

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANDRIGO LOTIN

**PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM APLICADO AO PROJETO DE
PORTAS GIRATÓRIAS**

**CAXIAS DO SUL
2014**

ANDRIGO LOTIN

**PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM APLICADO AO PROJETO DE
PORTAS GIRATÓRIAS**

Relatório de Estágio, apresentado para
aprovação na disciplina de Estágio II
(MEC0258) da Universidade de Caxias do Sul.

Supervisor: Prof. Marcos Alexandre Luciano,
Dr. Eng.

**CAXIAS DO SUL
2014**

ANDRIGO LOTIN

**PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM APLICADO AO PROJETO DE
PORTAS GIRATÓRIAS**

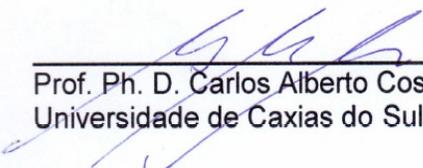
Relatório de Estágio, apresentado para
aprovação na disciplina de Estágio II
(MEC0258) da Universidade de Caxias do Sul.

Aprovado em 14 de Novembro de 2014

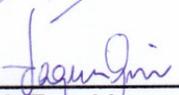
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Eng. Marcos Alexandre Luciano
Universidade de Caxias do Sul – UCS



Prof. Ph. D. Carlos Alberto Costa
Universidade de Caxias do Sul – UCS



Prof. M. Eng. Vagner Grisson
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico este trabalho a minha esposa
Alexandra por me acompanhar nestes
anos de estudos e junto a meus pais
incentivar e valorizar meu empenho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo conhecimento que fui capaz de obter nestes anos de estudo.

Aos meus pais João e Carmen Lotin e minha irmã Letícia, por acreditarem em meus objetivos e comigo alcançá-los.

A minha esposa Alexandra M. Matté Lotin que junto a mim abdicou de momentos e fez escolhas para que esta etapa em nossas vidas fosse vencida.

Ao Prof. Marcos Alexandre Luciano, pela dedicação em suas orientações durante o desenvolvimento deste trabalho, exigindo o máximo de meu empenho e colaborando com minhas ideias.

A Empresa IECO na pessoa do Sr. José Carlos Cassini, que oportunizou o desenvolvimento deste trabalho em suas dependências e dispensou recursos para a sua realização.

“A ciência explica o que é. A engenharia cria o que nunca foi.”

Joseph E. Shigley

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o projeto e desenvolvimento de produtos ou componentes mecânicos, por meio da utilização integrada das ferramentas de projeto para manufatura e montagem (DFMA) e os conceitos da filosofia Poka-Yoke. Partindo de uma pesquisa na literatura contemporânea foi adaptado a um fluxo de trabalho o método das três questões defendido pelos autores Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002), para orientar o projeto de um mecanismo de controle da rotação, amortecimento e bloqueio de uma porta giratória com detector de metais (PGDM). Um fluxo de trabalho foi aplicado com o intuito de simplificar as etapas de fabricação e montagem da PGDM, aliado a uma redução de componentes, sem que o atual projeto tenha seus requisitos funcionais e de qualidade alterados. Apresentando índices de 35% na redução de componentes fabricados e por volta de 12% no custo da fabricação do mecanismo, o método utilizado apresentou resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Projeto de Produto, Projeto para manufatura e montagem, Poka-Yoke, Porta Giratória com Detector de Metais, PGDM.

ABSTRACT

This paper aims the design and development of products or mechanical components, through the integrated use of design tools for manufacturing and assembly (DFMA) and the concepts of Poka-Yoke philosophy. From a research in contemporary literature has been adapted to a workflow method of the three issues advocated by the authors Boothroyd, Dewhurst and Knight (2002), to guide the design of a rotation control mechanism, cushioning and blocking a revolving door with metal detector (PGDM). A workflow was applied in order to simplify the steps of manufacturing and assembly of PGDM, combined with a reduction of components, without the current project has changed its functional and quality requirements. Presenting rates of 35% reduction of manufactured components and around 12% in the cost of manufacture of the engine, the method showed satisfactory results.

Keywords: Product design, design for manufacturing and assembly, Poka Yoke, Revolving Door with Metal Detectors, PGDM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Influência sobre o custo do produto devido às tomadas de decisão referentes ao projeto, material, mão-de-obra e instalações.....	21
Figura 2 - Típicos passos praticados para projetos usando o método DFMA.....	23
Figura 3 - Esquemática das funções dos dispositivos Poka Yoke.....	24
Figura 4 - Componente Poka Yoke	27
Figura 5 - PGDM modelo Cylinder 2008 IECO.....	29
Figura 6 - Mecanismo IECO 2009_R01, vista de topo.	30
Figura 7 - Mecanismo IECO 2009_R01, vista explodida.....	30
Figura 8 - Sistema de pré-posicionamento do mecanismo IECO 2009_R01	31
Figura 9 - Componentes X participação no custo.....	40
Figura 10 - Came 6 posições X came 3 posições	41
Figura 11 - Função do came projetado.....	42
Figura 12 - Proposta de projeto para o conjunto da base	44
Figura 13 - Proposta para os gatilhos.....	45
Figura 14 - Conjunto do gatilho do amortecimento com desgaste.	47
Figura 15 - Representação gráfica das forças no mecanismo.	47
Figura 16 - Detalhamento do suporte para o solenóide.	49
Figura 17 - Detalhamento do conjunto do gatilho de amortecimento.	50
Figura 18 - Quantidade de Componentes do Projeto Atual e da Proposta	51
Figura 19 - Quantidade de Processos do Projeto Inicial e da Proposta.....	51
Figura 20 - Possibilidade de melhoria no braço guia.....	52
Figura 21 - Possibilidade de melhoria no gatilho de antiretorno.....	53
Figura 22 - Protótipo para o conjunto da base.	54
Figura 23 - Protótipo dos gatilhos de amortecimento e antiretorno.....	54
Figura 24 - Dispositivo de testes para mecanismos.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Objetivos de algumas ferramentas de DFX.....	18
Tabela 2 - Resumo dos resultados finais obtidos no reprojeto do horímetro.	23
Tabela 3 - Detalhamento do sistema came 6 posições.....	38
Tabela 4 - Detalhamento do conjunto da base do mecanismo	39
Tabela 5 - Detalhamento dos conjuntos dos gatilhos.....	40
Tabela 6 - Detalhamento da proposta de came 3 posições.	43
Tabela 7 - Detalhamento da proposta do conjunto da base.....	45
Tabela 8 - Detalhamento da proposta do conjunto dos gatilhos	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Procedimento geral de análise de valor, segundo a DIN 69910.	17
Quadro 2 - Exemplos aplicativos da utilização de dispositivos Poka Yoke.	26
Quadro 3 - Sequência de imagens representando a atuação dos gatilhos.	32
Quadro 4 - Fluxo de trabalho para o reprojeto do Mecanismo 2009_R01	34
Quadro 5 - Questões segundo o método de projeto.	49
Quadro 6 - Resultado do teste do mecanismo 2014.	55

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	FERRAMENTAS PARA PROJETOS DE PRODUTOS	17
2.2	PROJETO PARA MANUFATURA (DFM).....	18
2.3	PROJETO PARA MONTAGEM (DFA)	19
2.4	PROJETOS PARA MANUFATURA E MONTAGEM EM UMA ABORDAGEM CONJUNTA (DFMA)	20
2.5	A FILOSOFIA POKA-YOKE	24
2.6	DFMA x POKA-YOKE	26
3	APRESENTAÇÃO DO PROJETO ATUAL	29
3.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UMA PGDM E SEU MECANISMO	29
3.2	REQUISITOS FUNCIONAIS DO MECANISMO IECO 2009_R01 RELACIONADO COM SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES.....	31
3.3	PONTOS FORTES E PONTOS FRACOS DO MECANISMO RELACIONADO COM O PRODUTO PGDM.....	33
3.4	ETAPAS DO TRABALHO.....	34
3.5	MÉTODO PARA SIMPLIFICAÇÃO DO PRODUTO	35
4	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	37
4.1	AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DO MECANISMO 2009_R01	37
4.1.1	Sistema Came de 6 posições	38
4.1.2	Conjunto da base	39
4.1.3	Conjunto dos gatilhos	39
4.1.4	Representatividade dos componentes selecionados.....	40
4.2	VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DO COMPONENTE E PROPOSTA DE PROJETO	41
4.2.1	Proposta para o conjunto de came 6 posições.....	41
4.2.2	Proposta para o conjunto da base	43
4.2.3	Proposta para o conjunto dos gatilhos.....	45
4.2.4	Proposta para redução de esforços	46
4.3	PROJETO PARA DFMA E POKA-YOKE	48

4.4	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E PROTÓTIPO.....	50
4.4.1	Análise dos resultados	50
4.4.2	Protótipo e Testes	52
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO PARA ORIENTAÇÃO DE SOLDAGEM	60

1. INTRODUÇÃO

A indústria contemporânea se depara com desafios que vão além do tradicional desenvolvimento de um produto baseado em requisitos funcionais. As empresas estão disputando nichos de mercado cada vez mais específicos, onde questões como a interação entre diferentes tecnologias torna a produção de um produto muito complexa. Entretanto, esta complexidade não deve se traduzir em custos, pois pode inviabilizar sua competitividade no mercado.

Um bom exemplo é quando se analisam projetos na área de controle de acesso e portas giratórias. A engenharia envolvida no desenvolvimento destes equipamentos pode mesclar áreas como a eletrônica com a mecânica, ou ainda a automação com a elétrica.

A particularidade deste ramo de negócios leva a uma reflexão sobre quão complexo é o projeto e a construção de um produto com estas características. Portanto, a revisão do projeto de um mecanismo responsável pelo giro, amortecimento e travamento de uma porta giratória torna-se uma oportunidade para aplicar ferramentas de projetos como, o *DFM – Design For Manufacturing* e o *DFA – Design For Assembly*, com o intuito de reduzir a quantidade de componentes e simplificar sua fabricação e montagem final.

Rozenfeld *et al.* (2006) diz que o DFM é uma abordagem que enfatiza aspectos da manufatura, voltados a conformação mecânica e a usinagem, onde a aplicação de conceitos que reduzam a utilização de máquinas é um fator crucial às empresas.

A segunda abordagem é o DFA, que consiste em obter e analisar informações sobre as várias alternativas de montagem de componentes no desenvolvimento do produto.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Diante da necessidade de tornar um produto competitivo e de fácil fabricação, a quantidade de componentes que integram seu projeto ou ainda sua complexidade de montagem, são pontos que merecem atenção no momento de seu desenvolvimento. Isso porque controlar a fabricação de cada componente e sua montagem exigem tempo e recursos que podem inviabilizar seu custo, em um curto

intervalo de tempo.

Assim a revisão do projeto do mecanismo de rotação e travamento de uma porta giratória com detector de metais (PGDM) que representa 10% do custo da matéria prima e 24% do seu custo total de fabricação, torna-se uma oportunidade para a aplicação de um método controlado para redução dos custos de fabricação e simplificação dos processos envolvidos.

A escolha do mecanismo da PGDM se deve ao fato que este, além de ser o produto pioneiro da empresa, tem a maior produção individual com uma média de 25 unidades por semana é também é o mecanismo mais complexo produzido.

Dentro dos diferentes subconjuntos do mecanismo o trabalho será concentrado nos que executam as funções de rotação, amortecimento e bloqueio de uma PGDM. Estes subsistemas ou subconjuntos são responsáveis pelas características que uma PGDM deve ter para atender aos requisitos funcionais e de qualidade percebida, pois o mecanismo além de controlar a rotação da porta ele executa os comandos de amortecimento e bloqueio quando o detector de metais é acionado, promovendo movimentos suaves das folhas da porta e sem ruídos perceptíveis.

Os subsistemas são compostos por 104 componentes dos 187 componentes do mecanismo completo, sendo 53 componentes padronizados, ou seja, adquiridos de fornecedores e 51 fabricados pela própria empresa. Esta quantidade de itens demanda uma série de processos como: usinagem, corte a laser, dobra de chapa, soldagem, tratamento térmico e acabamento, além da montagem final.

Desta forma a IECO Tecnologia de Acesso, empresa com 37 anos de mercado, pioneira no Brasil em controles de acesso, e líder com cerca de 60% deste mercado, atendendo as principais instituições financeiras no Brasil, além de hotéis e módulos do sistema prisional. Dispõe de um departamento de engenharia composto por seis colaboradores e dividido em três áreas, a engenharia eletrônica, engenharia mecânica e engenharia de produção, que em conjunto desenvolvem produtos para atender aos mais diversos requisitos funcionais, com preços competitivos, e de rápida e fácil fabricação.

Assim a empresa espera que os métodos utilizados na simplificação deste mecanismo sejam posteriormente utilizados na revisão de toda linha de produtos tornando a fabricação e manutenção simples e de baixo custo.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é aplicar os conceitos de projeto para manufatura e montagem (*Design for Manufacturing and Assembly - DFMA*) no reprojeto do mecanismo da porta giratória detectora de metais (PGDM).

Para que o objetivo geral deste trabalho seja alcançado às etapas relacionadas abaixo serão executadas:

- pesquisar e adaptar um método para projeto para manufatura e montagem, ao objetivo do trabalho;
- avaliar os componentes do projeto atual, sua fabricação e aquisição;
- propor um novo projeto para os componentes detectados como passíveis de modificação, aplicando o DFMA;
- estudar a possibilidade de utilização da filosofia Poka-Yoke no aperfeiçoamento da fabricação dos componentes;
- montar um protótipo para validar tais propostas;
- verificar a eficácia do método através da análise de custos e de simplificação do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo faz uma revisão dos conceitos e métodos abordados no desenvolvimento de projeto em engenharia. Este referencial está subdividido em: ferramentas para projetos de produtos, projeto para manufatura (DFM), projeto para montagem (DFA) e sua abordagem conjunta (DFMA), além de uma conceitualização do sistema *Poka-Yoke* e sua relação com o DFMA.

2.1 FERRAMENTAS PARA PROJETOS DE PRODUTOS

Para Pahl *et al.* (2005) umas das ferramentas de projeto a ser considerada no desenvolvimento de um produto é o método da análise de valores conforme DIN 69910 que tem como objetivo principal a redução dos custos. Porém, para esse objetivo é proposto um procedimento metódico global, especialmente para desenvolvimentos subsequentes. O Quadro 1 mostra as principais etapas de trabalho da análise de valores que, via de regra, parte de uma construção existente e efetua uma análise com relação às funções e aos custos a serem satisfeitos para, em seguida, com novas metas de custos, buscar novas ideias de soluções e solução para as funções nominais requeridas.

Quadro 1 - Procedimento geral de análise de valor, segundo a DIN 69910.

