar , definir e aprovar requisitos
Desenhar a solução	Desenhar a solução
	Definir o ciclo de vida do processo
	Adaptar o modelo de referência do processo
Atualizar o desenho do processo	Desenhar o processo
	Definir as premissas do processo
Avaliar o desenho do processo	Avaliar o desenho do processo
Definir os novos indicadores do processo	Definir os novos indicadores do processo
Executar melhoria	
Desenvolver a solução	Desenvolver a solução
Definir políticas para operação das melhorias no processo	Definir políticas para operação das melhorias no processo no nível selecionado
Atualizar a documentação do processo	Documentar o processo
Prover os recursos para operar as melhorias	Prover os recursos para operar as melhorias
Treinar as pessoas para operar as melhorias	Treinar as pessoas para operar o processo
	Treinar e coletar propostas de melhoria do processo. Otimizar o processo.
Liberar solução	Liberar solução
Oficialmente e liberar operação das melhorias do processo	Oficialmente e liberar operação processo
Divulgar as melhorias do processo	Divulgar o processo
Documentar as melhorias práticas	Documentar as melhorias práticas

Fonte: adaptado de Rozenfeld et al., 2006