



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS  
BIBLIOTECA PROF. DR. DANIEL JOSEPH HOGAN**



RAFAEL DE PAULA VILELA

**DRBFM: Dos fundamentos teóricos à aplicação**

Limeira  
2014



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS  
BIBLIOTECA PROF. DR. DANIEL JOSEPH HOGAN**



RAFAEL DE PAULA VILELA

## **DRBFM: Dos fundamentos teóricos à aplicação**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Manufatura à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Paiva Okabe

Limeira  
2014

V711d Vilela, Rafael de Paula  
DRBFM: Dos fundamentos teóricos à aplicação / Rafael de Paula Vilela. -  
Limeira, SP: [s.n.], 2014.  
25 f.

Orientador: Eduardo de Paiva Okabe.  
Co-orientador: Alcides José Scaglia.  
Monografia (Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de  
Ciências Aplicadas.

1. Engenharia de manufatura. 2. Processos de manufatura. 3. Confiabilidade  
(Engenharia). I. Okabe, Eduardo de Paiva. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.

Título em inglês: DRBFM: From theoretical fundamentals to application.

Keywords: - Manufacturing engineering;  
- Manufacturing process;  
- Reliability (Engineering).

Titulação: Bacharel em Engenharia de Manufatura.

Banca Examinadora: Prof. Dr. Eduardo de Paiva Okabe.  
Prof. Dr. Jaime Hideo Izuka.

VILELA, Rafael de Paula. DRBFM: Dos fundamentos teóricos à aplicação. 2014. 29 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Manufatura) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

## RESUMO

Este trabalho visa sugerir a utilização da ferramenta Design Review Based on Failure Mode (DRBFM) relacionada à prevenção de riscos durante a alteração de produto, desde seu conceito até a prática. Apresentou-se de forma simples e objetiva uma aplicação da ferramenta em questão e lições aprendidas relacionadas ao uso da mesma. Por esse motivo, foram apresentados conceitos sobre confiabilidade de sistemas, o que é uma mudança de engenharia, o conceito de Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) e suas diferenças comparado com DRBFM, conceitos de DRBFM e classificação de risco e impacto além de um exemplo prático. O desenvolvimento da ferramenta é baseada em duas fases sendo a primeira por conta do engenheiro responsável e a segunda por conta do time multifuncional. De modo que forma-se a base do estudo, o fórum de discussão e análise dos resultados dos testes de validação. Foi criado uma metodologia e fluxograma de trabalho que seguem passo a passo todas as etapas do DRBFM e utilizou-se de um contexto para realizar a mudança no processo de usinagem de pinhões. Para finalizar foi discutido dentro do contexto as etapas mais relevantes da ferramenta, os resultados dos testes e a rastreabilidade das informações entre aplicativos computacionais mostrando a funcionalidade desta ferramenta de prevenção de riscos durante a alteração de produto.

**Palavras chave:** Engenharia de manufatura. Processos de manufatura. Confiabilidade (Engenharia).

VILELA, Rafael de Paula. DRBFM: From theoretical fundamentals to application. 2014. 29 sheets. Undergraduate final project (Degree in Manufacturing engineering) – School of Applied Sciences, State University of Campinas, Limeira, 2014.

## **ABSTRACT**

This study aims to propose the use of Design Review Based on Failure Mode (DRBFM) related to the prevention of risks during product change from its concept to practice. It was presented in a simple and objective way of this tool application and lessons learned. Therefore, was presented concepts of system reliability, what is an engineering change, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) concept and its differences compared with DRBFM, DRBFM concepts and classification of risk and impact were presented along with a practical example. The development of the tool is based on two phases the first being in charge of responsible engineer and the second in charge of the multifunctional team. So that, was formed the basis, a forum for discussion and analysis of the results from the validation tests. Methodology and work flow chart to follow step by step all the stages of DRBFM and then used a context for making a change in the machining of pinion process. Finally discussed within the context of the most important stages of the tool, the test results and the traceability information of the computing application in showing the functionality of this risk prevention tool during product change.

**Keywords:** Manufacturing engineering. Manufacturing process. Reliability (Engineering).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Fatores determinantes da competitividade da indústria, adaptado de (COUTINHO e FERRAZ, 1994).....	6
<b>Figura 2</b> - PLATO SCIO™ aplicado no processo de engenharia, adaptado de <a href="http://www.plato.de/">http://www.plato.de/</a> .....	7
<b>Figura 3</b> - Problemas mais frequentes na implementação da engenharia simultânea, adaptado de (BACK, OGLIARI, et al., 2008) .....	8
<b>Figura 4</b> - Fundamentação da prevenção de problemas, adaptado de (ALLAN, 2014).....	11
<b>Figura 5</b> - Relação entre DFMEA & DRBFM, adaptado de (ALLAN, 2014).....	11
<b>Figura 6</b> - Parte 1 do fluxograma de trabalho. ....	13
<b>Figura 7</b> - Parte 2 do fluxograma de trabalho. ....	14
<b>Figura 8</b> – Detalhe do formulário DRBFM - Cabeçalho. ....	15
<b>Figura 9</b> - Detalhe do formulário DRBFM - Definição da alteração.....	16
<b>Figura 10</b> - Detalhe do formulário DRBFM – Primeira Análise. ....	17
<b>Figura 11</b> - Detalhe do formulário DRBFM – Segunda Análise. ....	18
<b>Figura 12</b> - Detalhe do formulário DRBFM – Frequência.....	18
<b>Figura 13</b> – Estudo de caso – Operação 70, primeira análise.....	19
<b>Figura 14</b> – Estudo de caso – Operação 70, segunda análise. ....	20
<b>Figura 15</b> – Estudo de caso – Teste de durabilidade e fadiga.....	21
<b>Figura 16</b> – Estudo de caso – Teste de torque do pinhão. ....	21
<b>Figura 17</b> – Estudo de caso – Teste de rack pull.....	22

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Abordagens do desenvolvimento de produtos, adaptado de (AMARAL, FORCELLINI, et al., 2006). ....	7
---	---

**SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. MOTIVAÇÃO .....	4
1.2. OBJETIVO .....	5
2. DESENVOLVIMENTO .....	5
2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	5
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS .....	12
2.2.1. FLUXOGRAMA DE TRABALHO .....	12
2.2.2. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	14
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
REFERÊNCIAS.....	23

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a evolução apresentada pelas teorias de evolução e desenvolvimento de produtos em engenharia também trouxe consigo uma preocupação essencial com a gestão dos riscos envolvidos durante o progresso das análises de mudanças pontuais. Esta preocupação vai desde a mera utilização básica e funcionalidade do produto, visando a minimização de falhas operacionais, características da “Engenharia de confiabilidade”, até o desenvolvimento de novos produtos com que se baseiam nas versões similares.

Como o projeto de produto evolui durante a fase de desenvolvimento, é importante ser capaz de captar novas descobertas sobre o desempenho do produto e modos de falha. Essas informações adicionais devem ser incorporados em estimativas de confiabilidade do produto ou a sua taxa de fracasso. Entende-se como alterações de produtos novas necessidades dos clientes, mudanças de especificação, normas e modificação da aplicação.

Dentro deste contexto, as atividades de Solicitação de Alteração em Engenharia, do inglês, Change Request (CR) de uma empresa têm sido caracterizadas como uma questão meramente teórica, tendo em vista novas perspectivas para a área de Engenharia de Confiabilidade. Esta abordagem envolve a correção entre as CR e as demais atividades da Engenharia de Produto e Aplicação tais como desenvolvimento de projeto, testes e validação, gestão do tempo e financeira. Assim, desta forma as técnicas mais recentes de se controlar uma CR tendem a se valer de práticas direcionadas a desempenho-aplicação, posto que a própria alteração passe a assumir um novo significado: aquela que a mudança pontual lhe atribui, conforme a importância para o global onde ela é aplicável.

Diante desta realidade, também as metodologias adotadas para gerir as CR passam a valer-se de novos recursos e, em destaque, a análise de modo e efeito de falhas - Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) uma técnica de antecipação e prevenção de problemas. De acordo com (CARLSON, 2012), o FMEA além de antecipar e prever problemas colabora com a redução de custos, diminuição do tempo de desenvolvimento de produtos e atingir segurança e confiabilidade alta de produto e processo. O FMEA destaca o nível de risco associado com todos os modos de falhas perceptíveis do projeto (classificado como Severidade \* Ocorrência \* Detecção).