<p><i>1-Preparar o projeto</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Escalar a equipe • Análise de valor – Delimitar o escopo • Definir a organização e o sequenciamento 	<p><i>4-Desenvolver ideias de solução</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Coletar as ideias existentes • Buscar novas ideias
<p><i>2-Análise do objeto (situação atual)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar funções • Determinar o custo das funções 	<p><i>5-Definir soluções</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliar as ideias das soluções • Detalhar as soluções das ideias de soluções selecionadas • Avaliar e decidir com relação às soluções
<p><i>3-Definir situação-alvo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir as funções-alvo • Determinar os demais requisitos • Relacionar metas de custo com as funções alvo 	<p><i>6-Materializar soluções</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Detalhar as soluções selecionadas • Panejar a concretização

Fonte: Pahl *et al.* (2005)

Contudo para Savi, *et al* (2010) em uma tentativa de auxiliar os projetistas a melhorar a avaliação do impacto de suas decisões de projeto no ciclo de vida dos

produtos, empresas e pesquisadores desenvolveram diversas ferramentas de apoio ao projeto, denominadas DFX-*design for excellence* (projeto para excelência). No qual o X representa critérios de qualidade tais como: confiabilidade, robustez, eficiência, impacto ambiental, montagem ou fabricação.

Para Holt e Barnes (2010), cada DFX tem seu propósito específico, conforme resumido na Tabela 1, mas todos seguem um padrão semelhante. A ferramenta DFX procura melhorar um aspecto particular do produto que está sendo projetado, como custo ou impacto ambiental, ajudando o projetista a considerar esse aspecto o mais cedo possível.

Tabela 1 - Objetivos de algumas ferramentas de DFX.

Projeto para...	Siglas	Objetivo
Fabricação e montagem	DFMA	Redução de custos de produção e componentes
Ambiente	DFE	Redução do impacto ambiental no ciclo de vida
Fim de vida	DFLC	Redução do impacto ambiental do produto final de sua vida útil
Desmontagem	DFD	Redução de custos de desmontagem / hora (valor de recuperação)
Reciclagem	DFR	Maior reciclagem (levando a uma redução do impacto ambiental)
Qualidade	DFQ	Maior satisfação do usuário
Manutenção	DFMT	Custo de manutenção reduzido
Confiabilidade	DFR	Redução de taxa de falha
Custos	DFC	Redução de custos

Fonte: Adaptado de Holt e Barnes (2010).

2.2 PROJETO PARA MANUFATURA (DFM)

Rozenfeld *et al.* (2006) e Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002) dizem que o DFM é uma abordagem dos aspectos da manufatura, tais como estamparia, forjamento, injeção e outros processos voltados à transformação mecânica. Para tal a aplicação de conceitos que reduzam os custos com a utilização de equipamentos é um fator crucial às empresas. Contudo, essa técnica visa à efetiva influência do conhecimento das características de processamento sobre o desenvolvimento do produto, tais como: ângulos de saída de ferramentas, raios e cantos vivos,

usinabilidade e custos das opções de materiais disponíveis, acabamentos e outras características ligadas aos aspectos de construção, usualmente através de dispositivos ou ferramentas automatizadas.

Para Youssef (1994), as análises do DFM devem se basear nos conhecimentos tecnológicos e sociais do processo produtivo. Para isso é importante que sejam considerados os critérios científicos sobre o processamento, forma de concepção de projetos, características dos materiais, da manufatura e outros, além de considerações sobre a cultura organizacional, entender os conceitos utilizados pela equipe de projeto, natureza da formação dos projetistas e as características dos fornecedores e dos colaboradores da organização.

Contudo Rozenfeld *et al.* (2006) diz ainda que o DFM é uma abordagem que visa chegar a um produto com baixo custo sem sacrificar sua qualidade. Além disso, é uma das práticas mais integrativas durante o desenvolvimento do produto. Portanto, para maximizar a qualidade das primeiras decisões de projeto e, por conseguinte, minimizar as mudanças de engenharia nas etapas subsequentes, é necessário levar em conta as informações relativas às atividades do sistema de manufatura, tanto quanto possível, no começo do processo de projeto.

Assim, de modo geral percebe-se a relação direta do desenvolvimento de um produto com o conhecimento dos processos produtivos encontrados nas indústrias. Porque o que pode ser de fácil manufatura e de custo reduzido para uma determinada empresa pode não ser para outra, e ainda com este conhecimento pode se propor soluções de projetos para diminuir a necessidade de ferramentas e dispositivos especiais que auxiliam a montagem de conjuntos e subconjuntos de componentes de um determinado produto.

2.3 PROJETO PARA MONTAGEM (DFA)

Rozenfeld *et al.* (2006), diz que o DFA tem por principal objetivo simplificar a estrutura do produto a fim de reduzir custos. O DFA, ainda, direciona o projeto para que o produto tenha um menor número de peças, cuja união seja mais eficiente, melhorando a qualidade. Além disso, pode se obter as seguintes vantagens: simplificação dos processos de montagem, redução das operações de manipulação, possibilidade de maior padronização e modularização dos produtos, menor número

de passos e ajustes de processamento, menor quantidade de pontos/superfícies de encaixe, redução de problemas de tolerâncias.

Segundo Sousa (2006), projetos simplificados obtidos com o uso das técnicas do DFA muitas vezes resultam em uma redução no custo dos componentes, significativamente maior que no custo de montagem. O projeto de fixações usadas na montagem também se torna mais simples.

Para Pahl *et al.* (2005), por montagem compreende-se a união, com todos os trabalhos auxiliares necessários, durante e após a produção do componente, bem como no canteiro de obras. Recursos e qualidade da montagem dependem tanto do tipo e número de operações de montagem, bem como da própria execução. Tipo e número são dependentes da estrutura da construção, da configuração da peça e da forma de produção do produto (produção avulsa ou em série).

Pereira e Manke (2001) citam que frequentemente problemas com a montagem e problemas com a qualidade dos componentes ou mesmo do projeto são identificados e tratados somente durante o início de produção ou em lotes intermediários de engenharia.

Catapan, Forcellini e Ferreira (2004) contribuem acrescentando que nestes pontos, mudanças são criticamente necessárias para que a fábrica possa produzir com os recursos existentes.

A adoção de técnicas de DFA no desenvolvimento ou reprojeto de um produto gera significativa redução de componentes, e este é um forte aspecto para redução de custos de um produto. E também a adoção de geometrias e formas que auxiliem na execução das operações de montagem pode simplificar este processo, diminuindo o tempo de operação ou de uso de equipamentos, traduzindo-se redução de custos de operação.

2.4 PROJETOS PARA MANUFATURA E MONTAGEM EM UMA ABORDAGEM CONJUNTA (DFMA)

Para Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002) a razão pela qual o DFMA deve ser considerado no início do ciclo de projeto é porque hoje se aceita que mais de 70% dos custos do produto final são determinados durante este processo. A Figura 1, a seguir, tornou-se clássica quando se deseja representar este panorama.

redução da complexidade dos componentes confeccionados interna ou externamente;

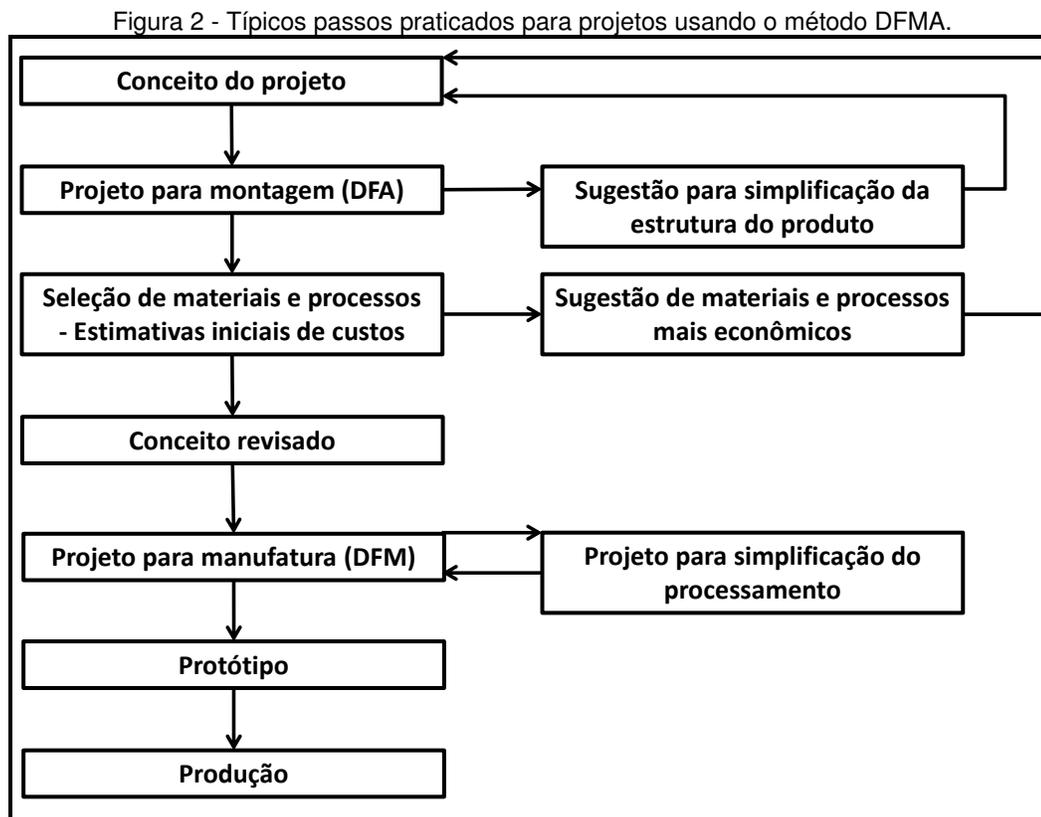
- agrupar, disponibilizar e difundir as experiências que geralmente ficam mantidas com os projetistas mais experientes, tornando o processo mais inteligente e autossuficiente através da disseminação das idéias analisadas, gerando um processo de crescimento do nível das análises a cada novo produto;
- estabelecer uma base de dados aplicáveis em análises posteriores de estudos de tempos de montagem e fatores de custo para diversas condições de projeto de produto;
- melhorar a comunicação entre os departamentos envolvidos no processo de criação de produtos da empresa e o líder do projeto para que as decisões realizadas durante o processo fiquem bem documentadas e disponíveis para futuras consultas;
- abrir e manter o canal de comunicação entre os profissionais da manufatura e a engenharia de produto possibilitando que qualquer melhoria futura, tanto no produto como no processo, sejam analisadas e tratadas de forma mais eficiente.

A Figura 2 para Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002) resume as medidas tomadas ao usar DFMA durante o projeto. A análise DFA é primeiramente conduzida, levando a uma simplificação da estrutura do produto. Em seguida, usando DFM, as estimativas de custos iniciais para as partes são obtidas tanto para o projeto original como para o novo projeto, a fim de tomar decisões antes da efetiva produção. Durante este processo, os melhores materiais e processos a serem utilizados para as várias partes, serão considerados.

As evidências de resultados obtidos com a aplicação das ferramentas DFM e DFA integradas podem ser ilustradas a partir do trabalho proposto por Mello *et al* (2010), onde se apresenta uma oportunidade de melhoria em um dispositivo eletromecânico para o controle dos tempos de trabalho de máquinas (horímetro).

Neste trabalho Mello *et al* (2010) sugerem melhorias em componentes e processos de montagem do horímetro. Para tal verifica-se a predominância de soluções onde processos de soldagem, montagens complexas e diferentes versões de componentes são substituídos por componentes de encaixe que não necessitam

ser soldados, adesivo no lugar de pintura, e a eliminação de versões de um item, simplificando o produto.



Fonte: Boothroyd *et al* (2002)

A Tabela 2 quantifica os resultados obtidos por Melo *et al* (2010) na aplicação das soluções propostas no reprojeto do horímetro. Verifica-se que os resultados neste caso são mais sensíveis nos processos produtivos do que na redução de componentes, processos estes que envolvem a fabricação do componente e sua montagem no conjunto final.

Tabela 2 - Resumo dos resultados finais obtidos no reprojeto do horímetro.

Conjunto	Redução de componentes (%)	Redução de processos (%)	Redução de tempo de montagem e fabricação (%)
Adaptador	29	23	81
Suporte completo	29	36	44
Embutimento - diversos	17	0	30
Embutimento - caixa	17	24	62
Embutimento - soquete	100	100	100
Embutimento - acessórios	0	8	13
Total	11	15	47

Fonte: adaptado de Melo *et al* (2010)

2.5 A FILOSOFIA POKA-YOKE

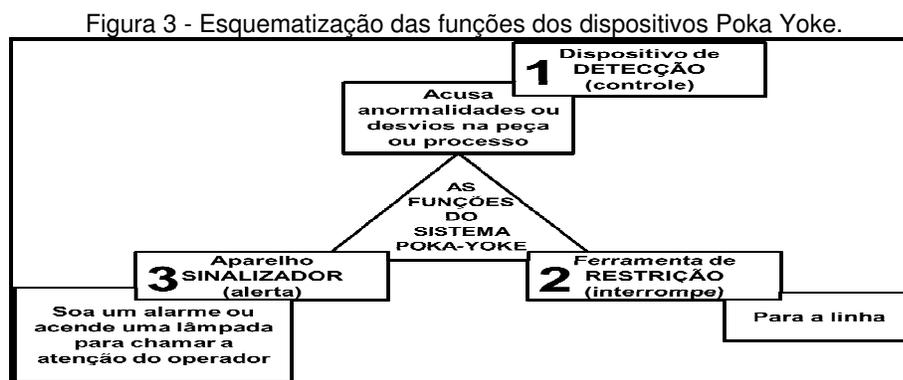
Segundo Calarge e Davanso (2004) o conceito do Poka-Yoke foi concebido inicialmente por Shingo (1992), verificando que as características de controle em um determinado produto eram conduzidas, fundamentalmente, por meio de três técnicas baseadas em: inspeção por julgamento, inspeção informativa e inspeção na fonte.

Na inspeção por julgamento, os produtos com defeito são separados dos produtos bons após o processamento, em geral através de amostragem, revelando alguns defeitos antes da entrega, mas não diminuindo o índice de defeitos verificados.

Na inspeção informativa, dá-se o passo seguinte, ou seja, investigam-se estatisticamente as causas dos defeitos e essas informações são transmitidas aos processos apropriados a fim de serem tomadas medidas para reduzir os defeitos. No entanto, com muita frequência, essas informações demoram a chegar à origem do problema, o que faz com que os defeitos continuem a ser produzidos.

A inspeção na fonte trabalha na origem do processo, dando um retorno imediato e evitando que os erros se transformem em defeitos. Esse tipo de inspeção é conduzido durante o tempo limitado em que a peça está sendo posicionada para uma operação, ou logo depois que ela sai da máquina, de maneira que, com essa inspeção, os erros podem ser corrigidos antes de se transformarem em defeitos.

Ainda segundo Calarge e Davanso (2004) um dispositivo Poka-Yoke dentro da manufatura tem como funções básicas a paralisação de um sistema produtivo, o controle de características pré-estabelecidas do produto e a sinalização quando da detecção de anormalidades. A Figura 3 representa esquematicamente estas funções.



