



**UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR**  
**Departamento de Engenharia Electromecânica**

**Controlo dos Processos de Manufatura para a Industria  
Automóvel**

***Cidália Maria Duarte Silvestre Pissarra de Matos***

Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Covilhã, 2010

Covilhã, 2010

**UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR**  
**Departamento de Engenharia Electromecânica**

**Controlo dos Processos de Manufatura para a Industria**  
**Automóvel**

**Cidália Maria Duarte Silvestre Pissarra de Matos**

Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

**Orientador:** Professor Doutor João Matias

## **AGRADECIMENTOS**

É minha intenção expressar os mais sinceros agradecimentos às várias pessoas e entidades que, em diferentes momentos, deram o seu contributo para a concretização deste projecto.

Agradeço ao meu orientador do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial Professor Doutor João Matias, que aceitou ser meu tutor/orientador.

Estou agradecida pelo apoio e pela paciência que tenho recebido dos meus colegas e amigos, Sandra Matos e Pedro Francisco que me incentivaram para eu seguir em frente e não desistir de nada e à Susana Cerca que sempre me acompanhou ao longo destes meses.

Finalmente, agradeço ao meu marido e filhos que me alentaram quando eu mais precisava e aos meus pais, que se não fosse por eles eu nunca tinha conseguido a licenciatura que me serviu de base ao mestrado. Em especial à minha mãe, que se estivesse entre nós se sentiria muito orgulhosa de mim.

Um muito obrigado ao meu colega e amigo José Manuel Fernandes que teve a paciência de ler isto tudo e dar o seu parecer técnico.

## **RESUMO**

Dada a variedade e a complexidade destes processos, é absolutamente necessário que exista rigor desde o planeamento da fase de industrialização de um projecto, até à sua produção em série. Nesta dissertação apresentam-se de forma clara, os conceitos de D-AMFE, DFP, P-AMFE e Plano de Controlo e realçam-se as vantagens e impacto na empresa da utilização destas ferramentas para o controlo dos processos. Se utilizadas na fase inicial do desenvolvimento do projecto, estas ferramentas vão funcionar como prevenção e controlo de falhas.

Sugere-se ainda a utilização de uma ferramenta informática que tenha por objectivo estabelecer de forma automática a ligação entre estes três documentos (de acordo com a norma AIAG) e ainda permitir uma partilha de informação entre projectos tendo sempre presente as melhores práticas efectuadas em cada processo.

### **Palavras-Chave:**

DFP – Diagrama de Fluxo de Processo

D-AMFE – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos no Design

P-AMFE - Análise de Modos de Falha e seus Efeitos no Processo

Planos de Controlo

## **ABSTRACT**

As there is a high variability and complexity of processes, it is absolutely necessary that there is precision since the industrialization phase development of a project until its start of production.

We'll clearly explain the concepts of PFD, PFMEA and Control Plans and enhance the advantages of the proper usage of these tools if used on the proper time of the project, as PFMEA is a prevention tool and not a corrective one.

We also suggest the usage of a software, which goal should be establish in an automatic way the linkage between these three documents (according AIAG Norm) and allow an adequate share of information between projects, having always in mind the best practices per process.