Se um FMEA é conduzido corretamente, os documentos resultantes contêm conhecimentos sobre o projeto de produto, do processo ou administrativo. Portanto, eles são valiosas fontes de know-how para a empresa. Além do FMEA existe o Design Review Based on Failure Mode (DRBFM) que é uma ferramenta baseada no conceito GD<sup>3</sup> (Good Design, Good Discussion, Good Dissection) que será abordado mais a frente. O objetivo principal é fazer com que as alterações em engenharia sejam uma parte integrante do processo de desenvolvimento onde as equipes de desenvolvimento avaliam o risco de uma alteração e um meio de comunicação para analisar juntamente com os requisitos de clientes, normas e gestão. O conceito é mais amplo do que apenas identificar preocupações relacionadas ao produto em questão como o FMEA, não é uma ferramenta para confirmação de projeto, mas sim uma consideração sistemática da mudança de produtos e uma ferramenta para gerar ações preventivas relacionadas com uma mudança específica de um projeto. Tanto o FMEA quanto o DRBFM consideram questões de teste, fabricação e preocupações dos fornecedores, as implicações de custos, problemas de tempo, responsabilidade, danos à reputação da empresa, etc. E por fim no DRBFM uma lista de ações para gerir os riscos associados a mudança específica é produzida por departamento na fase de implementação. A classificação é dada como alto, médio ou baixo impacto e os responsáveis e datas para implementação precisam evidenciar e comprovar as ações finalizadas.

### **1.1. MOTIVAÇÃO**

Com a crescente pressão para aprimorar a qualidade, confiabilidade e redução dos custos com garantia, as empresas estão utilizando diferentes ferramentas para resolução de problemas como a metodologia Seis Sigma, Projeto para Seis Sigma (DfSS), metodologia Red X e método Taguchi, etc. Como resultado, empresas estão se esforçando e utilizando um tempo significativo para prever problemas recorrentes. Entretanto os ganhos reais as levam a um próximo passo: determinar ações preventivas antes que o problema realmente ocorra. Este conceito de ação preventiva e pró-ativa é o que os japoneses chamam de Mizenboushi (YOSHIMURA, 2002).

A necessidade dos times de desenvolvimento de produto de antever um problema e prevenir o seu acontecimento é uma necessidade geral das empresas

para se manter competitivas no mercado. O conceito de prevenção de problemas é o pilar da Engenharia de confiabilidade. A principal ferramenta para manter a confiabilidade de produtos e gerir os seus riscos hoje em dia é o DRBFM e também é o ponto motivador deste trabalho.

## **1.2. OBJETIVO**

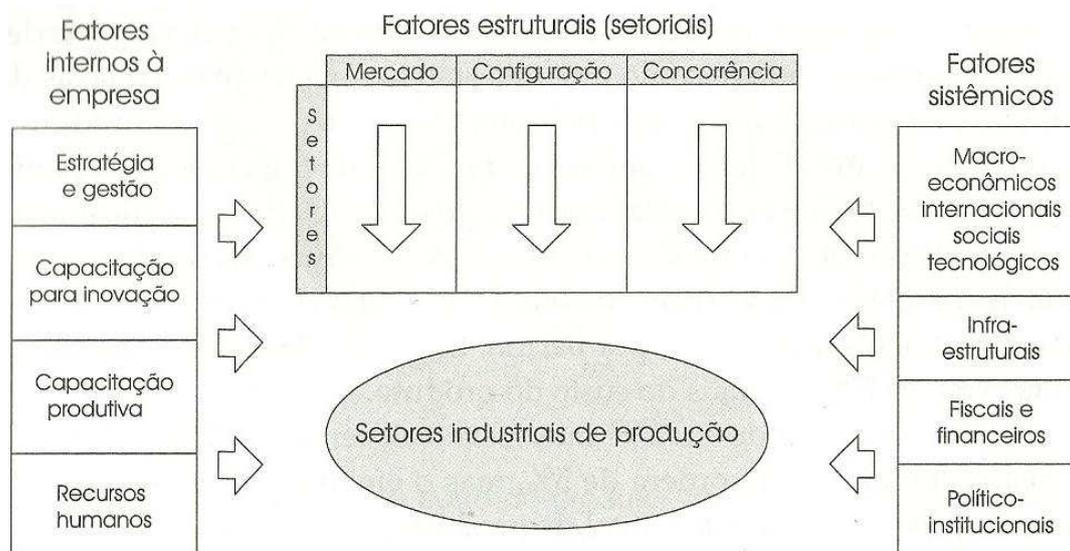
A contribuição deste trabalho é sugerir a utilização de uma ferramenta relacionada à prevenção de riscos durante a alteração de produto. Apresentar de uma forma simples e objetiva desde os fundamentos teóricos até uma aplicação prática da ferramenta em questão e boas práticas relacionadas ao uso da mesma.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

Esta etapa do trabalho foi dividida em três áreas onde a primeira representa a fundamentação teórica e explicação do método DRBFM além de como é inserido dentro das abordagens de desenvolvimento de produtos. A segunda são os métodos que o projeto foi dividido e a terceira são os resultados e discussões referentes aos métodos estudados.

### **2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O desempenho competitivo é condicionado por um vasto conjunto de fatores, que podem ser subdivididos em: internos à empresa, de natureza estrutural, pertinentes aos setores e complexos industriais; e de natureza sistêmica, como mostra a Figura 1, a seguir, os fatores internos à empresa são os que estão sob a sua esfera de decisão e por meio dos quais ela procura se distinguir de seus competidores.



**Figura 1** - Fatores determinantes da competitividade da indústria, adaptado de (COUTINHO e FERRAZ, 1994).

Entre as linhas conceituais, o importante é destacar que surgiram duas linhas principais de pensamento. A primeira é que o projeto deve ser elaborado tendo em vista certas características ou qualidades do produto. Como exemplos nesta linha tem-se projetos para: custo, manufatura, montagem, confiabilidade, manutenibilidade, meio ambiente, entre outros. A segunda linha refere-se ao processo de desenvolvimento do produto, quanto à multidisciplinaridade, ao ciclo de vida do produto, à integração de equipes e à simultaneidade de atividades de desenvolvimento. Nesta linha podem ser enquadrados: projetos para o ciclo de vida do produto, engenharia simultânea, projeto para a qualidade, projeto para competitividade e desenvolvimento integrado do produto (BACK, OGLIARI, et al., 2008).

A maneira que um projeto pode ser elaborado foi mostrado na Tabela 1 abaixo juntamente com a evolução das abordagens de desenvolvimento de produtos (AMARAL, FORCELLINI, et al., 2006). Para cada abordagem DRBFM é introduzido em uma etapa, fase ou maturidade diferente, o que se tem certeza é que pode ser utilizado em todas as abordagens. No desenvolvimento de produto os potenciais modos de falha podem ocorrer e em seguida cascatear em quatro fases cronológicas:

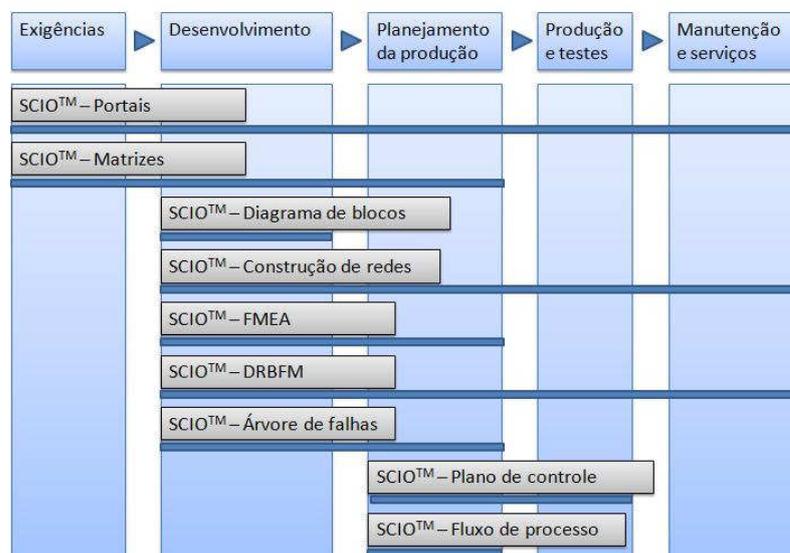
- Definição - Modos de falha devido ao planejamento incorreto da capacidade, capacidade e requisitos pouco definidos;
- Caracterização - Modos de falha devido a soluções de projeto indevidamente formuladas (muitas partes móveis, difícil manutenção);

- Otimização - Modos de falha na execução técnica (Não ser capaz de descobrir e formular medidas preventivas causadas por equívocos ou por sensibilidade a ruídos);
- Verificação - Modos de falha devido ao uso de testes não representativos para o projeto.