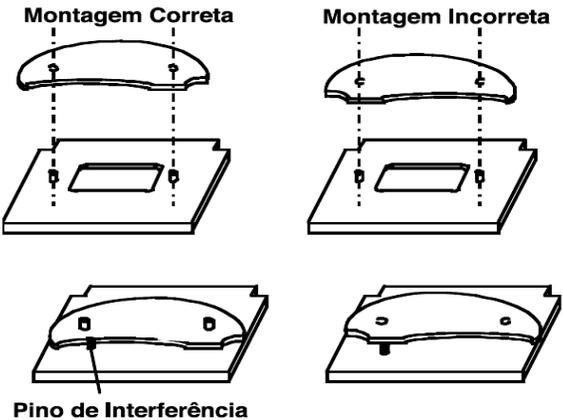
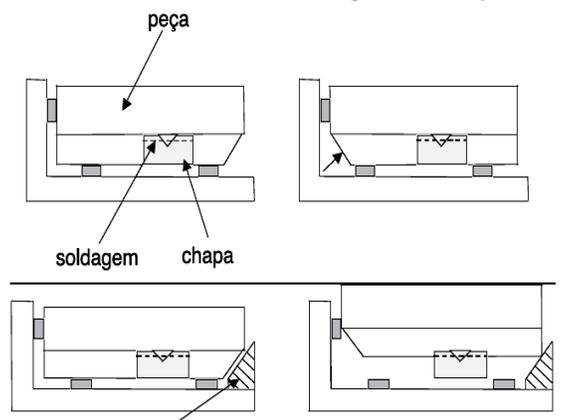
Fonte: adaptado de Calarge e Davanso (2004)

E com relação às funções, os dispositivos Poka-Yoke podem se utilizar dos seguintes métodos:

- a) método de controle: são métodos que, na ocorrência de anormalidades, paralisam o equipamento ou interrompem a operação, evitando, assim, a ocorrência ou reincidência de defeitos;
- b) método de alerta: são métodos que, na ocorrência de anormalidades, ativam sinais luminosos ou sonoros de alerta, indicando a necessidade de providências sem, contudo, paralisar o equipamento ou interromper a operação;
- c) métodos de posicionamento: elaboração de dispositivos que permitem a condução da operação somente quando do posicionamento correto do conjunto de elementos nela envolvidos, impedindo fisicamente que o conjunto seja montado de forma inadequada;
- d) métodos de contato: estão baseados na liberação da condução de uma operação a partir do contato de sistemas de sensores que indicam condição adequada para operação;
- e) métodos de contagem: por meio da contagem de elementos, verificam as características de conformidade do conjunto, alertando no caso de detecção de anormalidades e impedindo a continuidade da operação;
- f) métodos de comparação: utilizando dispositivos que possibilitem comparação de grandezas físicas (temperatura, pressão, torque etc.), impedem a continuidade da operação quando da detecção de anormalidades.

O Quadro 2 faz uma relação entre exemplos práticos e a utilização de alguns destes métodos.

Quadro 2 - Exemplos aplicativos da utilização de dispositivos Poka Yoke.

 <p>Montagem Correta Montagem Incorreta</p> <p>Pino de Interferência</p>	<p>MÉTODO DE POSICIONAMENTO</p> <p>Uma determinada peça pode ser montada em posições diferentes, mas apenas uma posição é correta. Assim foi instalado um pino de interferência para que não seja possível montar a peça em outras posições. O pino de interferência é um Poka-Yoke de posicionamento evitando assim que por distração ou qualquer outro motivo o operador monte a peça invertida e esta chegue ao cliente.</p>
 <p>Montagem Correta para Solda Montagem Incorreta para Solda</p> <p>peça</p> <p>soldagem chapa</p> <p>Cunha com sensor</p>	<p>MÉTODO DE CONTATO</p> <p>Uma chapa pode ser soldada a uma peça em posições diferenciadas, mas apenas uma posição é a correta. Assim foi instalada uma cunha com sensor que identifica se a peça está na posição correta. A cunha com sensor é um Poka-Yoke, pois se a peça a ser soldada não estiver devidamente posicionada fazendo o contato com o sensor, o mesmo não libera a máquina de solda.</p>

Fonte: adaptado de Imam (1998)

2.6 DFMA x POKA-YOKE

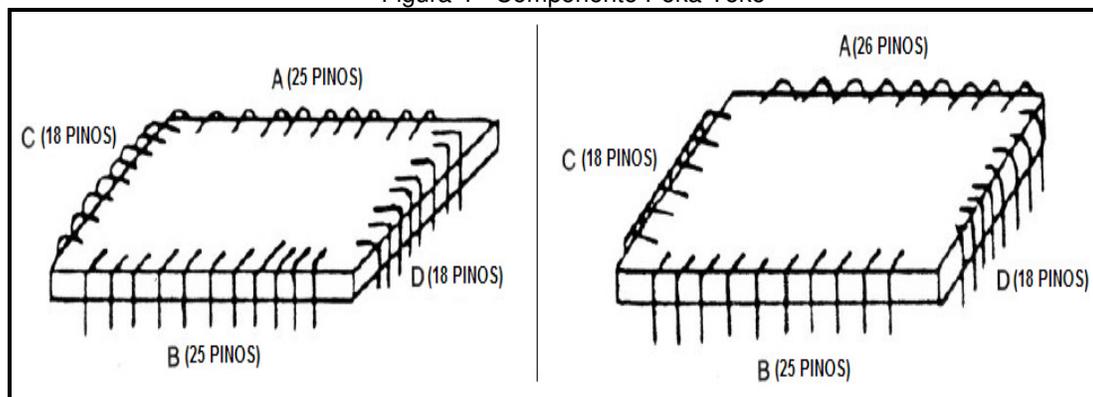
Para Brito *et al.* (2009) ao desenvolver um novo sistema, ou melhorar um sistema existente, os projetistas buscam ganhos na qualidade e redução no custo do produto. O DFMA é uma ferramenta que está se tornando popular entre as equipes de projetos. Por outro lado as equipes de fabricação são forçadas a detectar falhas ao longo da produção e resolver estas falhas antes que o produto seja enviado ao cliente, ou, para o próximo processo ou estação. Assim para este efeito, a abordagem Poka-Yoke atinge praticamente todas as indústrias.

Ainda segundo Brito *et al.* (2009) como os dispositivos Poka-Yoke são auxiliares no processo de fabricação, eles podem ser localizados no próprio componente, na linha de montagem ou em ferramentas específicas. Esta definição

vai depender das equipes de projeto e fabricação, bem como os requisitos específicos de cada projeto.

Quando o dispositivo é posicionado sobre o componente, uma atenção especial deve ser dada quando o projeto passar por uma revisão segundo os conceitos do DFMA. As equipes de projeto e produção devem alinhar ideias para produzir a melhor solução, tornando mais fácil a fabricação sem adicionar custos impactantes ao projeto. No exemplo mostrado na Figura 4, um componente de orientação simétrica tem de ser adicionado no lado da montagem. O método Poka-Yoke introduziu um pino não funcional, para evitar a montagem invertida do componente. Desta forma os registros desta informação devem ser mantidos, caso contrário, um estudo de DFMA pode retirar o pino 26, eliminando então o efeito do dispositivo Poka-Yoke adotado no projeto.

Figura 4 - Componente Poka Yoke



Fonte: adaptado de Brito *et al* (2009)

Brito *et al* (2009) diz que quando o desenvolvimento de produtos tornou-se integrado, o trabalho conjunto das equipes de projeto e de fabricação passou a ser de grande importância. As paredes que separavam projeto e a fabricação foram quebradas. Este objetivo ainda é perseguido desde pequenas a grandes empresas, mas ainda não é totalmente alcançado. A ideia de integração é ter as duas equipes trabalhando em sintonia nas fases iniciais do projeto, para não terem problemas durante a produção. Quando aplicado os benefícios do Poka-Yoke e DFMA são somados, proporcionando um produto de qualidade, com facilidade de ser produzido e livre de falhas na fabricação.

Um dos objetivos do DFMA é fazer com que os componentes sejam facilmente montados, enquanto os dispositivos Poka-Yoke prezam por montar as

peças corretamente. Em outras palavras, ambos os métodos foram desenvolvidos para produzirem produtos mais robustos. Neste quesito os métodos são compatíveis, embora atuem com estratégias diferentes. Porém a aplicação dos conceitos de DFMA na busca da redução do número de componentes não pode ser cegamente perseguida.

Porque segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002), a supressão ou remoção de qualquer parte deve estar ligada a um estudo que segue um simples questionário, onde a resposta deve ser afirmativa ou negativa, e se ao menos uma questão obtiver uma resposta afirmativa, o componente deve permanecer na estrutura do produto, caso contrario o mesmo pode ser removido ou ligado a outro componente.

E as questões propostas pelo autor são as seguintes:

O componente tem movimento relativo ao componente vizinho?

O material do componente deve ser diferente do material do componente vizinho?

O componente deve ser separado das partes vizinhas, para permitir montagem e desmontagem?

Desconsiderando os movimentos e folgas relativas a elementos de fixação, esta abordagem possibilita uma compreensão da necessidade de um determinado componente e ou a liberdade de alterá-lo sem prejudicar seus requisitos de projeto, ou seja, por exemplo, usar esta liberdade para criar um dispositivo Poka-Yoke no próprio componente, que oriente a montagem ou o seu posicionamento em uma máquina.

Portando a utilização conjunta do DFMA e dos dispositivos Poka-Yoke auxiliam os projetistas em um novo desenvolvimento bem como em um reprojeto, onde se objetiva a redução nos custos de fabricação e simplificação do processo produtivo.

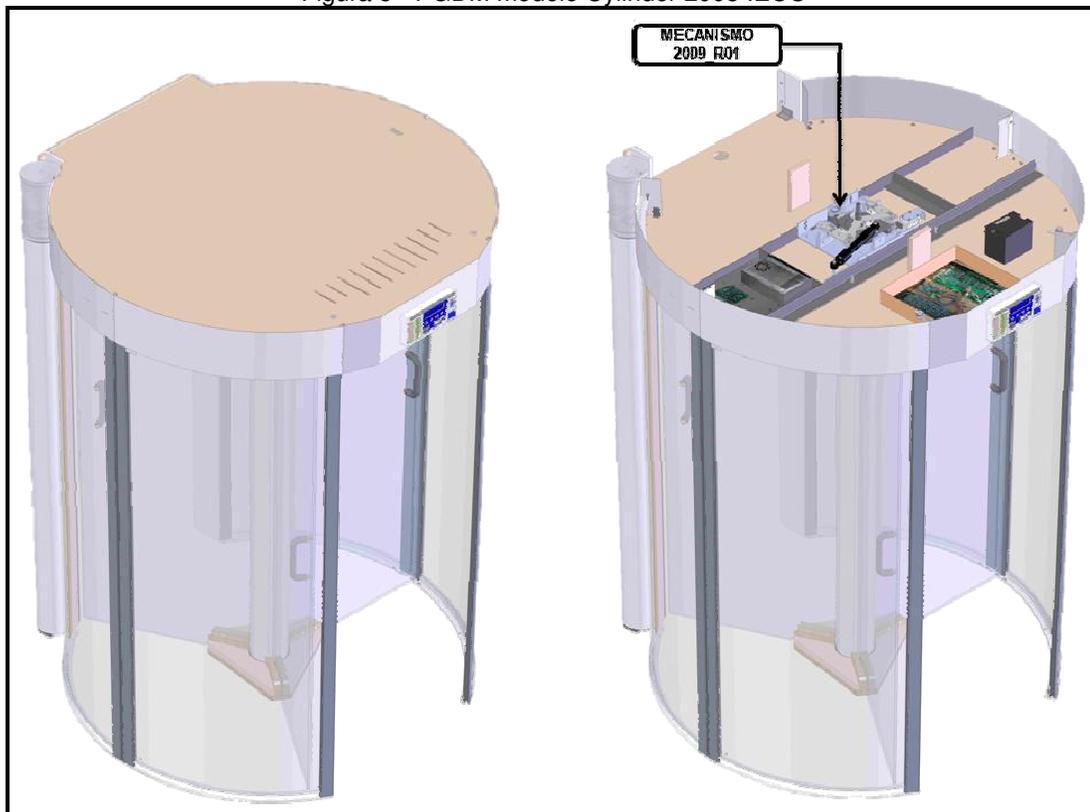
3 APRESENTAÇÃO DO PROJETO ATUAL

O objetivo deste capítulo é apresentar o mecanismo de rotação, amortecimento e bloqueio de uma porta giratória com detector de metais (PGDM), evidenciando seus requisitos funcionais, a função dos principais componentes no conjunto e apresentar uma proposta para o reprojeto do mecanismo.

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UMA PGDM E SEU MECANISMO

A Figura 5 mostra uma PGDM modelo 2008 e o seu mecanismo na versão nomeada como 2009_R01 este mecanismo é montado em um quadro denominado estrutura superior, e acoplado no flange superior do carrossel (folhas da porta).

Figura 5 - PGDM modelo Cylinder 2008 IECO

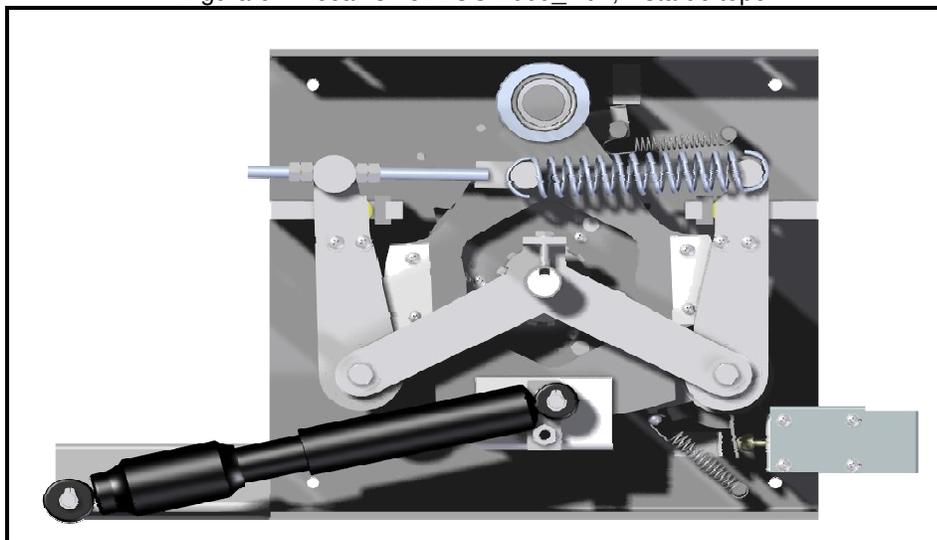


Fonte: Engenharia IECO (2014)

A Figura 6 mostra uma vista superior do mecanismo onde se visualiza o eixo principal, montado em uma estrutura denominada base. Sobre este eixo há um

sistema de amortecimento “freio”, e o conjunto de came, mola e amortecedor que suavizam a rotação das folhas da porta e as pré-posicionam.