### **Keywords:**

PFD – Process Flow Diagram

DFMEA – Design Failure Mode Effects and Analysis

PFMEA – Process Failure Mode Effects and Analysis

Control Plan

## INDÍCE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	3
RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	5
INDÍCE GERAL .....	6
INDICE DE FIGURAS E TABELAS .....	8
<b>CAPITULO 1- Introdução</b> .....	<b>10</b>
1.1 – RAZÕES JUSTIFICATIVAS DA ESCOLHA DO TEMA .....	10
1.2 – Pré-requisitos .....	11
1.3 – Objectivos gerais .....	12
1.4 – Impacto na organização .....	12
1.5 – Estrutura da dissertação .....	13
<b>CAPITULO 2 – D-AMFE</b> .....	<b>15</b>
2.1 – Objectivos .....	16
2.2 – O que é o AMFE? .....	17
2.3 – Âmbito do AMFE .....	18
2.4 – Inputs necessários .....	18
2.5 – Tipos de AMFE's .....	21
2.6 – Quando aplicar um D-AMFE .....	22
2.7 – Responsabilidade pelo D-AMFE .....	22
2.8 – Quando se deve iniciar um D-AMFE? .....	25
2.9 – Como preparar uma reunião D-AMFE? .....	25
2.10 – Elaboração de um D-AMFE .....	28
2.11 – Processo D-AMFE .....	31
2.12 – Conclusões .....	52
<b>CAPITULO 3 - Diagrama de Fluxo de Processo (DFP)</b> .....	<b>53</b>
3.1 – Objectivos .....	54
3.2 – O que é um DFP? .....	55
3.3 – Tipos de DFP .....	56
3.4 – Trabalho de equipa .....	57
3.5 – Desenvolvimento de um DFP .....	57

3.6 – Ligações entre DFP, AMFE e Planos de Controlo .....	61
3.7 – Conclusões .....	62
<b>CAPITULO 4 – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos no Processo (P-AMFE) .....</b>	<b>63</b>
4.1 – Objectivos .....	64
4.2 – O que é um P-AMFE? .....	65
4.3 – Introdução .....	65
4.4 – Quem é o nosso Cliente? .....	66
4.5 – Trabalho de equipa .....	67
4.6 – Desenvolvimento de um P-AMFE .....	67
4.6.1 – Inputs necessários para o P-AMFE .....	68
4.6.2 – Seguimento do P-AMFE .....	68
4.6.3 – Sequência do Processo de Análise P-AMFE .....	69
4.6.4 – Desenvolvimento do P-AMFE .....	70
4.6.5 – Seguimento das Acções .....	78
4.7 – Conclusões .....	79
<b>CAPITULO 5 – Planos de Controlo (PC) .....</b>	<b>80</b>
5.1 – Objectivos .....	81
5.2 – O que é um Plano de Controlo? .....	81
5.3 – Tipo de características .....	82
5.4 – Tipo de Planos de Controlo .....	82
5.5 – Trabalho de equipa .....	84
5.6 – Desenvolvimento de um Plano de Controlo .....	84
5.7 – Considerações gerais sobre Planos de Controlo .....	91
5.8 – Quando deve ser revisto e actualizado um Plano de Controlo .....	91
5.9 – Conclusões .....	92
<b>CAPITULO 6 – CONCLUSÕES &amp; CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>96</b>

## INDÍCE DE FIGURAS E TABELAS

TABELA 1 – História do AMFE .....	10
Fig. 1 - Processo de Manufactura .....	11
Fig. 2 - Exemplo de um Processo de Manufactura .....	11
Fig. 3 - Exemplo de um Design / Sistema .....	19
Fig. 4 - Componentes / Funções do Design .....	20
Fig. 5 - Questões D-AMFE .....	26
Fig. 6 - Form do D-AMFE .....	27
Fig. 7 - Exemplo de conteúdos no D-AMFE .....	27
Fig. 8 - Elaboração Esquemática de um D-AMFE .....	29
Fig. 9 - Decomposição de um Sistema .....	30
Fig. 10 - Decomposição de um Sub-sistema .....	30
Fig. 11 - Form D-AMFE – Item / Function .....	31
Fig. 12 - Form D-AMFE – Potential Failure Modes .....	32
Fig. 13 - Exemplo de Failure Modes .....	33
Fig. 14 - Exemplo de Efeitos .....	33
Fig. 15 - Form D-AMFE – Potential Effects of Failures .....	34
Fig. 16 - Form D-AMFE – Potential Effects of Failures (exemplos) .....	34
Fig. 17 - Form D-AMFE – Severity.....	35
TABELA 2 – Critérios de Severidade SAEJ1739 / AIAG .....	35
Fig. 18 - Exemplos de Potential Effects .....	36
Fig. 19 - Form D-AMFE – Potential Causes of Failure .....	37
Fig. 20 - Diagrama Causa / Efeito (espinha de peixe) .....	37
Fig. 21 - Exemplos de Causas .....	38
Fig. 22 - Form D-AMFE – Occurrence .....	38
TABELA 3 - Critérios de Ocorrência SAEJ1739 / AIAG .....	39
Fig. 23 - Exemplos Ocorrência / Severidade .....	40
Fig. 24 - Form D-AMFE – Current Design Controls .....	41
Fig. 25 - Exemplo de identificação do tipo de controlo – D .....	42
Fig. 26 - Form D-AMFE – Detection .....	43