**Tabela 1** - Abordagens do desenvolvimento de produtos, adaptado de (AMARAL, FORCELLINI, et al., 2006).

	Desenvolvimento sequencial de produtos	Desenvolvimento integrado de produtos	Novas abordagens para desenvolvimento integrado de produtos
Tradicional ou sequencial	X		
Metodologia de projeto	X		
Engenharia simultânea		X	
Fases e marcos de projeto		X	
Modelo de Funil		X	
Lean			X
DfSS			X
Modelos de maturidade			X
Gerenciamento do ciclo de vida dos produtos			X

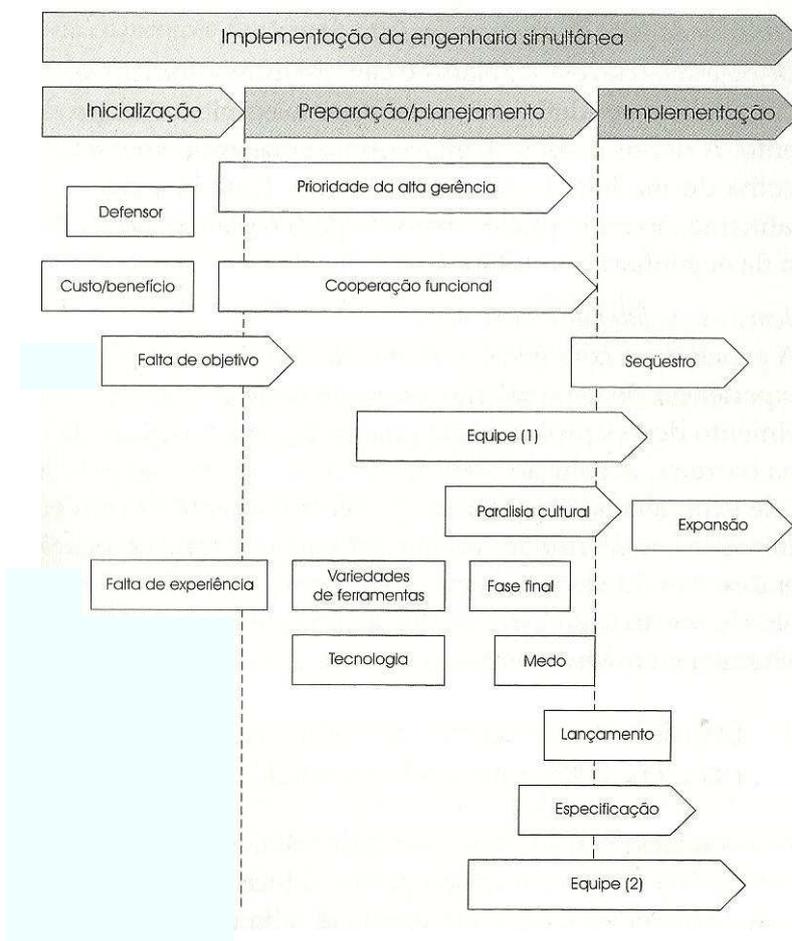
No caso específico do modelo de maturidade que faz parte das novas abordagens para desenvolvimento já existem aplicativos computacionais que mostram como utilizam as novas ferramentas, um exemplo é o aplicativo desenvolvido pela PLATO Solutions Software, que mostra que há possibilidade de utilizar o DRBFM entre a fase de desenvolvimento e de planejamento da produção, como pode ser visto na Figura 2, a seguir:



**Figura 2** - PLATO SCIO™ aplicado no processo de engenharia, adaptado de <http://www.plato.de/>

Observando somente o caso da implementação da engenharia simultânea, ficam muito bem explicitados os problemas na hora da implementação como se observa na Figura 3 a seguir, pois enquanto se passa o tempo e conseqüentemente as fases de inicialização, preparação/planejamento e implementação os problemas surgem e em algum caso o produto pode necessitar de modificações onde se aplica o DRBFM.

Além disso, benefícios financeiros também podem deixar de serem alcançados, já que o custo para realizar uma modificação aumenta exponencialmente no decorrer das fases do desenvolvimento do produto (ROZENFELD, 2006).



**Figura 3** - Problemas mais frequentes na implementação da engenharia simultânea, adaptado de (BACK, OGLIARI, et al., 2008)

As principais razões que levam à modificação de um produto são:

- Defeitos - o produto não se comporta dentro dos parâmetros de desempenho para o qual foi projetado e testado;

- Viabilização de Processo Robusto – A manufatura pode reconhecer que se trata de um processo não capaz que acaba originando a falha, porém a alteração do produto permite um processo mais robusto, a um custo menor;
- Redução de Custos – antes de lançar produtos e processos novos, pode ser necessário rever o projeto do produto para diminuir os custos;
- Insatisfação do Cliente – o produto pode estar perfeito no ponto de vista técnico-burocrático. Mas, muitas vezes, os clientes não o veem assim e gostariam que algo fosse diferente, ou seja, ouvir a voz do consumidor e adequar as necessidades dos mesmos;
- Nacionalização de Componente – é comum o lançamento de produtos com base global, ou seja, em diversos mercados utilizando inicialmente componentes importados para atender rapidamente a demanda local. Após o lançamento cada unidade fabril se esforça para nacionalizar componentes no país onde está localizada, para se tornar competitiva no mercado;
- Marketing – o mercado é um ambiente vivo. É preciso que o time de engenharia de desenvolvimento de produto esteja diretamente atrelado ao time de Marketing, lançando rapidamente novas versões e equipamentos;
- Inadequação do Projeto – quando o produto se comporta dentro do desempenho esperado, mas o mercado necessita de uma utilização diferente daquela que norteou o projeto do produto;
- Atualização do Produto – lançamento de novos acessórios ou funcionalidades no mercado;
- Margem e Viabilidade do Produto – o projeto parecia adequado e viável na época em que foi elaborado, mas com o passar do tempo pode ser necessário um reposicionamento de público e preço do produto;
- Modificações feitas em outras fábricas – um produto montado em várias plantas, e que os componentes são fabricados por um fornecedor único, mas uma planta necessite fazer uma alteração de produto atendendo a uma condição específica de uma planta.

Caso seja identificada uma real necessidade de alteração no produto, o time deve ter muito claro a razão, já que custa mais dinheiro, pela necessidade de alterar ferramentais em produção, bem como são causas de instabilidade na linha de montagem do produto e fabricação dos componentes. Responsáveis por compras,

logística e manufatura precisam estar sintonizados com a engenharia para controlar os efeitos destas modificações.

O DRBFM é aplicado em itens modificados para analisar as mudanças (de projeto ou condições de uso) em projetos estabelecidos (proven designs) e determinar ações de melhoria. A aplicação do DRBFM é dividida em duas partes. Primeiro como parte das atividades diárias dos engenheiros (individualmente) e a segunda parte em revisões de projeto por um time de revisão multifuncional (GENERAL MOTORS – GM, 2005).

Na primeira fase são descritos os detalhes das mudanças e como era a construção (item de análise/componente) anteriormente às mudanças. Preenchidos no formulário DRBFM (nas Figuras 8 a 12). Então é possível evitar qualquer omissão que possa resultar em problemas de funcionalidade do produto (SCHMITT, KOHLMANN e HAMMERS, 2007); (ALLAN, 2014).