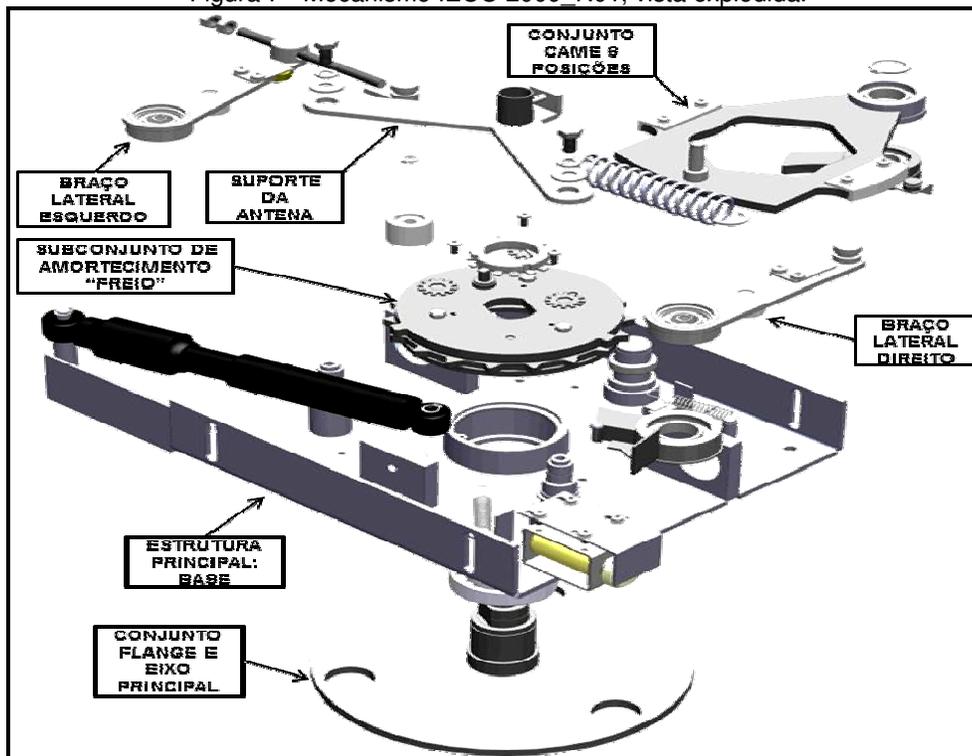
Figura 6 - Mecanismo IECO 2009_R01, vista de topo.



Fonte: Engenharia IECO (2014)

Ainda para um melhor entendimento a Figura 7 mostra uma vista explodida do mecanismo, com seus principais subconjuntos identificados.

Figura 7 - Mecanismo IECO 2009_R01, vista explodida.



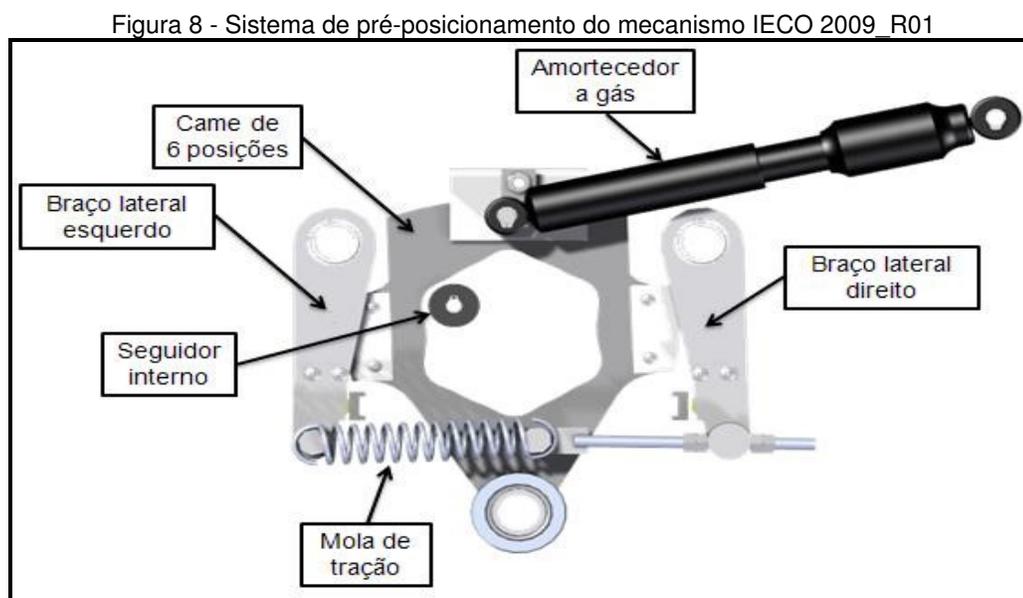
Fonte: Engenharia IECO (2014)

3.2 REQUISITOS FUNCIONAIS DO MECANISMO IECO 2009_R01 RELACIONADO COM SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES

O mecanismo IECO 2009_R01 apresenta como principais requisitos funcionais os seguintes itens:

- controlar a velocidade de rotação das folhas da porta e pré-posicionar o carrossel de modo a induzir a passagem do usuário através do detector de metais;
- amortecer e bloquear a rotação das folhas da porta, sem que a mesma sofra um “tranco” ou travamento repentino;
- bloquear a rotação no sentido oposto ao de acesso, para evitar que o carrossel gire no sentido oposto à posição do detector de metais.

A função de controlar a rotação das folhas é executada por meio de um came interno de 6 posições, onde 3 posições são de pré-posicionamento e 3 são de suavização do movimento, ligado a um amortecedor a gás e a braços laterais que transmitem a força de uma mola helicoidal de tração para o came, e este por sua vez é deslocado através de um seguidor fixado no conjunto de amortecimento (freio), conforme pode ser observado na Figura 8.



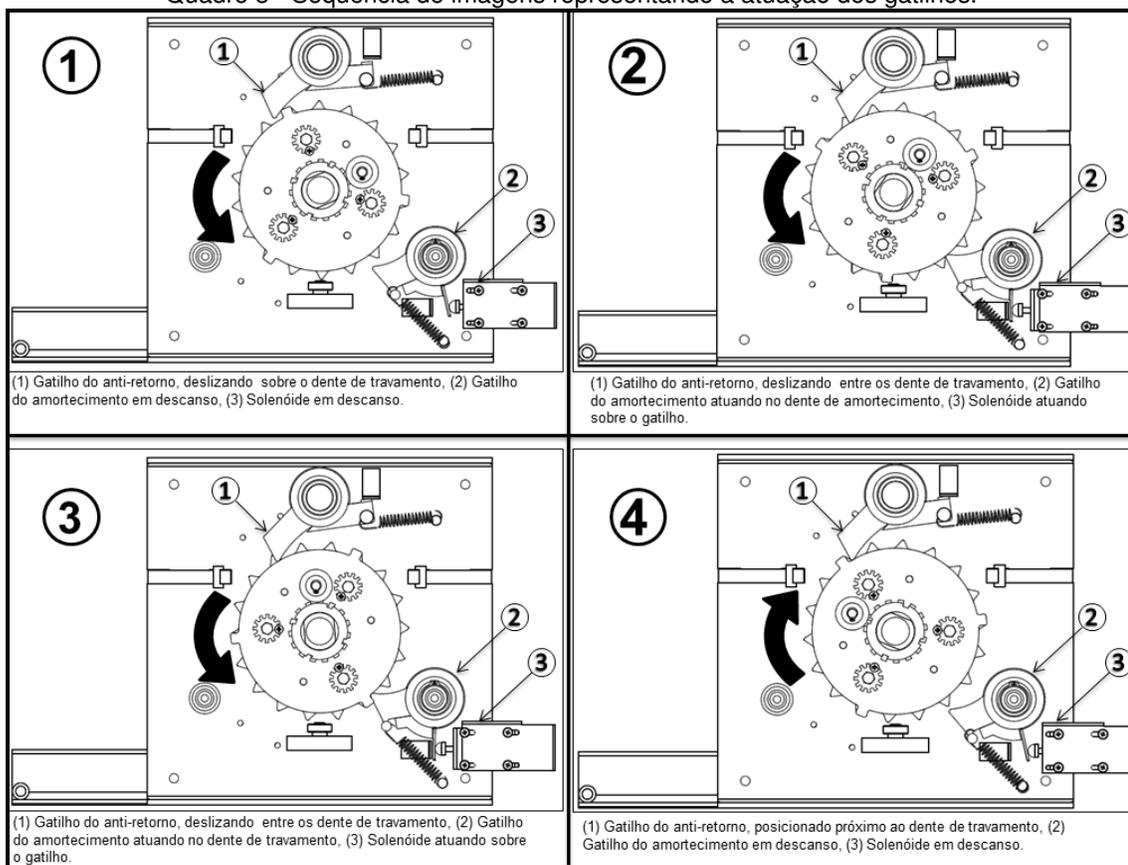
Fonte: adaptado de Engenharia IECO (2014)

A função que amortece e bloqueia a rotação das folhas da porta, é uma função dependente, ou seja, somente será executada se o detector de metais

“acusar” um volume de metais acima do permitido, e/ou houver um acionamento através do controle remoto.

Quando houver um acionamento, um circuito eletrônico envia um sinal a um solenoide que atua movendo o gatilho de amortecimento até o dente do sistema de freio, que por sua vez reduz a velocidade da porta e a bloqueia, conforme pode ser observado na sequência de imagens do Quadro 3.

Quadro 3 - Sequência de imagens representando a atuação dos gatilhos.



Fonte: o autor.

A função de bloqueio da rotação inversa é uma função independente, pois o gatilho do anti-retorno está tensionado por uma mola e atua em cada uma das 3 posições das folhas da porta, evitando que o conjunto gire no sentido oposto.

3.3 PONTOS FORTES E PONTOS FRACOS DO MECANISMO RELACIONADO COM O PRODUTO PGDM

Ao longo do tempo detectou-se que o sistema de came, apresenta pontos positivos como a suavidade na transição de uma posição para outra e a ausência de impacto quando as folhas são pré-posicionadas. Tais características não devem sofrer modificações que as alterem profundamente durante o reprojeto. Isso porque a percepção de qualidade por parte do cliente esta diretamente ligada a estas características que resultam em um movimento suave e sem ruídos, sendo este o ponto forte da PGDM como produto.

Porém o mesmo sistema de came que está intimamente ligado às características de qualidade, apresenta uma elevada complexidade de fabricação e montagem, além de possuir junto com a base e os gatilhos de travamento e anti-retorno, um total de 53 componentes adquiridos de fornecedores e 51 componentes fabricados, representando assim aproximadamente 56% dos componentes do mecanismo completo, sendo este o ponto fraco da PGDM como produto a ser fabricado.

O elevado número de componentes, sua complexidade tornam o custo de fabricação elevado, o que em alguns cenários econômicos, como licitações publicas, por exemplo, não é interessante e podem inviabilizar a venda do produto PGDM.

Desta forma este sistema e subconjuntos relacionados serão reprojutados conforme os critérios, descritos e ordenados pela importância que cada um tem sobre o outro:

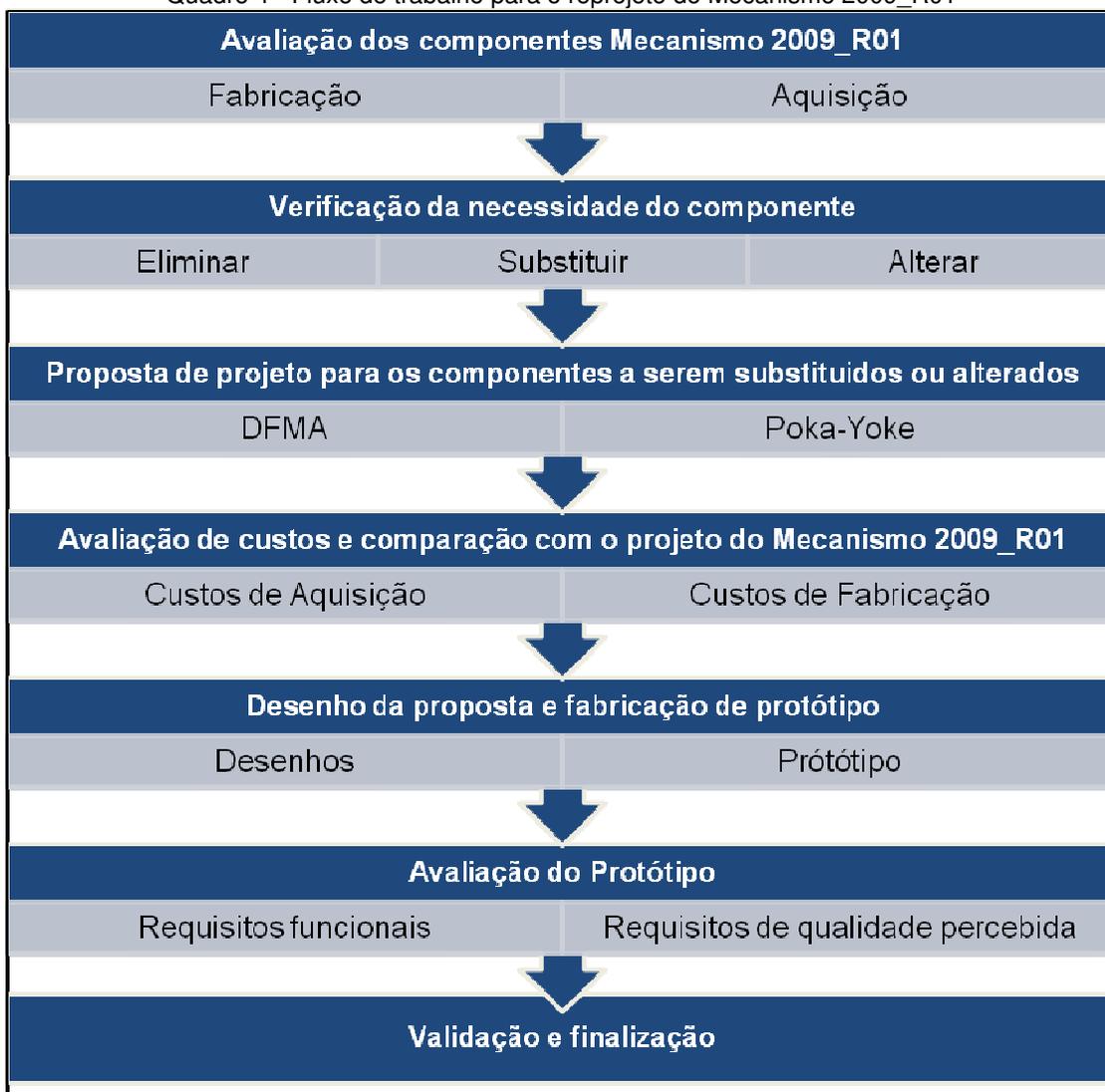
- manutenção dos requisitos funcionais enunciados no item 3.2;
- pouca ou nenhuma alteração das características de qualidade percebidas pelo cliente, principalmente quando ao quesito ruído;
- adotar preferencialmente processos de fabricação usuais do parque fabril da empresa IECO, evitando desenvolver novos processos, que impactem em custos;
- simplificar a fabricação e montagem de componentes, através da aplicação da ferramenta Poka-Yoke nos componentes, evitando assim a necessidade de dispositivos complexos de montagem;
- reduzir a quantidade de componentes adquiridos e principalmente fabricados;

- o novo modelo de mecanismo deve ser intercambiável com o modelo atual, e se possível com as versões 1998 e 2001 da PGDM.

3.4 ETAPAS DO TRABALHO

Para o projeto do mecanismo 2009_R01 atender aos critérios mencionados no item 3.3, o fluxo de trabalho composto por 7 etapas representado pelo Quadro 4 foi adotado.