TABELA 4 - Critérios de Detectabilidade SAEJ1739 / AIAG .....	43
Fig. 27 - Exemplos de Detecção .....	44
Fig. 28 - Form D-AMFE – RPN .....	45
Fig. 29 - Exemplos de RPN .....	46
Fig. 30 - Form D-AMFE – Classification .....	47
Fig. 31 - Form D-AMFE – Recommended Actions .....	48
Fig. 32 - O que fazer quando não existem acções definidas .....	48
Fig. 33 - Form D-AMFE – Responsible & Target Completion Date .....	49
Fig. 34 - Form D-AMFE – Actions Taken .....	49
Fig. 35 - Form D-AMFE – Valores Revistos (SOD2) .....	50
Fig. 36 - Form D-AMFE – RPN2 .....	50
Fig. 37 - Exemplo de DFP (AIAG) .....	60
Fig. 38 - Interligação entre os documentos do Controlo dos Processos .....	61
Fig. 39 - Quem é o nosso Cliente? .....	66
Fig. 40 - Sequência de Análise de um P-AMFE .....	69
Fig. 41 - Form P-AMFE – como preencher .....	70
TABELA 5 - Critérios de Severidade SAEJ1739 / AIAG .....	73
TABELA 6 - Critérios de Ocorrência SAEJ1739 / AIAG .....	74
TABELA 7 - Critérios de Detectabilidade SAEJ1739 / AIAG .....	76
Fig. 42 - Exemplo de Form para Planos de Controlo – Informação Geral .....	85
Fig. 43 - Exemplo de Form para Planos de Controlo – Informação Geral (cont.) .....	86
Fig. 44 - Exemplo de Form para Planos de Controlo – Passo do Processo e Descrição .....	87
Fig. 45 - Exemplo de Form para Planos de Controlo – Descrição das Características .....	88
Fig. 46 - Exemplo de Form para Planos de Controlo – Método de Controlo .....	89
Fig. 47 - Exemplo de Form para Planos de Controlo – Plano de Reacção .....	90
TABELA 8 – Conclusões sobre Planos de Controlo .....	92
Fig. 48 - Desenvolvimento de Documentos Globais .....	94
Fig. 49 - Criação de Documentos Locais .....	95

## **Capítulo 1 - Introdução**

Nas empresas são utilizados inúmeros e diferentes processos de manufactura para produzir os diversos produtos, como por exemplo uma bicicleta.

Estes processos são desenhados para responder às necessidades e requisitos dos vários Clientes, e as empresas devem desenvolver esforços para os otimizar tanto quanto possível, no sentido de EXCEDER AS EXPECTATIVAS DOS CLIENTES!!!

Se a correcta metodologia for utilizada na altura certa, é possível prevenir grande parte dos potenciais problemas e melhorar os processos de produção. Nesta dissertação descreve-se como isto pode ser feito!

### **1.1 – Razões justificativas da escolha do tema**

A motivação principal é conceber um sistema de controlo de processos de manufactura para a Industria Automóvel, para que estas consigam ter os seus processos devidamente controlados e sem problemas de maior para os seus Clientes.

Se os processos não forem devidamente controlados, para além de custos de manutenção haverão ainda custos de reparação necessariamente associados.

Como as empresas existem para ganhar dinheiro e não para o perder, há que pensar de que modo poderemos melhorar e controlar os nosso processos de manufactura. Existe pois uma necessidade da utilização de ferramentas que nos permitam controlar os processos que quando bem aplicadas, vão gerar toda uma série de acções preventivas. Estas ferramenta não são novas e são utilizadas há anos com bons resultados práticos. AMFE<sup>1</sup> é um dos exemplos, e é uma das ferramentas de engenharia mais eficazes (design e de processo) que existem, como se apresenta na tabela 1.