A segunda fase normalmente é seguida conforme recomendado pelo manual da (GENERAL MOTORS – GM, 2005):

Em uma revisão de projeto do DRBFM, primeiramente, o engenheiro responsável explica em detalhes as modificações intencionais e incidentais, funções, pontos preocupantes, efeitos para o cliente e as atuais medidas para eliminar os pontos preocupantes, referentes ao item em análise. Então, o time de revisão multifuncional, analisa e discute detalhadamente cada resultado da primeira fase.  
Citação do texto da (GENERAL MOTORS – GM, 2005).

Com esse procedimento é possível identificar quaisquer outros modos de falha não considerados pelo engenheiro responsável, determinar quaisquer outros efeitos criados pelos modos de falha, determinar quaisquer causas potenciais adicionais dos modos de falha. Os resultados da discussão são registrados no formulário de DRBFM. Por fim, o time desenvolve ações para prevenir que as falhas encontradas ocorram. São recomendadas ações, referentes ao Projeto, à Avaliação e à Produção, para eliminar/mitigar as causas ou os modos de falha; e são determinados os responsáveis e os prazos de implementação para cada ação recomendada (SHIMIZU, IMAGAWA e NOGUCHI, 2003).

A Figura 4 mostra como é muito importante começar com o Good Design - uma base sólida, confiável, insensível as variações do ambiente e corretamente utilizada desde o início, ou seja, projeto e processo estável e robusto, com trabalho padronizado, procedimento de testes padrão e FMEA. Se não houver controle estável no projeto e processo com padrões e muitas mudanças sendo feitas na linha

de produção impossibilitará do time de engenharia trabalhar adequadamente para chegar a fundo nos problemas. A Toyota precisou de vários anos para conseguir estabilizar sua base, com altos padrões de qualidade e produtos com alto nível de confiança para os seus clientes antes de decidir ir além e tentar prever os principais problemas antes da ocorrência.

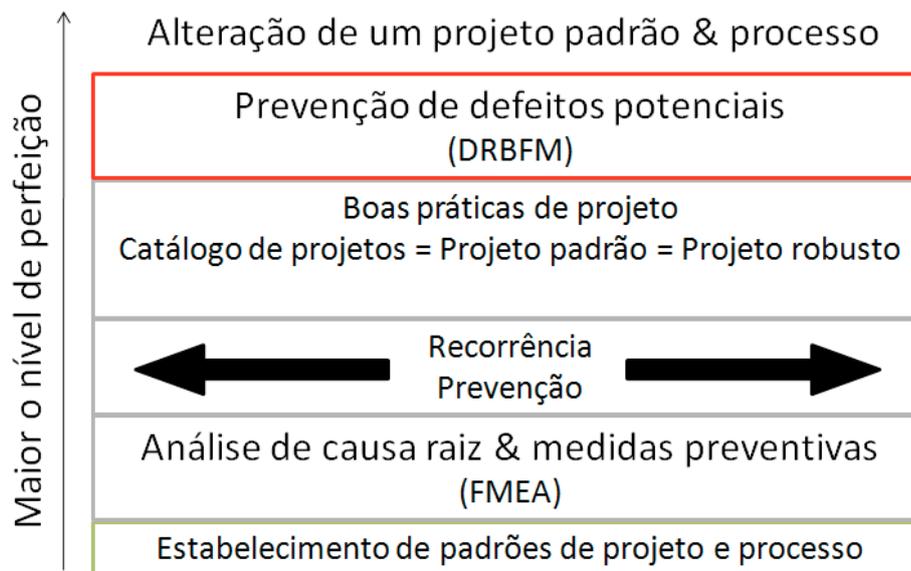


Figura 4 - Fundamentação da prevenção de problemas, adaptado de (ALLAN, 2014).

Há clientes que ainda solicitam FMEA e em alguns casos solicitam DRBFM. Ambos são aplicáveis no processo de desenvolvimento, mas o DRBFM permite chegar a um nível de detalhe superior para alterações, por utilizar informações de FMEA e lições aprendidas. No caso 1, para um produto totalmente novo, sem FMEA, o primeiro FMEA nos ajuda a criar padrões. No Caso 2, para um produto estabelecido, começa-se pelo DRBFM e expande a análise para o FMEA. Conforme Figura 5 abaixo:

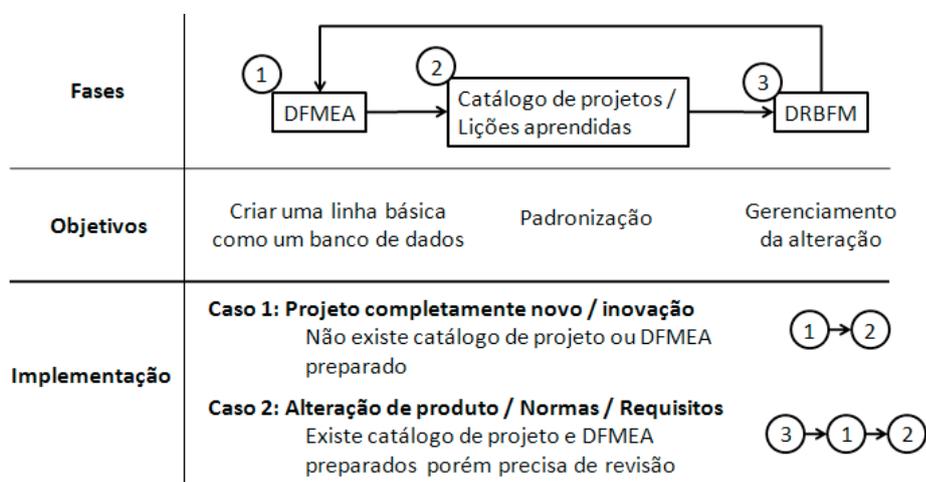


Figura 5 - Relação entre DFMEA & DRBFM, adaptado de (ALLAN, 2014).

O Good Discussion (boa discussão) está relacionado com a prevenção e antecipação de problemas, através de um fórum de discussão aberto com um time multifuncional. A essência da boa discussão é identificar e eliminar o risco, e uma das chaves para isso é tornar mudanças visíveis através da comparação entre o estado atual versus o proposto. Os ganhos reais são avançar degrau por degrau para antecipar e prevenir problemas antes da ocorrência, ou seja, um método de detectar os problemas e resolvê-los através do desenvolvimento de contramedidas e plano de ações (projeto, validação e manufatura). Nesta etapa o FMEA é considerado um pré-requisito. Se a discussão é baseada em produtos futuros o risco de falha é menor, entretanto se a mudança está ligada a um projeto corrente a probabilidade de falha aumenta.

O Good Dissection (boa dissecação) está relacionado na busca de problemas. É focado na revisão de produtos que completaram os testes de validação, examinando profundamente os resultados dos testes e evidenciando todos os erros visíveis. Nesta etapa envolve a aplicação do DRBFM em outro conceito, sendo o Design Review Based on Test Results (DRBTR). Deve ser aplicado cada vez que a validação terminar encontrando os pontos onde o produto irá falhar. O engenheiro de produto é envolvido para observar peças testadas e discutir os resultados além do regime de testes de validação se foi adequado.

## **2.2. MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS**

Neste capítulo, apresenta-se um fluxograma de aplicação da ferramenta, suas etapas, responsáveis, participantes e a contribuição dos agentes.

### **2.2.1. FLUXOGRAMA DE TRABALHO**

Para melhor utilizar formulário DRBFM foi criado o fluxo de trabalho do método, para uso apropriado do engenheiro responsável conforme as Figuras 6 e 7.