Quadro 4 - Fluxo de trabalho para o reprojeto do Mecanismo 2009_R01



Fonte: o autor.

O trabalho começa com uma avaliação do mecanismo 2009_R01. Esta avaliação foi focada nos processos de fabricação adotados para construção dos

componentes do sistema de came 6 posições, do conjunto da base e dos gatilhos, e sobre os componentes adquiridos de fornecedores destes conjuntos, com o intuito de verificar os custos de cada componente e sua participação na composição do conjunto final.

Na sequência desta avaliação foi realizada uma verificação da necessidade do componente para que os requisitos funcionais sejam satisfeitos, e uma proposta de modificação começou a ser moldada dentro dos critérios listados anteriormente.

O esboço inicial da proposta a especificação dos detalhes construtivos foram realizados com o auxílio da ferramenta de projeto DFMA, segundo a abordagem proposta por Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002), e a filosofia Poka-Yoke. Somente após esta etapa foi possível um comparativo de custos, quantidade de componentes e simplificação da fabricação e montagem, com projeto do mecanismo 2009_R01.

Com os desenhos técnicos definidos um protótipo foi construído para verificação dos demais critérios, e também dos requisitos funcionais e de qualidade do mecanismo aplicado no produto PGDM. Neste momento foram realizados os ajustes necessários nos componentes para posterior produção.

Então com a proposta atendendo aos critérios e aos requisitos será programado um lote piloto para produção e um fechamento de lote para a versão 2009_R01 e assim lançada a versão do mecanismo 2014.

Assim após a finalização do projeto do mecanismo 2014 da PGDM, uma avaliação final do método foi realizada, verificando sua eficiência em termos de redução de custos, componentes e tempo entre início das atividades e lançamento do projeto, para verificação de sua viabilidade como um método funcional.

3.5 MÉTODO PARA SIMPLIFICAÇÃO DO PRODUTO

O desenvolvimento dos componentes da proposta e também a avaliação inicial do projeto do mecanismo 2009_r01 foram realizados através do método de projeto defendido por Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002), onde as três questões apresentadas a seguir guiam o estudo e elucidam a necessidade dos componentes para o contexto dos requisitos do mecanismo.

- a) O componente tem movimento relativo ao componente vizinho?
- b) O material do componente deve ser diferente do material do componente vizinho?

- c) O componente deve ser separado das partes vizinhas, para permitir montagem e desmontagem?

Deste modo o desenvolvimento de componentes como o suporte do solenoide, pinos para engates das molas e os gatilhos de amortecimento e anti-retorno, são alguns exemplos onde este método foi empregado, como pode ser visto no item 4.3.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente capítulo é dedicado ao detalhamento das atividades do projeto do mecanismo 2009_R01. Algumas etapas apresentam uma dinâmica de execução simples que possibilita o seu desenvolvimento simultâneo ao desenvolvimento da solução.

4.1 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DO MECANISMO 2009_R01

A divisão dos componentes do sistema de came de 6 posições, do conjunto da base e dos gatilhos, em componentes de fabricação interna e adquiridos de fornecedores, possibilita o entendimento de como estes itens participam do custo de fabricação do conjunto. É possível também conhecer quais são os processos de fabricação adotados pela empresa, além das normas ou regras que regem a escolha de determinadas peças padronizadas.

O projeto atual do mecanismo de rotação, amortecimento e bloqueio esta construído com 38 componentes fabricados pela própria empresa e 25 componentes comprados, os subitens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 apresentam uma descrição detalhada de cada um dos três sistemas avaliados.

Com a intenção de focar o desenvolvimento das soluções nos componentes com maior participação no custo e que são os principais responsáveis pela execução dos requisitos funcionais, foi adotado o índice de 5% como sendo um indicativo de que os componentes com participação superior a este índice foram estudados obrigatoriamente na etapa seguinte do desenvolvimento.

Este índice foi adotado após o cruzamento das informações da parcela de participação do componente com a sua função no mecanismo. Deste modo verificou-se que os componentes padronizados e os elementos de fixação exercem participação inferior a este índice e, portanto o seu estudo será considerado secundário e sua análise está condicionada ao contexto. Por exemplo, elementos de fixação como parafusos com similaridade de aplicação e diferenças dimensionais desnecessárias, foram padronizados para simplificar sua montagem, aquisição e armazenamento.

Os componentes que se enquadram nas características de obrigatoriedade de análise estão destacados em negrito nas tabelas apresentadas em cada subconjunto discutido a seguir.

4.1.1 Sistema Came de 6 posições

O sistema de came de 6 posições é composto por 16 item fabricados e 18 itens comprados, a Tabela 3, apresenta os componentes, os processos de fabricação e sua participação na composição do custo total do sistema analisado.

Tabela 3 - Detalhamento do sistema came 6 posições

Subconjunto	Componente	Tipo	Processo de fabricação	Quantidade (un.)	Parcela do custo (%)
Came	Came 6 posições	Fabricado	Corte Laser	01	27,5
	Guia do came (mancal)	Fabricado	Usinagem	01	8,1
	Rolamento 6005 ZZ	Comprado	-	01	6,4
	Anel elástico Ø47	Comprado	-	01	0,9
	Batente do came	Fabricado	Injeção Plástica	02	2,5
	Parafuso M4x10	Comprado	-	04	0,3
	Arruela de pressão M4	Comprado	-	04	0,9
	Arruela lisa M4	Comprado	-	04	0,1
	Eixo do amortecedor	Fabricado	Usinagem	01	1,1
Braço Lado Direito do Came	Braço direito do came	Fabricado	Corte Laser	01	6,6
	Fixação do batente	Fabricado	Corte Laser	01	1,5
	Parafuso M5X10	Comprado	-	02	0,2
	Arruela lisa M5	Comprado	-	02	0,1
	Pino engate da mola	Fabricado	Usinagem	01	0,8
	Mancal do braço	Fabricado	Usinagem	01	5,3
	Eixo do rolamento	Fabricado	Usinagem	01	0,6
	Anel elástico Ø10	Comprado	-	01	0,1
	Rolamento 6000 ZZ	Comprado	-	01	3,0
	Rolamento 6003 ZZ	Comprado	-	01	4,5
	Anel elástico Ø35	Comprado	-	01	0,6
	Batente do braço	Fabricado	Usinagem	01	2,5
Braço Lado Esquerdo do Came	Braço esquerdo do came	Fabricado	Corte Laser	01	6,6
	Fixação do batente	Fabricado	Corte Laser	01	1,5
	Parafuso M5X10	Comprado	-	02	0,2
	Arruela Lisa M5	Comprado	-	02	0,1
	Pino engate do esticador	Fabricado	Usinagem	01	1,5
	Arruela lisa M6	Comprado	-	01	0,03
	Mancal do braço	Comprado	Usinagem	01	5,3
	Eixo do rolamento	Fabricado	Usinagem	01	0,6
	Anel elástico Ø10	Comprado	-	01	0,1
	Rolamento 6000 ZZ	Comprado	-	01	3,0
	Rolamento 6003 ZZ	Comprado	-	01	4,5
	Anel elástico Ø35	Comprado	-	01	0,6
	Batente do braço	Fabricado	Usinagem	01	2,5

Fonte: o autor.

4.1.2 Conjunto da base

O conjunto da base é composto por 15 componentes fabricados, e percebe-se a ausência de componentes padronizados ou comprados.

Na análise deste conjunto foram incluídos os componentes que fixam o sistema de came e os conjuntos dos gatilhos. Desta forma a Tabela 4 apresenta o conjunto da base e suas fixações.

Tabela 4 - Detalhamento do conjunto da base do mecanismo

Subconjunto	Componente	Tipo	Processo de fabricação	Quantidade (un.)	Parcela do custo (%)
Base do mecanismo	Chapa da base	Fabricado	Corte Laser	01	46,01
	Chapa da trava noturna	Fabricado	Corte Laser	01	3,60
	Camisa do eixo principal	Fabricado	Usinagem	01	16,95
	Batente do guia do came	Fabricado	Corte Laser	02	11,74
	Suporte freio do came	Fabricado	Corte Laser	01	3,12
	Reforço da trava noturna	Fabricado	Corte Laser	02	1,02
	Suporte do solenoide	Fabricado	Corte Laser	01	1,89
	Suporte do amortecedor	Fabricado	Corte Serra	01	2,03
	Batente dos gatilhos	Fabricado	Corte + Dobra	02	0,17
	Pino engate da mola	Fabricado	Usinagem	02	0,30
	Eixo do amortecedor	Fabricado	Usinagem	01	1,04
	Eixo do antiretorno e came	Fabricado	Usinagem	01	4,55
	Eixo braço esquerdo	Fabricado	Usinagem	01	2,13
	Eixo do travamento	Fabricado	Usinagem	01	3,02
	Eixo do apoio do came	Fabricado	Usinagem	01	0,23
Elementos de fixação	Anel elástico Ø25	Comprado	-	02	0,53
	Anel elástico Ø8	Comprado	-	04	0,22
	Rolamento 608 ZZ	Comprado	-	01	0,87
	Espaçador de rolamentos	Fabricado	Usinagem	01	0,59

Fonte: o autor.

4.1.3 Conjunto dos gatilhos

Os gatilhos de anti-retorno e amortecimento são compostos por 7 componentes fabricados e 7 componentes adquiridos de fornecedores. Além dos processos de fabricação mencionados nos componentes anteriores nestes conjuntos teremos a adição do processo de cementação nos gatilhos, para aumento da vida útil dos mesmos.

A Tabela 5 caracteriza os conjuntos conforme os itens anteriores e também identifica os componentes que receberão a cementação.

Tabela 5 - Detalhamento dos conjuntos dos gatilhos

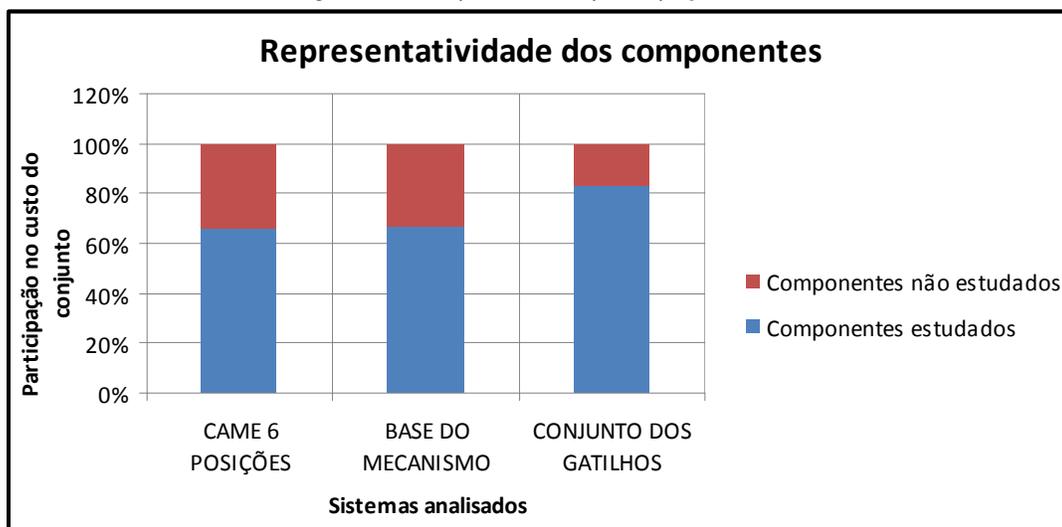
Subconjunto	Componente	Tipo	Processo de fabricação	Quantidade (un.)	Parcela do custo (%)
Gatilho de anti-retorno	Gatilho de anti-retorno	Fabricado	Corte Laser / Cementação	01	4,9
	Chapa esticador da mola	Fabricado	Corte Laser	01	3,36
	Pino engate da mola	Fabricado	Usinagem	01	0,24
	Camisa do anti-retorno	Fabricado	Usinagem	01	14,21
	Rolamento 6005 ZZ	Comprado	-	01	11,29
	Anel elástico Ø47	Comprado	-	01	1,53
	Mola de tração	Comprado	-	01	9,66
Gatilho do amortecimento	Gatilho do amortecimento	Fabricado	Corte Laser / Cementação	01	14,24
	Chapa batente do gatilho	Fabricado	Corte Laser	01	4,58
	Rebite engate da mola	Comprado	-	01	0,28
	Camisa do amortecimento	Fabricado	Usinagem	01	13,18
	Rolamento 6005 ZZ	Comprado	-	01	11,29
	Anel elástico Ø47	Comprado	-	01	1,53
	Mola de tração	Comprado	-	01	9,66

Fonte: o autor.

4.1.4 Representatividade dos componentes selecionados

Juntos os três sistemas analisados possuem 63 componentes. Destes apenas 16 serão avaliados (25% aproximadamente), porém a sua representatividade no custo total dos conjuntos é de 75%, conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Componentes X participação no custo.



Fonte: o autor.

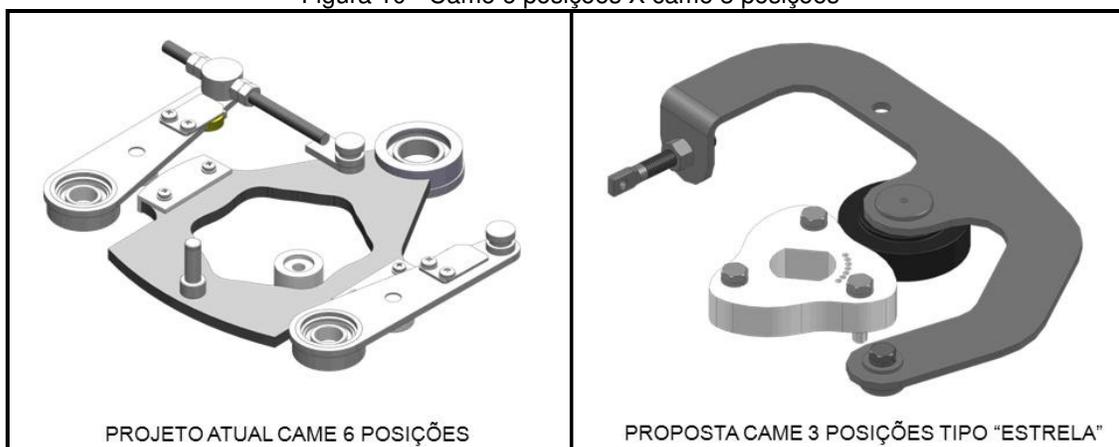
4.2 VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DO COMPONENTE E PROPOSTA DE PROJETO

A verificação da necessidade de cada componente enquadrado no contexto proposto no item 4.1, leva em consideração a relevância do mesmo para o atendimento dos requisitos funcionais de cada conjunto.

4.2.1 Proposta para o conjunto de came 6 posições

O conjunto de came 6 posições apresenta 7 itens a serem estudados, porém existe uma dependência dos componentes e ao mesmo tempo estes participam ativamente do requisito de controlar e pré-posicionar as folhas do carrossel. Deste modo a proposta de alteração deste conjunto será única e atingirá todos os componentes listados. A Figura 10 apresenta esta proposta em comparativo ao projeto atual.

Figura 10 - Came 6 posições X came 3 posições



Fonte: o autor.