<b>1955</b>	Análise de Problemas Potenciais (APP) Kepner-Tregoe
<b>1963</b>	Desenvolvimento e aplicação do AMFE pela NASA (Apollo Project)
<b>1965</b>	AMFE – Aplicação em mais técnicas de Aviação e Espaciais
<b>1975</b>	Uso em técnicas nucleares
<b>1977</b>	Implementação na Indústria Automóvel (SAE – Congress by Ford)
<b>1980</b>	Mais aplicações na Europa, USA e Japão

**Tabela 1 – História do AMFE [Odom, 1995]**

**Hoje em dia, o AMFE é uma ferramenta integrada em todos os sistemas de engenharia da produção automóvel e dos seus fornecedores.**

<sup>1</sup> AMFE – Análise de Modos de Falha seus Efeitos

## 1.2 – Pré-requisitos

### O que é um Processo de Manufatura?

Um processo é uma transformação de um input num output diferente. Este output pode ser o input do próximo processo, se existir uma linha de montagem como se exemplifica na fig.1.

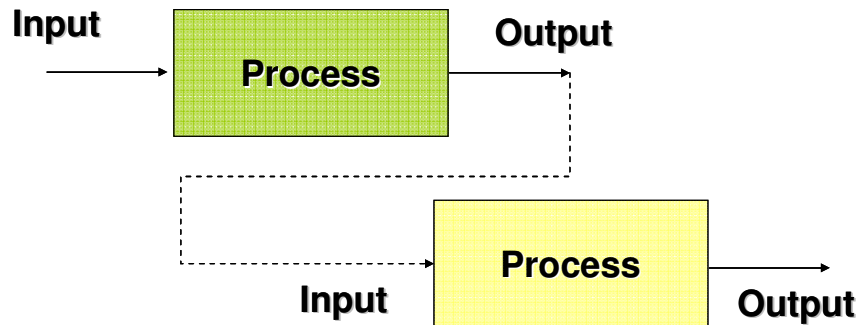


Fig. 1 – Processo de manufatura

### Como podemos reconhecer um Processo de Manufatura?

*A transformação de um porco em salsichas é um processo:*

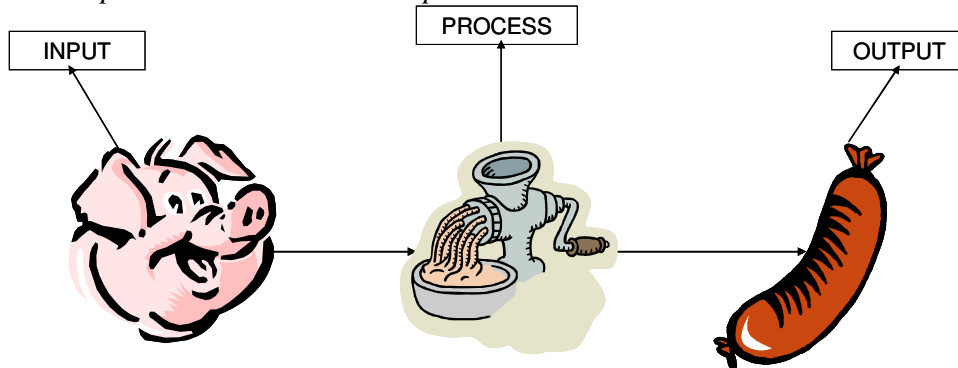


Fig.2 – Exemplo de um processo de manufatura

Sempre que algo é alterado ou transformado noutra coisa, é porque houve **um processo de transformação** que o provocou (fig. 2).

### **1.3 – Objectivos Gerais**

Esta dissertação tem como objectivo desenvolver um guia para conceber e implementar um sistema de controlo de processos de manufactura, para o ramo da industria automóvel.