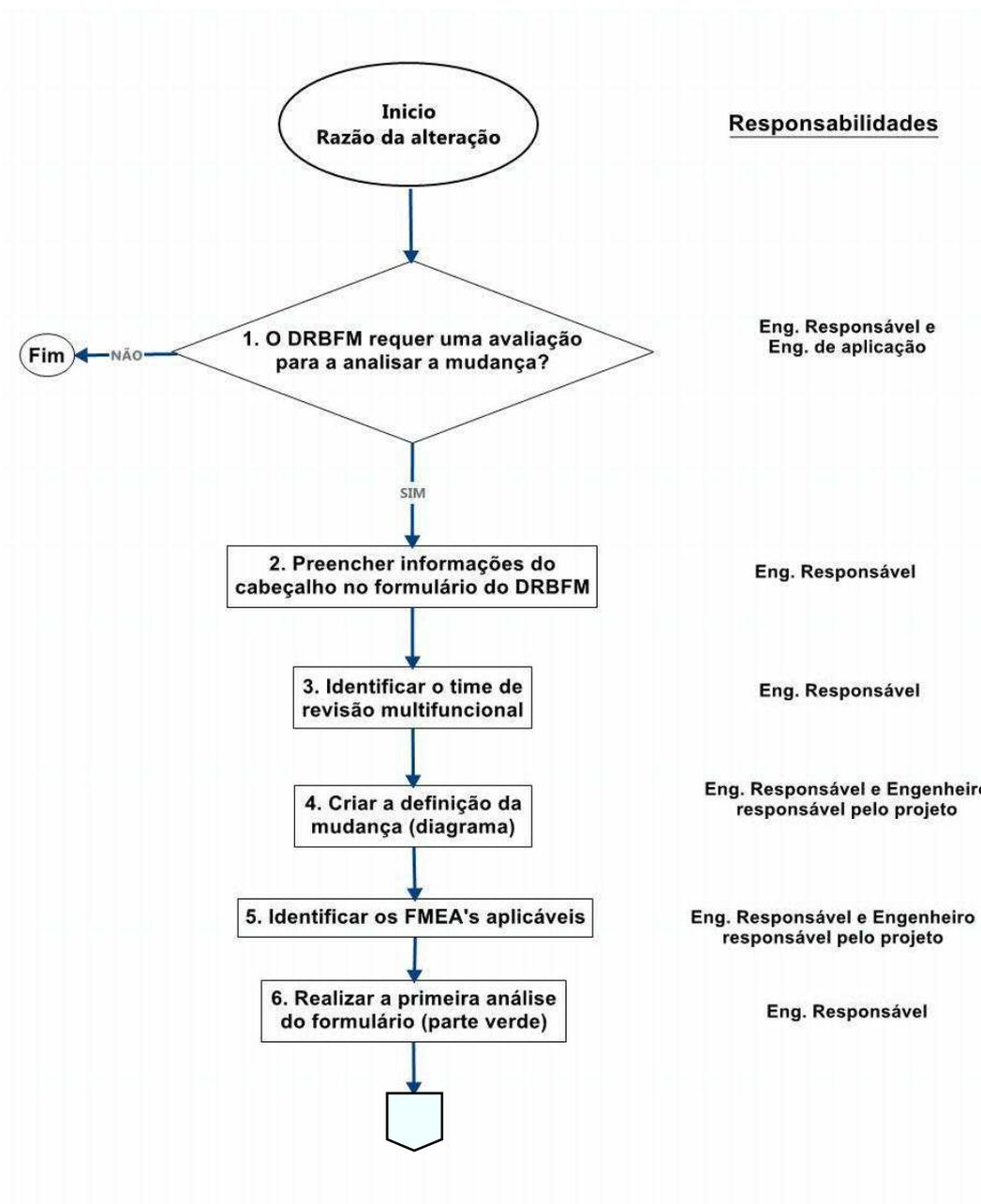


Figura 6 - Parte 1 do fluxograma de trabalho.

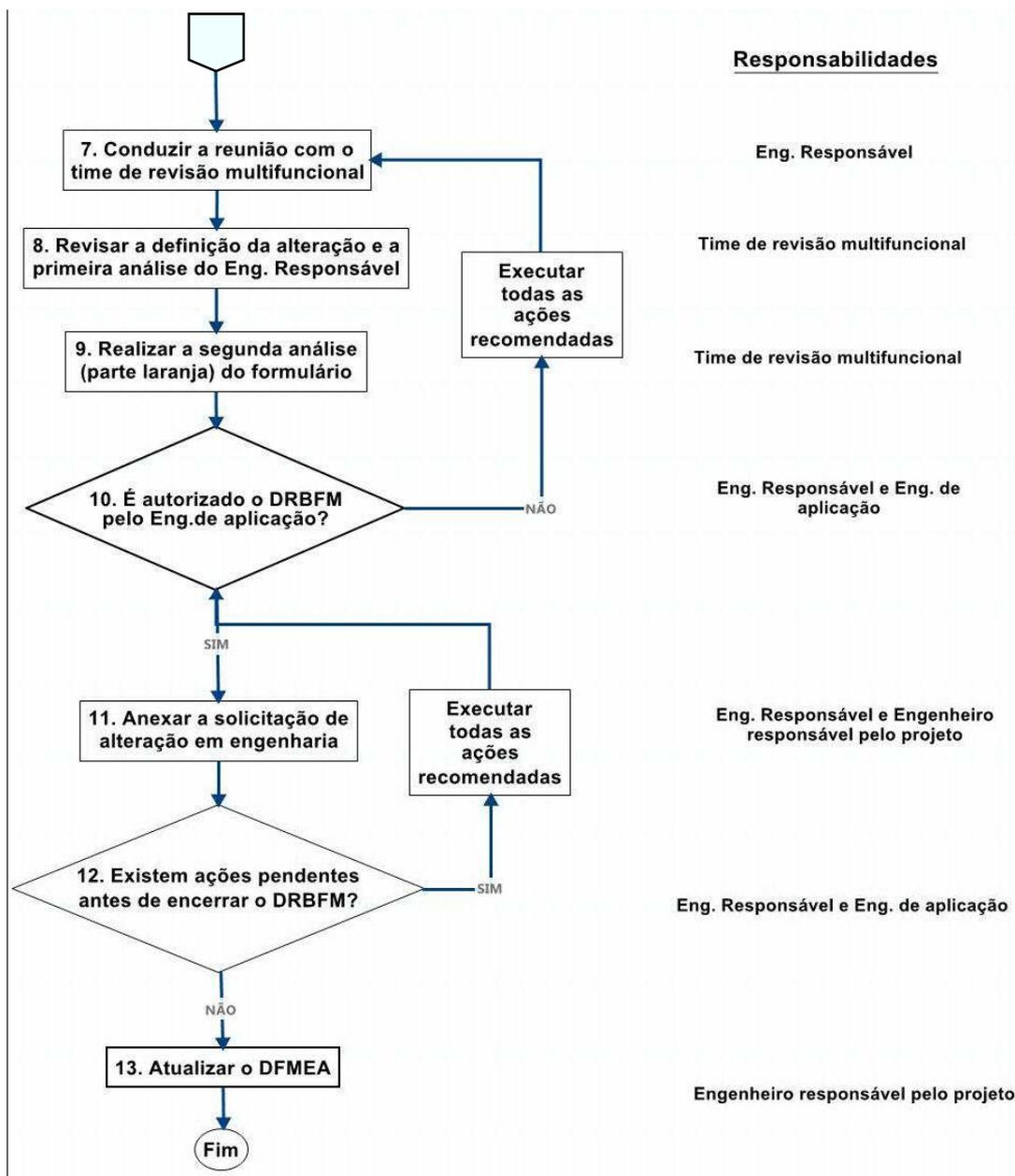


Figura 7 - Parte 2 do fluxograma de trabalho.

## 2.2.2. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia a seguir foi baseada no fluxograma de trabalho (Figuras 6 e 7) e se aplica a documentação de alterações em engenharia:

1. **Verificar a viabilidade** do DRBFM se é necessária ou não sua condução. O DRBFM é necessário para todas as alterações de engenharia quando um projeto está sob controle de mudanças (desenvolvimento). Todas as exceções devem ser aprovadas pelo Engenheiro de Aplicação.

2. **Preencher cabeçalho** do formulário DRBFM conforme Figura 8.