A proposta para a alteração deste conjunto leva em consideração o método defendido por Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002), ou seja, a aplicação do DFM e DFA de forma conjunta. A primeira análise é quanto a simplificação da estrutura do produto (DFA), que neste caso foi a substituição do projeto de came interno de 6 posições por um came 3 posições tipo "estrela" e seguidor externo com braço guia alongado.

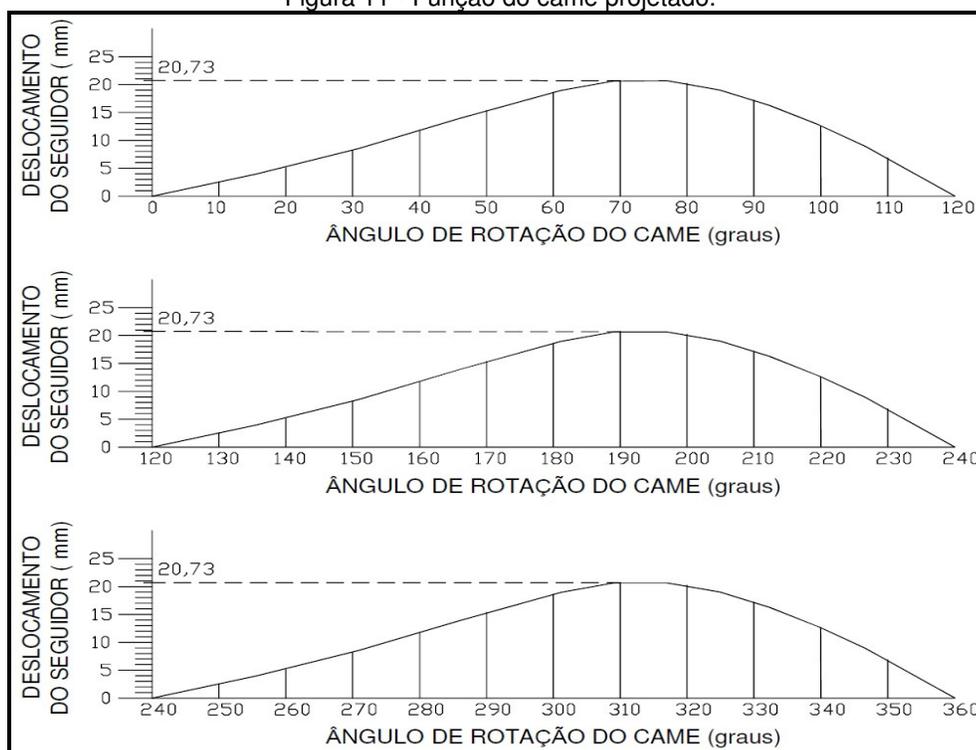
Com isso verifica-se uma expressiva simplificação e redução de componentes. Porém para o projeto do came de 3 posições e os outros elementos envolvidos atenderem aos requisitos funcionais e de qualidade houve a necessidade do desenvolvimento do came com características específicas.

Para a especificação das características primárias do came foram adotadas as recomendações de projeto propostas por Norton (2010). O tipo de came escolhido foi o radial, com seguidor de rolete e junta forçada por mola, e o programa de movimentação adotado foi o sobe-desce-para (SDP).

Segundo Norton (2010), o caminho mais fácil para selecionar a função matemática que descreve o movimento é “linearizar” o came, isto é, desenvolvê-lo a partir de sua forma circular e considerá-la uma função desenhada nos eixos cartesianos. A Figura 11 apresenta o desenvolvimento do came proposto.

O came de três posições desenvolvido gera uma curva que parte do ponto zero e atinge o deslocamento máximo do rolete em 20,73 mm e em seguida retorna ao ponto zero, sendo que esta curva descreve uma rotação de 120°, ou seja, para uma rotação completa a mesma curva é descrita 3 vezes.

Figura 11 - Função do came projetado.



Fonte: o autor

Contudo como o objetivo deste trabalho não trata do projeto do came o resultado final será obtido a partir da fabricação de um modelo e ajustado este nos testes de funcionalidade do protótipo.

Para a simplificação dos processos de fabricação (DFM), adotaram-se as premissas do Poka-Yoke, para reduzir a quantidade de operações necessárias para a fabricação do componente, simplificar sua montagem e colaborar na sua montagem correta. A Tabela 6 apresenta o detalhamento da proposta para o came de 3 posições.

Tabela 6 - Detalhamento da proposta de came 3 posições.

Subconjunto	Componente	Tipo	Processo de fabricação	Quantidade (un.)
Came 3 posições	Came 3 posições “estrela”	Fabricado	Corte jato d’água	01
	Paraf. Sext. M8x35	Comprado	-	03
	Arruela de Pressão M8	Comprado	-	03
	Braço guia alongado	Fabricado	Corte Laser / Dobra	01
	Parafuso esticador da mola	Comprado	-	01
	Porca Sext. M10	Comprado	-	02
	Mancal do braço	Fabricado	Usinagem	01
	Parafuso Sext. M8x20	Comprado	-	01
	Arruela Lisa M8	Comprado	-	01
	Arruela Pressão M8	Comprado	-	01
	Eixo do Seguidor	Fabricado	Usinagem	01
	Seguidor externo	Fabricado	Corte jato d’água	01
	Anel elástico Ø30	Comprado	-	01

Fonte: o autor.

A proposta de projeto apresentada para o came é, portanto composta por 08 componentes comprados e 05 componentes fabricados apresentando então uma redução de aproximadamente 62% no número de componentes, mantendo os requisitos funcionais e de qualidade dentro do padrão da empresa.

4.2.2 Proposta para o conjunto da base

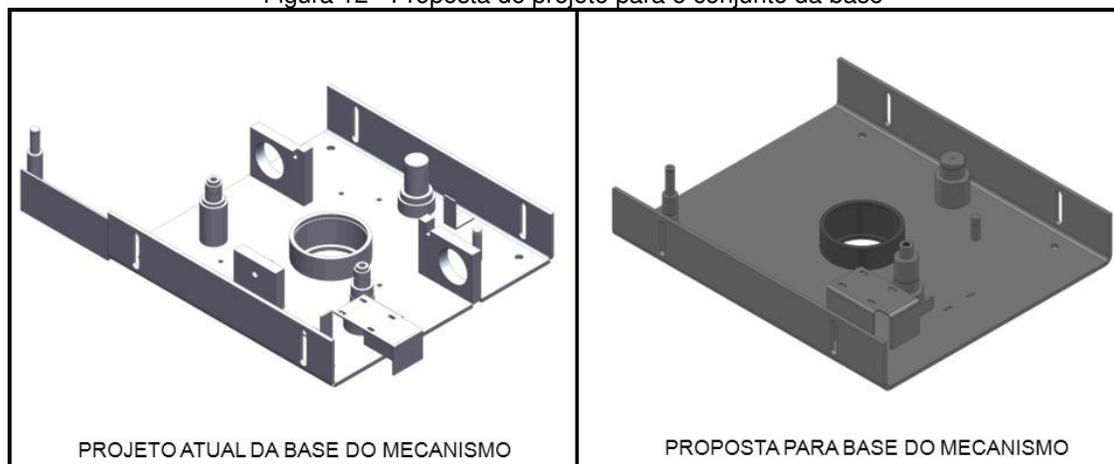
O conjunto da base apresenta 3 componentes a serem analisados, sendo a chapa da base, a camisa do eixo principal e o batente do guia do came que será eliminado devido à proposta apresentada para o projeto do came.

A camisa do eixo principal será mantida sem alterações em seu projeto, devido à necessidade de robustez na mancalização do eixo principal do conjunto do carrossel.

A chapa da base sofrerá modificação no posicionamento e na quantidade das furações necessárias para o posicionamento de alguns itens e na eliminação do processo de soldagem, devido novamente à proposta para o projeto do came. Isso resultará em um componente de fabricação mais rápida e com custo reduzido, como a idéia defendida por Catapan, Forcellini e Ferreira (2004).

A Figura 12 apresenta esta proposta em comparativo ao projeto atual.

Figura 12 - Proposta de projeto para o conjunto da base



Fonte: o autor.

Para este conjunto o ganho percebido após o reprojeto está na racionalização dos componentes e a adoção de elementos que auxiliam na montagem dos itens no conjunto maior.

Os componentes chapas da base e da trava noturna receberam alterações para facilitar seu posicionamento correto durante o processo de soldagem, e o suporte do solenóide recebeu um acréscimo de material que elimina a necessidade de fabricação de um pino para engate da mola. A Tabela 7 apresenta a proposta para o conjunto da base e os processos requeridos por seus componentes.

Tabela 7 - Detalhamento da proposta do conjunto da base

Subconjunto	Componente	Tipo	Processo de fabricação	Quantidade (un.)
Base do mecanismo	Chapa da base	Fabricado	Corte Laser	01
	Chapa da trava noturna	Fabricado	Corte Laser	01
	Reforço da trava noturna	Fabricado	Corte Laser	02
	Camisa do eixo principal	Fabricado	Usinagem	01
	Suporte do solenoide	Fabricado	Corte Laser	01
	Eixo do amortecedor	Fabricado	Usinagem	01
	Pino engate da mola	Fabricado	Usinagem	01
	Eixo do antiretorno	Fabricado	Usinagem	01
	Eixo do amortecimento e braço do guia do came	Fabricado	Usinagem	01
Elementos de fixação	Anel elástico Ø25	Comprado	-	02

Fonte: o autor.

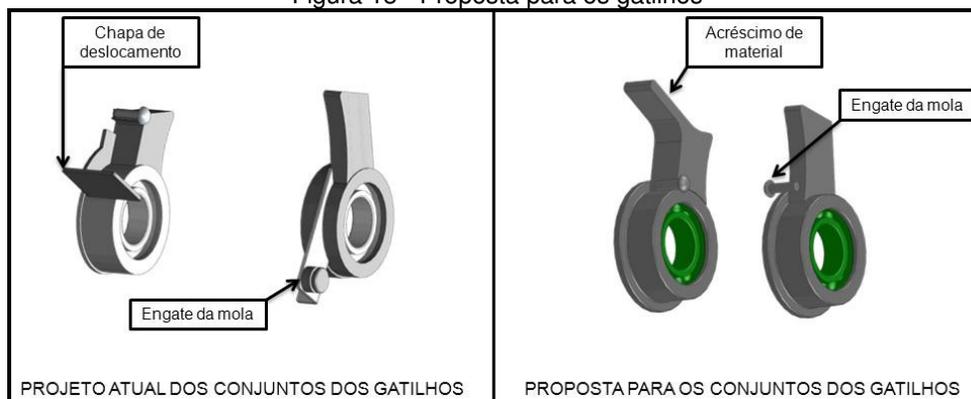
A proposta de projeto apresentada para a base do mecanismo é composta por 09 componentes fabricados e 01 elemento de fixação apresentando então uma redução de aproximadamente 48% no número de componentes, comportando perfeitamente o novo conjunto de came.

4.2.3 Proposta para o conjunto dos gatilhos

Os conjuntos dos gatilhos apresentam 7 itens a serem analisados, neste caso a proposta direciona-se a simplificação de montagem dos conjuntos eliminando componentes soldados por alterações de geometria.

A chapa de deslocamento soldada indicada na Figura 13, é substituída por um acréscimo de material no próprio gatilho. A eliminação do pino usinado para engate da mola é possível substituindo o por um rebite soldado, que terá a mesma função.

Figura 13 - Proposta para os gatilhos



Fonte: o autor.

A Tabela 8 apresenta o detalhamento da proposta de modificação para os conjuntos dos gatilhos.

Tabela 8 - Detalhamento da proposta do conjunto dos gatilhos

Subconjunto	Componente	Tipo	Processo de fabricação	Quantidade (un.)
Gatilho do Amortecimento	Mancal do Gatilho	Fabricado	Corte Laser	01
	Gatilho do Amortecimento	Fabricado	Corte Laser	01
	Rolamento 6005 ZZ	Comprado	-	01
	Anel elástico Ø47	Comprado	-	01
Gatilho do Anti-retorno	Mancal do Gatilho	Fabricado	Corte Laser	01
	Gatilho do Anti-retorno	Fabricado	Corte Laser	01
	Rolamento 6005 ZZ	Comprado	-	01
	Anel elástico Ø47	Comprado	-	01

Fonte: o autor.

A proposta de projeto apresentada para os gatilhos é composta por 04 componentes fabricados e 04 componentes comprados apresentando então uma redução de aproximadamente 43% no número de componentes, além de ter sua fabricação simplificada sem a necessidade de gabaritos de posicionamento.

4.2.4 Proposta para redução de esforços

O desenvolvimento das propostas para o conjunto da base e os conjuntos dos gatilhos, proporcionou a possibilidade de alteração na posição do eixo que suporta o conjunto do gatilho de amortecimento.

O intuito desta modificação é reduzir a componente resultante da força de amortecimento e bloqueio do giro da porta, sobre a extremidade do gatilho de amortecimento, e transmiti-la com maior intensidade para o centro do eixo que suporta o conjunto.

A Figura 14 mostra como o conjunto gatilho de amortecimento apresenta desgaste em sua extremidade. Este desgaste pode aparecer em um curto intervalo de tempo, devido à intensa utilização do sistema de amortecimento e bloqueio da porta.

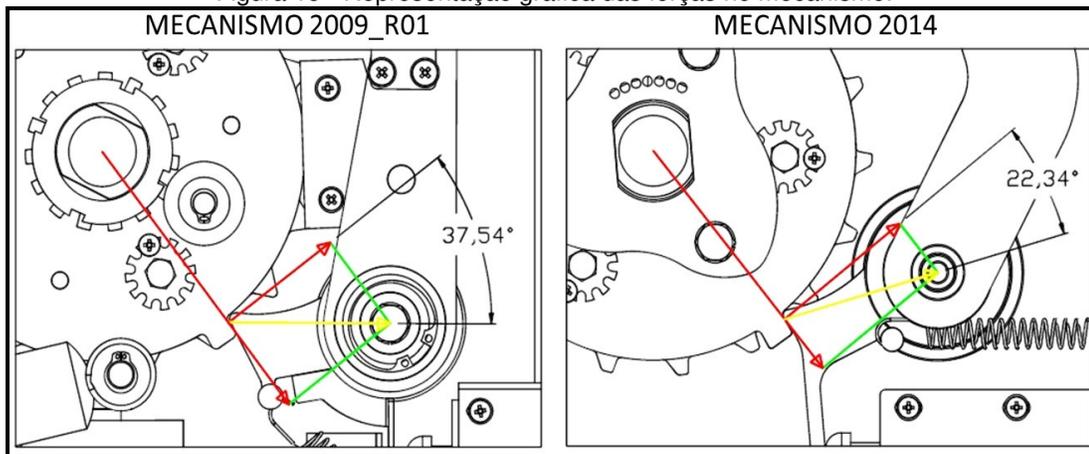
Figura 14 - Conjunto do gatilho do amortecimento com desgaste.



Fonte: o autor.

A Figura 15 apresenta a representação gráfica das componentes da força atuando sobre o projeto do mecanismo 2009_r01 e sobre a proposta elaborada para o projeto do mecanismo 2014.

Figura 15 - Representação gráfica das forças no mecanismo.



Fonte: o autor.