<b>Cliente</b>	Montadora X
<b>Plataforma/Classificação/Produto</b>	Carros tipo B da Montadora X
<b>Outras plataformas afetadas</b>	N/A
<b>Normas de referência</b>	N/A
<b>Data inicial</b>	13/ago/14
<b>Requisitado por</b>	Pessoa 1
<b>Sistema</b>	Mecanismo de direção mecânico (MSG)
<b>Sub-Sistema</b>	Pinhão e cremalheira
<b>Componente (Part Number)</b>	PN-Pinhao
<b>Alteração proposta</b>	Internação de usinagem de pinhões para uma autopeças
<b>Razão da alteração</b>	Projeto de competitividade de pinhões
<b>Engenheiro responsável</b>	Pessoa 2
<b>Time de revisão multifuncional do DRBFM</b>	Pessoa 1, Pessoa 2, Pessoa 3, Pessoa 4, Pessoa 5 e Pessoa 6
<b>Referência de FMEA</b>	

**Figura 8** – Detalhe do formulário DRBFM - Cabeçalho.

É recomendado inserir o maior número de informações possíveis. Também detalhar ao máximo a alteração proposta e a razão da mudança que devem ser suficientemente precisas para explicar completamente o desvio do projeto original.

3. **Identificar o time de revisão multidisciplinar** para conduzir a avaliação do DRBFM. Além do 'Engenheiro Responsável pelo Projeto' , a equipe deve ser composta de representantes adequados das áreas de projeto, fabricação (e fornecedores, quando aplicável), teste e validação e com o apoio das áreas ligadas ao projeto (por exemplo, compras, qualidade, confiabilidade, etc).

4. **Preencher a definição da alteração** para melhorar a compreensão do problema, conforme Figura 9.

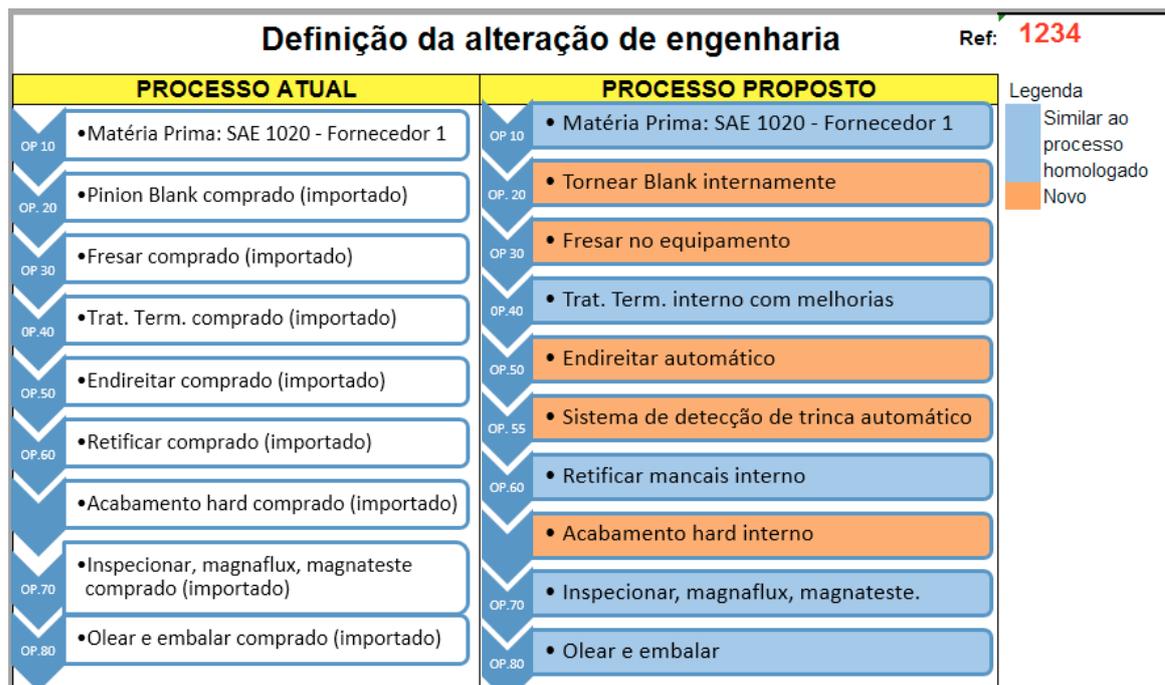


Figura 9 - Detalhe do formulário DRBFM - Definição da alteração.

Preferencialmente utilizar representações gráficas (exemplo: Desenho esquemático, desenho com anotações, fotografias). O diagrama da proposta deve claramente definir o escopo da mudança em análise e adicionar as condições de contorno, interações com outros sistemas, sub-sistemas e componentes onde é aplicável. O time de revisão multifuncional também deve verificar e revisar a definição da mudança. Quando o responsável pelo DRBFM não é da engenharia, ele deve procurar um Engenheiro de produto para suportar nesta atividade.

5. **Identificar os FMEA's aplicáveis** e associar com o DRBFM. De preferência colocar o diretório onde o FMEA fica salvo. Quando o responsável pelo DRBFM não é da engenharia, ele deve procurar um Engenheiro de produto para suportar nesta atividade.

6. **Realizar primeira análise** do DRBFM, foi liberado início das atividades e preenchido o formulário, conforme a Figura 10.

Descrição específica da mudança Referência: Código & Número	Função do item	Preocupações relacionadas à mudança	Existe mais preocupações? (Revisão da equipe multifuncional)	Quando o problema irá ocorrer?	Efeitos das preocupações	Causas potenciais de cada risco
Operação 10  Internar o torneamento completo do pinhão blank.	-Tornear externo -Tornear canais -Furar -Fresar planos	-Falhas de usinagem em características significativas para o produto.		-Durante as operações de torneamento de acordo com sequenciamento do programa do CNC	-Dificuldade de usinabilidade nas operações subsequentes -Fragilização do pinhão blank -Dificuldades nas montagens subsequentes	-Desgaste irregular ou prematuro da ferramenta. -Set Up irregular -Parâmetros mal definidos -Não controlar a vida útil da ferramenta
Operação 20  Internar o fresamento	Fresamento dos dentes dos pinhões em novo equipamento	-Falhas no fresamento em características significativas		-Durante o fresamento do dentes no processo.	-Reduzir a vida útil do produto. -Diminuir a qualidade DIN do engrenamento. -Alto índice de rejeição no processo de montagem.	-Desgaste irregular ou prematuro da ferramenta. -Set Up irregular. -Parâmetros mal definidos -Blank fora de especificado

Figura 10 - Detalhe do formulário DRBFM – Primeira Análise.

O engenheiro responsável da alteração deve preencher as áreas verdes do formulário isoladamente do time. Esta técnica ajuda o time de revisão multidisciplinar ser mais eficiente durante a reunião. O grau da avaliação varia de pessoa para pessoa e de acordo com a experiência do engenheiro responsável. É aceitável quando o responsável não é o engenheiro de produto.

7. **Conduzir reunião com o time** significa que deve-se reunir o time de revisão multidisciplinar identificado anteriormente para discutir as informações do formulário. Esta etapa é fundamental pois muitas informações como preocupações e efeitos, muitas vezes são identificadas devido a esta etapa.

8. **Revisar a definição da alteração e a primeira análise**, o time multidisciplinar deve ler antes da reunião e após tudo preenchido o documento para encontrar possíveis pontos a melhorar do DRBFM. Entender as condições de contorno, escopo e os pontos preocupantes associados a alteração. O time deve redobrar a atenção frente às funções identificadas, fazendo uso de FMEA's como base técnica, mas também pensando no contexto mais amplo de fabricação, montagem, logística, embalagem, utilização do cliente etc.

9. **Realizar a segunda análise**, o time de revisão multidisciplinar deve dar um parecer nas colunas laranjas reservadas do formulário, conforme Figura 11.

Descrição específica da mudança Referência: Código & Número	Existe mais causas potenciais? (Revisão da equipe multifuncional)	Impacto	Controle preventivo da Engenharia			Controle de Validação e Detecção			Controle da Manufatura/Fornecedores		
			Medidas a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Medidas adicionais a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Ações Finalizadas	Medidas a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Medidas adicionais a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Ações Finalizadas	Medidas a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Medidas adicionais a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Ações Finalizadas
Operação 10 Internar o torneamento completo do pinhão blank.		A	1 - Liberar desenhos de pinhão blank e pinhão usinado.		1 - Aprovar desenhos até 20/09	1 - Tryout e estudo de capacidade. Pessoa 2 Torno 1 - 29/09			1 - Liberação da folha de operação. 2 - Aquisição de calibradores. 3 - Inserção de ferramental no sistema.		
Operação 20 Internar o fresamento		A	1 - Liberar desenhos de pinhão blank e pinhão usinado.		1 - Aprovar desenhos até 20/09	1 - Tryout e estudo de capacidade. Pessoa 2 2 - Torque até a falha.			1 - Liberação da folha de operação. 2 - Aquisição de calibradores. 3 - Inserção		

Figura 11 - Detalhe do formulário DRBFM – Segunda Análise.

São elas de controle de prevenção da engenharia; controle de detecção de validação; controle da fabricação e fornecedores; ações para pessoas externas ao time. Para cada função que levanta uma preocupação, o time deve identificar pelo menos uma ação para mitigar o risco envolvido. Cada reunião do time deve ser documentada e o formulário preenchido com os presentes, conforme Figura 12.

10. **Repetir a reunião de discussão do DRBFM em time** multidisciplinar até que todos concordem que a análise dos riscos foi totalmente mitigada, conforme exemplo da Figura 12.

Quadro de frequência do DRBFM		Ref: 1234																		
Comparecimento		Digite P para presente, L para líder ou M por presente por meio período.																		
Data da reunião	Revisão do formulário DRBFM	25/ago/14	26/ago/14	27/ago/14	28/ago/13															
		00	01	02	03															
Cargo	Nome																			
Eng. Manufatura	Pessoa 1	L	L	L	L															
Eng. Manufatura	Pessoa 2	Y	Y	Y																
Eng. Testes	Pessoa 3			Y	Y															
Eng. Produto	Pessoa 4	Y	Y	Y																
Eng. Aplicação	Pessoa 5			Y																
Supervisor Testes	Pessoa 6			Y	Y															
Total de presentes		3	3	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Registro sucinto dos detalhes da reunião de DRBFM																				

Figura 12 - Detalhe do formulário DRBFM – Frequência.

Uma vez acordadas as ações devem ser executadas no prazo solicitado. Assinar o formulário evidenciando o acordo entre o time e comprovar que as ações foram realizadas.

11. **Anexar o DRBFM junto com o pacote de informações da CR**, para suportar a aprovação da mesma.

12. **Revisar o formulário DRBFM** acordado com o Engenheiro de aplicação para o mesmo e sugerir preocupações extras se houver, aprovar, assinar e assim submeter a aprovação final da CR.

13. **Implementar as mudanças do formulário DRBFM** na prática, gerar o banco de dados com as informações coletadas e relevantes, concluir a implementação da CR e para finalizar atualizar o FMEA.

### 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi feito um estudo de competitividade de mercado em uma indústria de autopeças. O caso foi alterar o projeto passando a realizar toda a manufatura de um item até então comprado externamente (importado). Na Figura 13 pode-se notar informações relevantes para mitigar riscos como prazos, testes solicitados para validar o produto com a montadora X para a operação 70 a qual é nova na empresa.

Descrição específica da mudança Referencia: Código & Número	Função do item	Preocupações relacionadas à mudança	Existe mais preocupações? (Revisão da equipe multifuncional)	Quando o problema irá ocorrer?	Efeitos das preocupações	Causas potenciais de cada risco	Existe mais causas potenciais? (Revisão da equipe multifuncional)
Operação 70  Acabamento dos dentes	Acabamento dos dentes em hard	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ângulos: hélice e envolvente fora do especificado;</li> <li>- Passo fora do especificado;</li> <li>-</li> <li>- Concentricidade fora do especificado;</li> <li>- Comprimento total da hélice fora do especificado.</li> <li>- Dimensão de dois dentes fora do especificado;</li> <li>- Peça com marcas e deformações nos dentes.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durante o acabamento em hard.</li> <li>- Durante avaliação funcional.</li> <li>- Montagem de mecanismo.</li> <li>- Em campo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desgaste prematuro</li> <li>- Dificuldade de montagem;</li> <li>- Perda de performance funcional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Set up incorreto</li> <li>- Uso de ferramenta incorreta</li> <li>- Falha no programa de usinagem</li> <li>- Erro no ferramental</li> <li>- Batidas / deformações no furo de centro dos blanks</li> <li>- Batimento no eixo porta ferramenta acima do especificado;</li> <li>- Folga no contraponto da máquina.</li> <li>- Desgaste do rebarbador;</li> <li>- Manuseio incorreto;</li> <li>- Acomodação incorreta das peças.</li> </ul>	

Figura 13 – Estudo de caso – Operação 70, primeira análise.

Somente na operação 70 foram levantadas pelo engenheiro responsável seis preocupações que ao fim da discussão juntamente com o time. Para determinar o impacto levou-se em consideração a funcionalidade do sistema, o risco de implementar a mudança, a possível existência de algum processo similar na empresa ou se o processo é inteiramente novo além das decisões estratégicas que partem da diretoria e com isso foi classificado como impacto de médio risco. Outro ponto relevante são as ações geradas a partir do DRBFM, como se vê na Figura 14.

Descrição específica da mudança Referencia: Código & Número	Controle preventivo da Engenharia			Controle de Validação e Detecção			Controle da Manufatura/Fornecedores		
	Medidas a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Medidas adicionais a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Ações Finalizadas	Medidas a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Medidas adicionais a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Ações Finalizadas	Medidas a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Medidas adicionais a serem tomadas (Responsável & data prevista)	Ações Finalizadas
Operação 70 Acabamento dos dentes	1 - Liberar desenhos de pinhão blank e pinhão usinado.		1 - Aprovar desenhos até 20/09	1 - Tryout e estudo de capacidade (FOCO NA ENVOLVENTE E HÉLICE). Pessoa 2 2 - Torque de entrada, rack pull, folga. 3 - Durabilidade e fadiga.  Fresadora - 17/11			1 - Liberação da folha de operação. 2 - Aquisição de calibradores. 3 - Inserção de ferramenta no sistema.		

**Figura 14** – Estudo de caso – Operação 70, segunda análise.

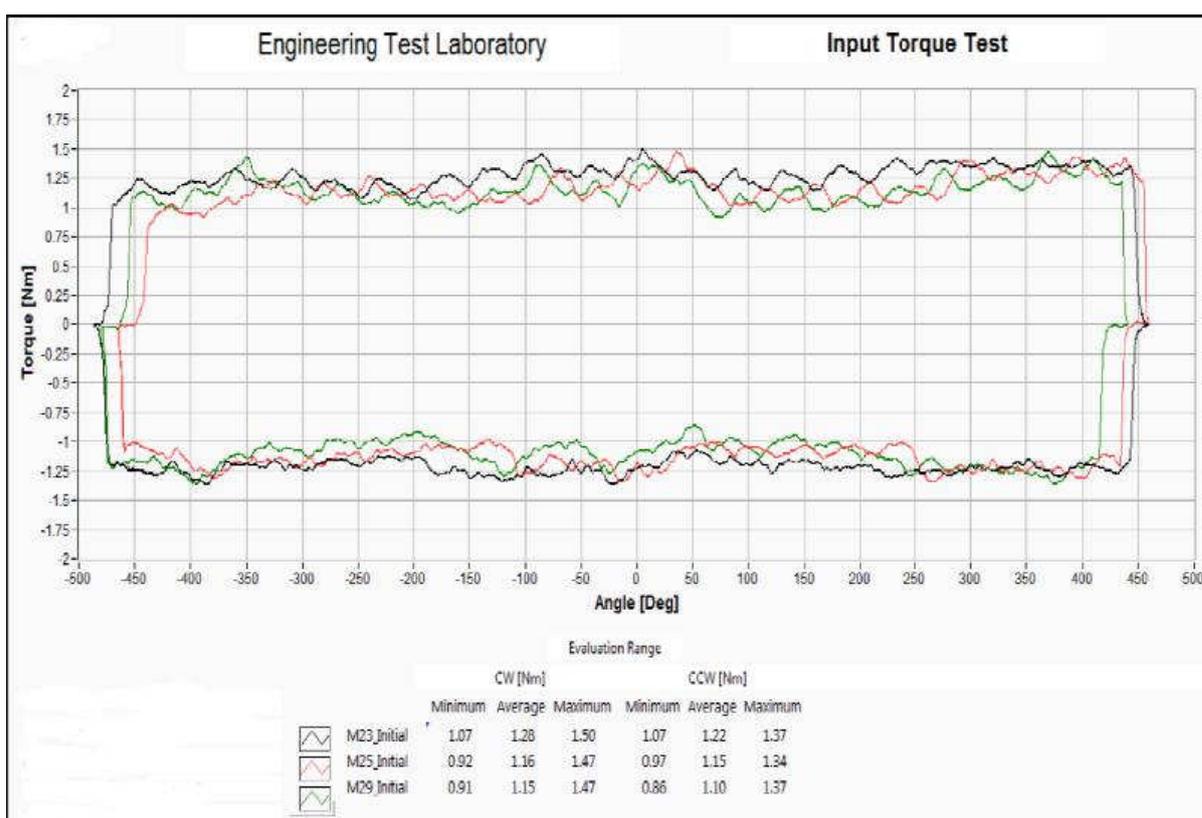
As ações, prazos e datas são informações completares que devem ser anexadas juntamente a CR do item, como por exemplo desenhos remarcados, alteração de material, processos e plano de testes no produto final o DRBFM.