A proposta apresentada reduz o ângulo de atuação da componente da força de aproximadamente 38° para 22° , com esta redução o vetor força resultante passa a atuar sobre o conjunto do gatilho e seu eixo de apoio, reduzindo assim a força pontual sobre sua extremidade.

Esta análise pode ser realizada de duas formas a gráfica como foi apresentada anteriormente e a analítica, e desta forma como as forças atuam perpendicularmente uma da outra então pode-se aplicar o teorema de Pitágoras e verificar que a proposta elaborada reduz cerca de 15% a intensidade da força resultante.

Contudo esta proposta será desenvolvida como uma continuidade do trabalho visando o aumento da vida do mecanismo da PGDM.

4.3 PROJETO PARA DFMA E POKA-YOKE

Os projetos propostos para os conjuntos dos gatilhos, do suporte do solenóide e da base adotam técnicas que simplificam a fabricação dos componentes e priorizam sua montagem correta com a mínima intervenção de dispositivos externos aos conjuntos.

Para uma melhor caracterização é apresentado neste tópico dois itens que resumem as alternativas utilizadas para o projeto pensado para manufatura e os dispositivos Poka-Yoke adotados.

O suporte do solenóide de acionamento do gatilho de amortecimento é confeccionado em chapa fina fria com espessura de 1,2 milímetros, cortada a laser e dobrada em uma dobradeira de cunho, conforme a Figura 16.

A proposta para o suporte apresenta duas *features* Poka-yoke:

A primeira é um recorte no ponto de soldagem que serve como guia de montagem. Esse guia é encaixado em rasgos na chapa da base, dispensando a utilização de gabarito de montagem e posicionamento.

A segunda *feature* se refere à adição de recortes em “v” opostos nas posições de dobra, servindo como marcação e assim a operação de dobra se torna mais rápida e precisa.

Ainda neste componente foi adicionado um prolongamento lateral para engate da mola do gatilho de amortecimento, esta modificação resulta na eliminação de um pino usinado, na eliminação de furação na base e do processo de soldagem do pino na base, simplificando assim conforme as premissas do DFMA. Esta modificação começou a ser elaborado durante a verificação da necessidade do pino de engate da mola, que se encontrava posicionado próximo ao suporte.

Assim conforme mencionado no item 3.5, as três questões foram aplicadas ao pino e apresentaram as respostas conforme o Quadro 5.

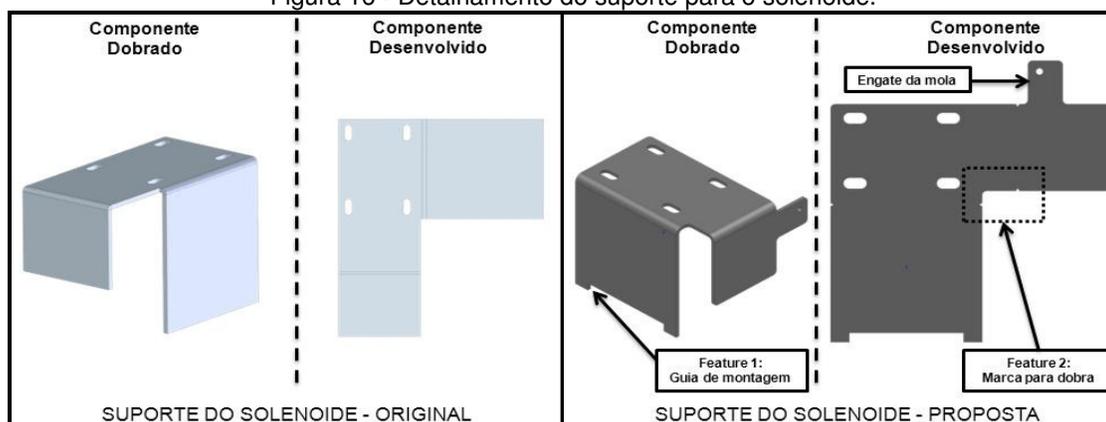
Quadro 5 - Questões segundo o método de projeto.

Questão	Resposta
O componente tem movimento relativo ao componente vizinho?	NÃO
O material do componente deve ser diferente do material do componente vizinho?	NÃO
O componente deve ser separado das partes vizinhas, para permitir montagem e desmontagem?	NÃO
Resultado: o componente pode ser eliminado ou substituído.	

Fonte: o autor.

E então desta forma verificou-se que o pino não era uma solução ideal de engate para a mola do solenóide. A partir desta certeza a proposta elaborada surgiu como uma alternativa mais simples e de fácil execução.

Figura 16 - Detalhamento do suporte para o solenóide.



Fonte: o autor.

Outro exemplo é o conjunto do gatilho de amortecimento, que recebeu um acréscimo de material com o intuito de eliminação de processos de fabricação, conforme pode ser observado na Figura 17.

A chapa de encosto do solenóide além dos processos de corte e dobra, requerido para a sua fabricação necessita do processo de soldagem em gabarito para garantia do posicionamento correto.

A proposta para este projeto valeu-se da ideia do DFMA, que sugere a incorporação de um elemento a outro, caso este não tenha a necessidade de

movimentação, caso a diferença de material não seja necessário e tampouco seu processo de desmontagem. Do mesmo modo que foi apresentado no Quadro 5.

Então o conjunto resultante tem uma montagem simplificada e sem a necessidade de gabarito de posicionamento.

Figura 17 - Detalhamento do conjunto do gatilho de amortecimento.



Fonte: o autor.

4.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E PROTÓTIPO

4.4.1 Análise dos resultados

Os resultados práticos do projeto que evidenciam a eficiência do método proposto são as reduções na quantidade de componentes e de processos de fabricação dos conjuntos que compõem o mecanismo e a relação destas com o custo de fabricação.

As propostas que considerarão o DFMA resultaram em uma redução da necessidade de componentes e processos de fabricação, já as propostas com base nos conhecimentos do Poka-Yoke simplificaram as montagens e possibilitaram a sua execução com maior precisão.

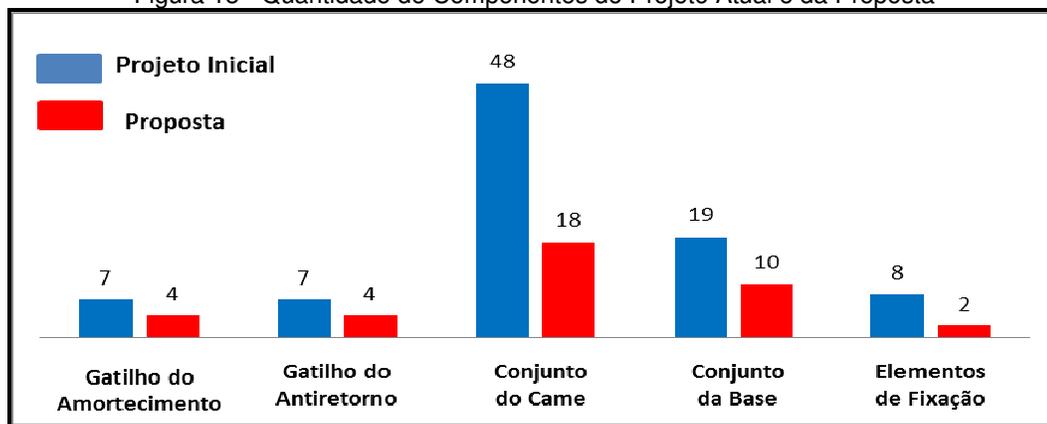
Com relação à redução na quantidade de componentes comprados e ou fabricados o Figura 18 faz uma comparação entre o projeto anterior e a proposta apresentada.

Aplicando esta análise ao contexto do projeto do mecanismo completo verifica-se uma redução de 35% na quantidade de componentes, ou seja, onde 187

componentes eram necessários o mecanismo 2009_r01 a proposta reduziu este número para 120 componentes para a versão 2014 do mecanismo da PGDM.

Isso sob a ótica dos custos de fabricação de tal mecanismo observa-se uma redução de 12%, deste modo a cada 8 mecanismo fabricados usando o novo projeto faz-se uma economia capaz de fabricar um mecanismo completo a mais.

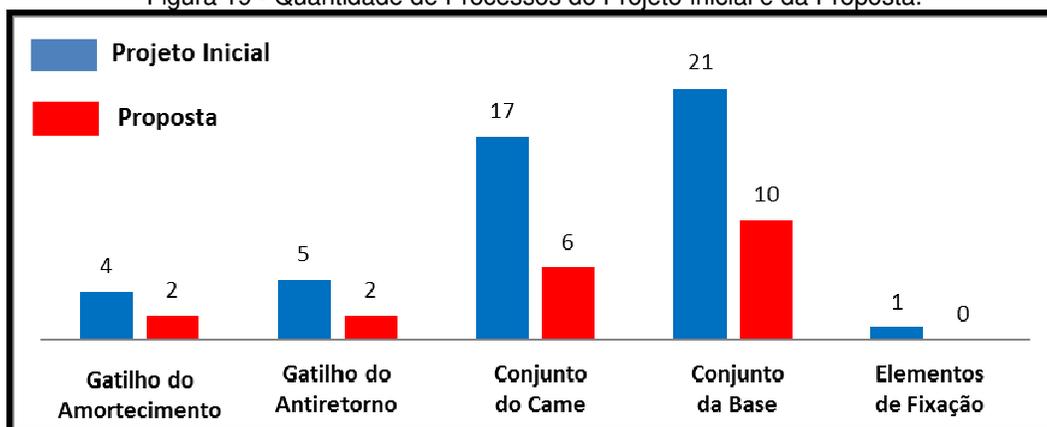
Figura 18 - Quantidade de Componentes do Projeto Atual e da Proposta



Fonte: o autor.

Após o projeto, do ponto de vista de processos de fabricação, não houve uma redução dos tipos de processos usados e tampouco o desenvolvimento de um novo processo, houve sim uma redução na quantidade de processos necessários para a fabricação do mecanismo, como pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 - Quantidade de Processos do Projeto Inicial e da Proposta.



Fonte: o autor.

A medição deste ganho é feita durante a fabricação em linha do mecanismo 2014. Porém para isso a produção do novo projeto deve ser regular e contínua para que as tomadas de tempo sejam possíveis e corretas, já que o custo de fabricação é

diretamente ligado ao tempo de processamento de cada componente. Como neste momento do desenvolvimento o projeto está na fase de protótipo é possível a análise apresentada, somente comparando os processos requeridos para os conjuntos projetados conforme a Figura 19.

4.4.2 Protótipo e Testes

Após o modelamento e detalhamento dos componentes foi iniciada a fabricação de um protótipo para verificação dos requisitos funcionais e de qualidade, bem como a viabilidade da fabricação dos componentes.

A seguir serão apresentados os protótipos de cada um dos conjuntos e sistemas propostos, uma avaliação com relação a sua fabricação e a verificação das possibilidades de melhorias que o protótipo apresentou.

O sistema de came três posições proposto apresentou duas possibilidades de melhorias durante a confecção do protótipo, uma delas relacionada à rigidez do conjunto do braço guia e outra relacionada ao ponto de descanso do came.

Inicialmente o braço guia deveria ser montado no eixo através de um parafuso e uma bucha que faria o papel do mancal da articulação, esta bucha seria desmontável e não solidária ao braço. Porém, após a montagem do conjunto e durante os testes iniciais o braço guia apresentou instabilidade no movimento. Havia perda de contato entre o came e o seguidor. Desta forma esta bucha passou a ser soldada ao braço, criando maior rigidez ao conjunto e promovendo o contato permanente entre o came e o seguidor, Figura 20.

Figura 20 - Possibilidade de melhoria no braço guia.

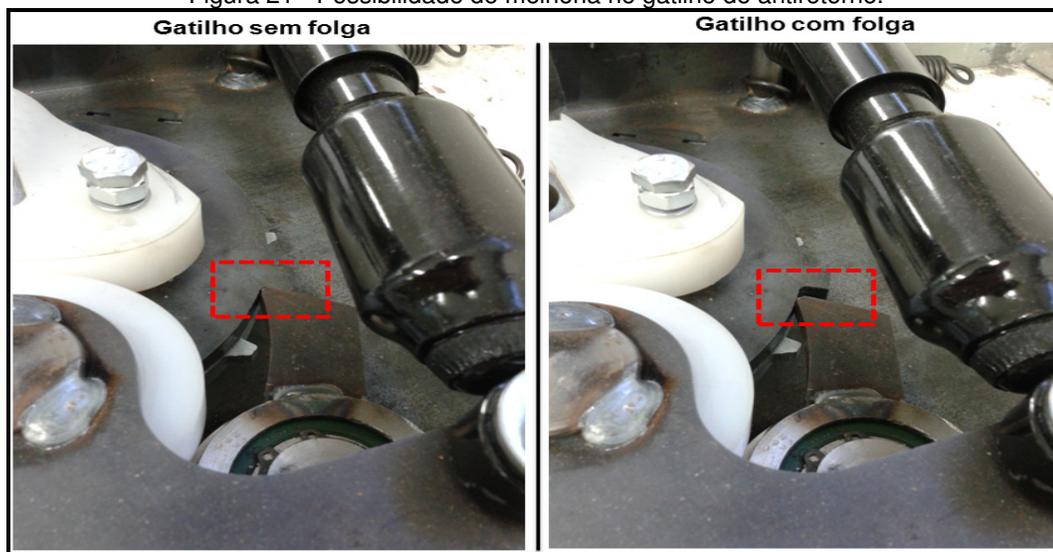


Fonte: o autor.

A outra possibilidade de melhoria estava relacionada ao ponto zero do came, onde o seguidor permanece em descanso.

Este ponto estava deslocado 5 milímetros no sentido oposto ao movimento das folhas da porta, desta forma quando o carrossel é preposicionado pela mola e pelo amortecedor, o gatilho de antiretorno fica sem folga com relação ao dente de bloqueio. Isto resultou em um impacto durante a finalização do movimento, conforme a Figura 21. Como correção a curvatura do came foi alterada e uma nova amostra foi confeccionada.

Figura 21 - Possibilidade de melhoria no gatilho de antiretorno.



Fonte: o autor.

O conjunto da base teve uma montagem simples, contudo observou-se um excesso de solda em componentes que não sofrem solicitações mecânicas severas, como um aperfeiçoamento do processo foi criado um desenho específico para soldagem do conjunto, onde todos os pontos de solda foram especificados, conforme pode ser observado no Apêndice A e na Figura 22.

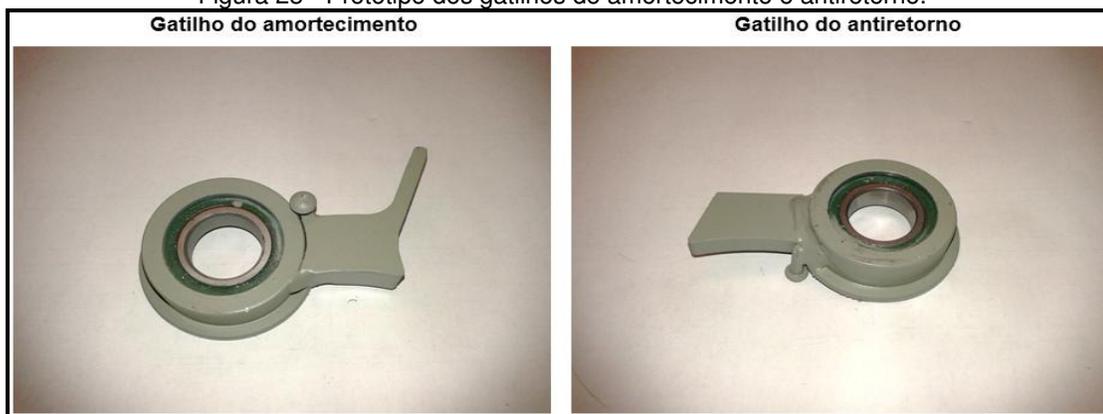
Figura 22 - Protótipo para o conjunto da base.