Abaixo a Figura 15, 16 e 17 mostram visualmente o resultado dos testes de durabilidade e fadiga, torque do pinhão e rack pull respectivamente.



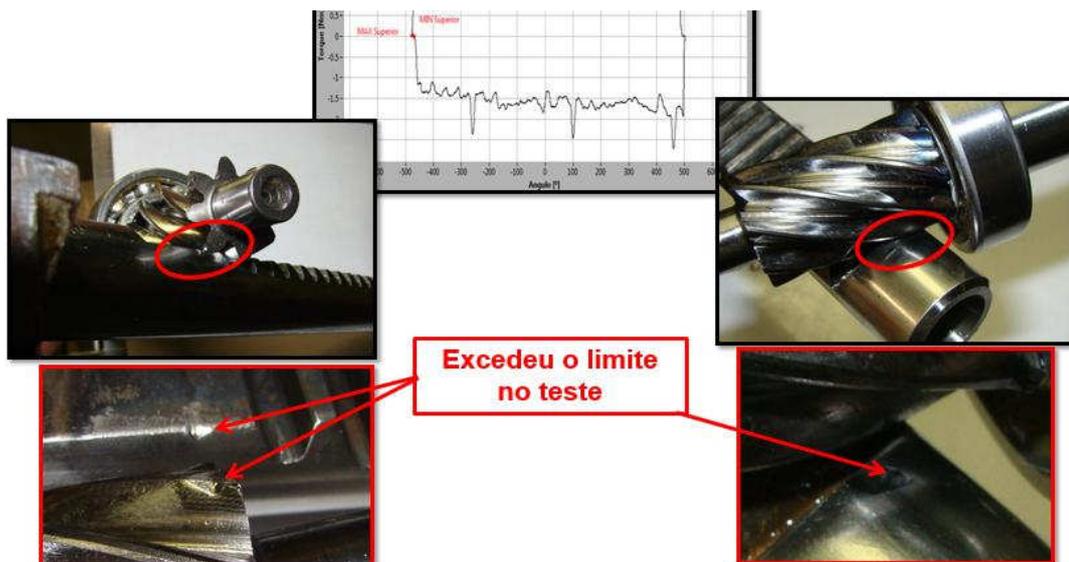
**Figura 15** – Estudo de caso – Teste de durabilidade e fadiga.

O principal parâmetro utilizado foi o deslocamento da cremalheira  $145.8 \pm 1$  mm, em condições normais, estradas e cidades com quilometragem  $\pm 4000$  km. Houve o contato com água e notou-se que há oxidação no corpo do pinhão.



**Figura 16** – Estudo de caso – Teste de torque do pinhão.

A Figura 16 mostra o teste feito em 3 amostras, cujo os valores aceitáveis são entre  $0.88 < \text{Torque médio} < 1.38$  Nm até o batente de cada sentido horário e anti horário. Esta peça foi aprovada no teste de torque do pinhão, mostrando que não há folga no mecanismo por conta do engrenamento entre pinhão e cremalheira.



**Figura 17** – Estudo de caso – Teste de rack pull.

Na Figura 17 no ensaio de rack pull notou-se que houve contato entre o pinhão e a cremalheira o que não é aceitável. É necessário fazer análise do resultado aprofundado do teste através do Design Review Based on Test Results (DRBTR) e definir um plano de ações para melhorar o desempenho do produto.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia DRBFM direciona a atenção para a mudança em si, diferente do FMEA que vê o produto/processo/sistema como um todo, e cria “problemas embrionários” significando a manifestação prematura de questões que podem crescer e causar problemas futuros se não identificados e eliminados. Também direciona a atenção às interfaces de onde a peça ou processo está inserido que é onde mais ocorrem os problemas. Por estas razões o DRBFM tem sido desenvolvido para realizar a revisão de projetos baseado no FMEA cuja função é “identificar e projetar preocupações relacionadas ao produto” enquanto o DRBFM é focado especificamente em “mudanças intencionais e incidentais”. No caso analisado, o DRBFM foi importante pois as informações referentes ao impacto de cada operação, as definições dos testes e análise dos resultados dos testes foram definidas através do DRBFM e serão documentados juntamente com o formulário. Pois isoladamente o ensaio de torque do pinhão aprovaria a peça sendo que ele foi reprovado no teste de rack pull e durabilidade e fadiga, sendo que todos os testes validam o pinhão montado.

Para o controle efetivo do DRBFM é interessante atrelá-lo a um aplicativo computacional que distribua as informações do FMEA e o controle do plano de ação além das aprovações das pessoas chaves para finalizar o processo. Julgo importante um aplicativo computacional que mantenha a rastreabilidade das ações e itens mudados ao longo do tempo, pois muitas informações são perdidas no período da validação ou mesmo após 1 ou 2 anos depois de ter assinado o formulário DRBFM e DRBTR.

As lições aprendidas do DRBFM em vias gerais dependem da experiência do responsável pela mudança e deve ser conduzido por pessoas mais experientes para melhor aproveitamento. Dimensionalmente a peça pode ser aprovada, porém, depende de outros fatores como a montagem, manuseio e condições de tratamento que a peça foi submetida para avaliar seu desempenho. É necessário documentar todas as etapas para manter a rastreabilidade e confiabilidade dos resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

- ALLAN, L. ReliaSoft: Reliability Edge. **Change Point Analysis and DRBFM: A Winning Combination**, 2014. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com/newsletter/v9i2/drbfm.htm>>. Acesso em: 27 Fevereiro 2014.
- AMARAL, D. C. et al. **Gestão de desenvolvimentos de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, v. I, 2008.
- CARLSON, C. S. **Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis**. 1ª Edição. ed. Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc., Publication, v. I, 2012.
- COUTINHO, L.; FERAZ, J. C. **Estudo da competitividade da Indústria Brasileira**. Campinas, SP: Papyrus, 1994.
- GENERAL MOTORS—GM. **Engineering standards: Design Review Based on Failure Modes-GMN11220**. General Motors Corporation. [Sl.], p. 1-9. 2005.
- ROZENFELD, H. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. [Sl.]: [s.n.]. 2006.
- SCHMITT, R.; KOHLMANN; HAMMERS Keine Angst vor Änderungen! Robustes Design für innovative Produkte. **Qualität und Zuverlässigkeit**, v. 52, n. 3, p. 24-26, 2007.

SHIMIZU, H.; IMAGAWA, T.; NOGUCHI, H. Reliability Problem Prevention Method for Automotive Components - Development of GD3 Activity and DRBFM (Design Review Based Failure Mode). **INTERNATIONAL BODY ENGINEERING**, Chiba, n. SAE International, p. 371-376, 2003.

YOSHIMURA, T. **Toyota Style Mizenboushi (Preventative Measures) Method GD3, How to Prevent a Problem Before It Occurs**, **JUSE Press**. [Sl.]: [s.n.], 2002.