Fonte: o autor.

A proposta para o conjunto dos gatilhos apresentou uma montagem simples sem a necessidade de dispositivo ou ferramental especializado, conforme a Figura 23. Contudo inicialmente o projeto previa a substituição das molas de tração por molas de torção com o intuito de eliminar os componentes de montagem da mola, porém o custo de aquisição da mola de torção ficou superior à soma dos itens eliminados e a mola de tração, além de elevar o tempo necessário para montar o conjunto gatilho e mola, inviabilizando assim esta modificação.

Figura 23 - Protótipo dos gatilhos de amortecimento e antiretorno.

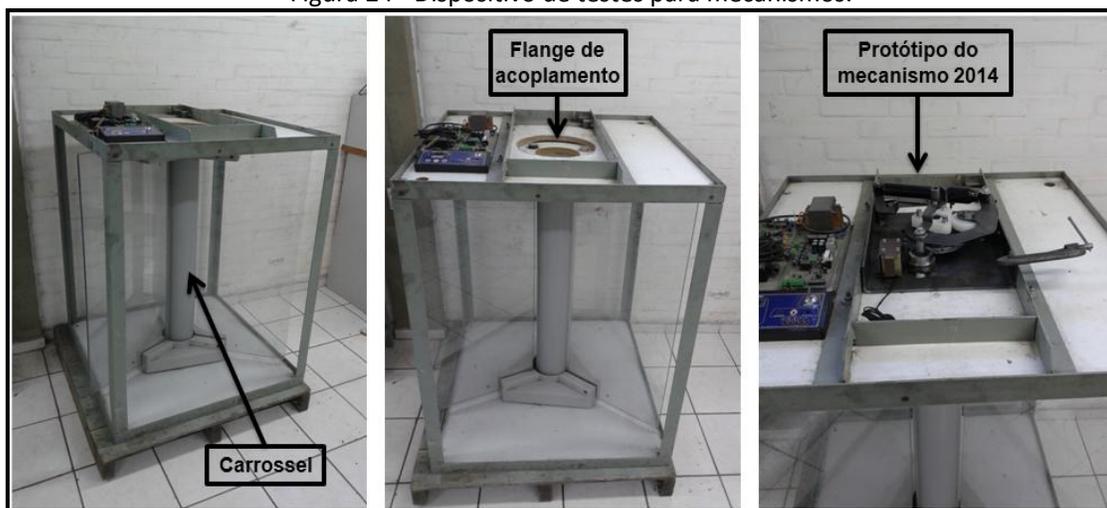


Fonte: o autor.

A Figura 24 apresenta o dispositivo de testes usado para validar os requisitos funcionais e de qualidade do mecanismo. Este dispositivo simula as características

mecânicas de uma PGDM com a possibilidade de substituição rápida e simples do mecanismo além da possibilidade de visualização mais precisa do posicionamento do carrossel com relação ao mecanismo. Verifica-se também que as dimensões em escala reduzida do dispositivo não implicam na validação dos requisitos funcionais e de qualidade, isso se dá devido ao método comparativo adotado, onde o mecanismo 2009_r01 foi testado inicialmente no dispositivo para obtenção dos parâmetros que posteriormente foram comparados aos do mecanismo proposto.

Figura 24 - Dispositivo de testes para mecanismos.



Fonte: o autor.

O método aplicado apresentou os resultados conforme o Quadro 6 a seguir.

Quadro 6 - Resultado do teste do mecanismo 2014.

Requisitos Funcionais	Resultado		
	Aprovado	Reprovado	Observações
Controlar a rotação do carrossel:	X		
Pré-posicionar do carrossel:	X		
Amortecer e Bloquear o carrossel:	X		
Bloquear a rotação inversa do carrossel:	X		
Requisitos de Qualidade	Resultado		
	Aprovado	Reprovado	Observações
Suavidade de rotação e pré-posicionamento:	X		Atenção na regulagem da mola de tração.
Ruídos durante a rotação:	X		Adicionar calços flexíveis para absorção de vibrações e impactos nos gatilhos.

Fonte: o autor.

Além dos requisitos funcionais e de qualidade deve-se mencionar também a satisfação total dos seguintes critérios elencados no item 3.3:

- não houve a necessidade do desenvolvimento de um novo processo de fabricação;
- o método de posicionamento adotado durante o projeto de componentes (Poka-Yoke), mostrou-se eficaz para a garantia de uma montagem correta do mecanismo;
- houve uma significativa diminuição na quantidade de componentes e processos, como pode ser observado nas Figuras 18 e 19;
- quanto ao novo mecanismo ser intercambiável com os modelos anteriores da PGDM, será necessário o desenvolvimento de um adaptador para os modelos fabricados na versão 1998;

Deste modo considera-se a proposta apresentada aprovada para a próxima etapa, que é a fabricação de um lote piloto da PGDM com o novo modelo de mecanismo embarcado. Este lote será acompanhando em campo por um período de 6 meses, portanto o lançamento oficial do mecanismo será no segundo semestre do ano de 2015.

A estratégia para lançamento do novo mecanismo foi uma opção da empresa em conjunto com o departamento de engenharia eletrônica e mecânica, assim optou-se por lançar simultaneamente o novo mecanismo, o novo conjunto de detector de metais e um reprojeto estético da caixa de passagem e itens de acabamento da PGDM.

5 CONCLUSÃO

O projeto do mecanismo da porta giratória detectora de metais por meio da abordagem do projeto para manufatura e montagem, mostrou-se eficaz do ponto de vista da utilização de conceitos que simplificam e orientam um projeto para a produção e redução de custos. Apresentando índices de 35% na redução de componentes fabricados e por volta de 12% no custo da fabricação do mecanismo.

Assim o método adotado de Boothroyd, Dewhurst e Knight (2002), neste desenvolvimento em particular, onde um mecanismo com 5 anos de produção está passando por uma revisão e atualização, mostrou-se eficiente do ponto de vista do entendimento do mecanismo 2009_r01, principalmente devido a não disponibilidade do histórico completo de seu desenvolvimento inicial. E também do ponto de vista da redução de componentes, como por exemplo, fixação e pinos para engates de molas.

Para o trabalho apresentar os resultados mencionados, a avaliação realizada no projeto do mecanismo 2009_r01 foi crucial para o entendimento dos requisitos funcionais de cada subconjunto e sua cadeia produtiva, e a partir deste entendimento elaborar a proposta mais econômica e que melhor utiliza os recursos disponíveis na empresa.

A aplicação dos conceitos de DFA e DFM de forma conjunta resultou em uma redução significativa de componentes e processos de fabricação. E ainda a filosofia Poka-Yoke mostrou-se uma grande aliada do DFM no projeto, sendo aplicada na fabricação de componentes e principalmente na montagem de subconjuntos.

O protótipo fabricado para validação dos requisitos funcionais e de qualidade demonstrou a importância do modelo para também avaliar os processos de fabricação e de montagem.

Para a empresa estes resultados mostram-se interessantes, pois a possibilidade de aplicação do mesmo método a outros produtos poderá representar um diferencial significativo na sua afirmação como líder do segmento.

Por fim conclui-se que o projeto do mecanismo atendeu as expectativas e objetivos propostos e o método de projeto que considera o DFMA e o Poka-Yoke como balizadores do trabalho é funcional e será utilizado em futuros desenvolvimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product design for manufacture and assembly**. 2.ed. rev. e exp. Boca Raton, US: Taylor & Francis Group, 2002. 698 p. ISBN 082470584X.

BRITO, A. C.; CERQUEIRA R. C.; DORNELES M. G.; TRABASSO L.G. USE OF POKA YOKE AND DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY ON NEW PRODUCTS´ DEVELOPMENT. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 20., 2009, Gramado. **Proceedings of COBEM 2009**. Gramado: Abcm, 2009. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/cobem/2009/PRD.htm>>. Acesso em: 12 maio 2014.

CALARGE, F. A.; DAVANSO, J. C. Conceito de Dispositivos à Prova de Erros Utilizados na Meta do Zero Defeito em Processos de Manufatura. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, Sp, v. 11, n. 21, p.7-18, 14 abr. 2004.

CATAPAN, M. F.; FORCELLINI, F. A.; FERREIRA,C.V. **Recomendações do projeto preliminar em componentes de plástico injetados para a definição da forma de utilizando o DFMA**. V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - Curitiba, 2004.

HOLT, R.; BARNES, C. Towards an integrated approach to “Design For X”: an agenda for decision-base DFX research. **Research Engineering Design**, v. 21, 2010. Disponível em :< www.engineeringvillage.com>. Acesso em: 09/05/14.

IMAN. **Poka Yoke – métodos à prova de falhas**, São Paulo: Instituto IMAN. 1998.

KOSAKA, Gilberto. **JIDOKA**. 2006. Disponível em: < <http://www.lean.org.br/artigos/102/jidoka.aspx> >. Acesso em: 04 maio 2014.

MELLO, C. H. P.; TOLEDO, F. O.; AKAGI, D. A.; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C.; XAVIER A. F. Reprojeto de um dispositivo eletromecânico em uma abordagem de engenharia reversa integrada ao projeto para manufatura e montagem e à

prototipagem rápida. **Produção**, Itajubá, v. 21, n. 4, p.620-633, out. 2011. Trimestral. Disponível em: <<http://www.prod.org.br/files/v21n4/v21n4a06.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2014.

NORTON, R. L.. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2010. xix, 800 p. ISBN 9788563308191.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6a edição, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 411p., 2005

PEREIRA, M. W.; MANKE, A. L., **MDPA – Uma metodologia de desenvolvimento de produtos aplicado à engenharia simultânea**. Florianópolis: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, 2001.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos – uma referência para a melhoria do processo**. Editora Saraiva, São Paulo, 2006.

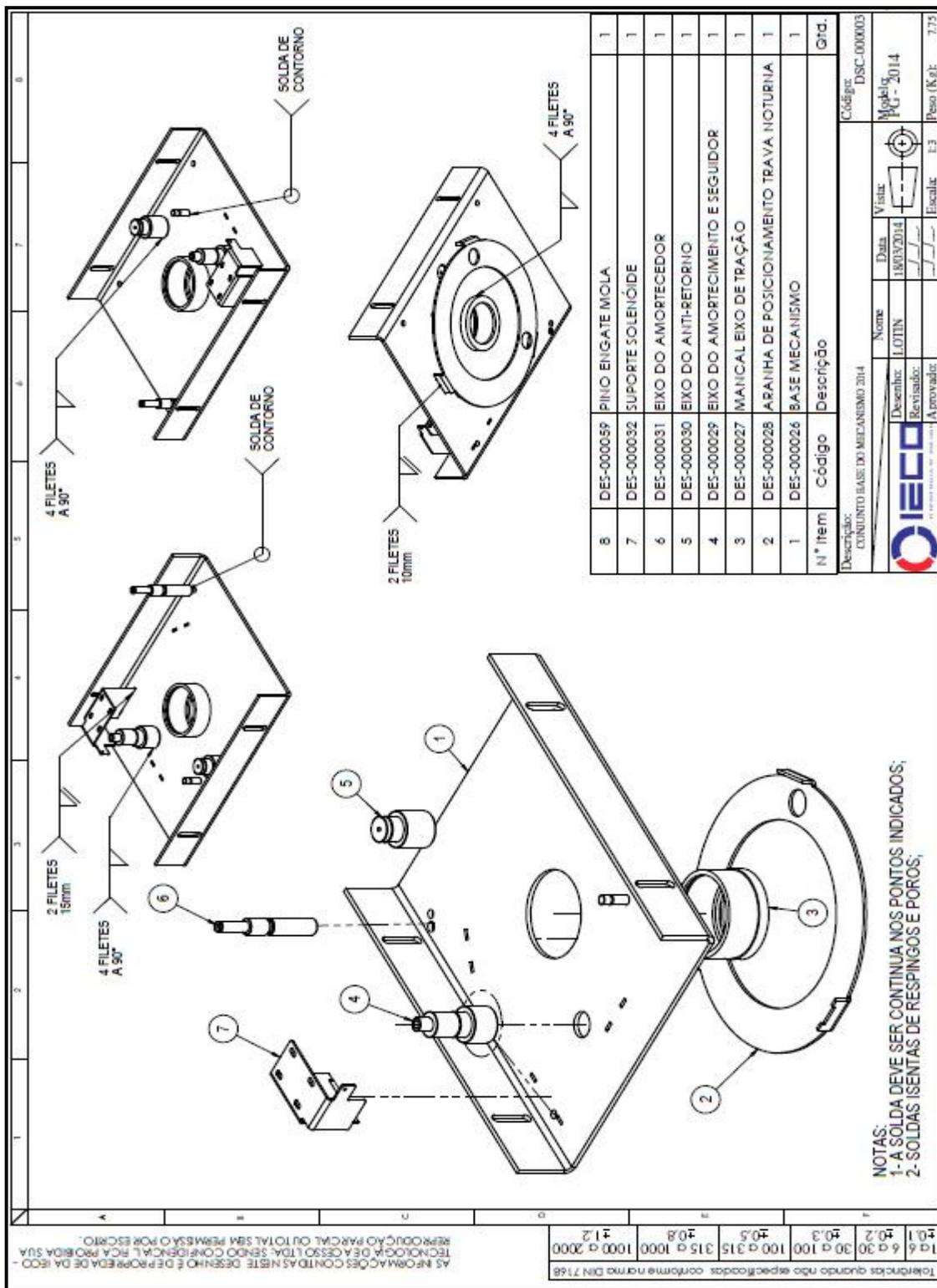
SAVI, A. F.; GONÇALVES FILHO, E. V.; SAVI, E. M. S.. Armazenamento de conhecimento explícito referente ao DFA (Design for Assembly) utilizando regras baseadas em casos. **Produção**, São Paulo, v. 20, n. 1, p.66-76, 2010.

SHINGO, S. The **Shingo Production Management System: improving process functions system**. Cambridge: Productivity Press: 1992.

SOUZA, J.F. **Desenvolvimento de produtos aplicando técnicas de Projeto para Montabilidade (DFMA) em uma abordagem de Engenharia Reversa (ER)**, São Paulo, XII SIMPEP, 08 nov. 2006.

YOUSSEF, M. A. Design for manufacturability and time-to-market Part 1: Theoretical Foundations. **International Journal of Operations & Production Management**, Vol.14, No.12, p.6-21, 1994.

APÊNDICE A – DESENHO TÉCNICO PARA ORIENTAÇÃO DE SOLDAGEM



Fonte: Engenharia IECO (2014)