Apresentam-se, de forma clara, os conceitos de D-AMFE<sup>2</sup>, DFP<sup>3</sup>, P-AMFE<sup>4</sup> e Plano de Controlo; realçam-se as vantagens e impacto na empresa, da utilização destas ferramentas para o controlo dos processos. Se utilizadas na fase inicial do desenvolvimento do projecto, estas ferramentas vão funcionar como prevenção e controlo de falhas.

O objectivo é eliminar as causas das falhas, de modo a que não possam mais ocorrer, não sendo pois necessária a verificação no produto final. Se isto não for totalmente possível, há que reduzir essas falhas e controlá-las. Se a preparação do controlo dos processos de manufactura for efectuada numa fase inicial do desenvolvimento do produto, os custos para a eliminação destas falhas serão bastante reduzidos, uma vez que geralmente é apenas necessário alterar desenhos, ferramentas ou peças que ainda estão em desenvolvimento). Dentro de cada capítulo apresentam-se quais os objectivos que se pretende atingir, bem como a conclusão.

É recomendável que este processo seja iniciado logo que os desenhos das peças estejam disponíveis. Iniciar uma análise demasiado tarde significa uma perda de dinheiro, devido aos problemas que deveriam ter sido detectados e corrigidos antecipadamente.

### **1.4 – Impacto na Organização**

O controlo dos processos de manufactura é uma actividade de importância fundamental em qualquer empresa. Devido ao facto de o seu desenvolvimento ser elaborado por uma equipa multidisciplinar, ele vai afectar todo o processo de realização do produto. Assim, é importante que a sua implementação seja devidamente planeada para que seja realmente efectiva. Esta preparação para o controlo de processos pode ser demorar um tempo considerável e como tal requer um compromisso vital por parte dos intervenientes e seus supervisores, caso contrário a sua eficácia fica comprometida.

O tipo de abordagem vai variar, dependendo do tamanho e estrutura da empresa, no entanto os princípios em termos da metodologia são os mesmos.

<sup>2</sup>D-AMFE – Análise de Modos de Falha e seus Efeitos no Design

<sup>3</sup>DFP – Diagrama de Fluxo de Processo

<sup>4</sup>P-AMFE - Análise de Modos de Falha e seus Efeitos no Processo

A definição do controlo dos processos é desenvolvido por uma equipa multi-disciplinar. O tamanho dessa equipa depende da complexidade do design, bem como da organização da empresa. Os elementos da equipa necessitam de ter experiência nas suas áreas de trabalho, tempo disponível e autoridade para tomar decisões se necessário.

Deve ser implementado na empresa um plano de treino que inclua:

- Visão geral para os gestores do que é um processo, quais as metodologias a aplicar e para que serve? Que vantagens?
- Treino para os utilizadores
- Treino para os fornecedores (se aplicável)
- Treino para o Facilitador da fábrica

Ultimamente, os gestores têm a responsabilidade de desenvolver, manter e controlar todos os documentos de controlo dos processos de manufactura.

## 1.4 – Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é composta por 5 capítulos. No **presente capítulo** pretende-se contextualizar o tema a abordar, apresentando-se de forma sucinta quais as principais ferramentas que iremos apresentar, bem como os objectivos que se pretende alcançar.

O **capítulo 2** apresenta de forma detalhada o que é um D-AMFE e como é concebido, quais os inputs necessários, responsabilidades e métodos a utilizar. Aborda ainda a importância da coordenação e liderança neste processo, bem como a preparação efectiva das reuniões D-AMFE. De salientar a importância de uma equipa multi-disciplinar na realização deste, dado que o objectivo presente é sempre a melhoria contínua. São ainda apresentados os vários níveis de análise de um D-AMFE com alguns exemplos práticos.

No **capítulo 3** é abordada a forma como os processos de manufactura são identificados, através da concepção do DFP. Aqui são explicados em detalhe, quais os diferentes tipos de DFP existentes, bem como de que modo deve ser feita a sua aplicação, dependendo da fase de desenvolvimento em que se encontra o projecto. Realça-se uma vez mais a importância do trabalho em equipa na realização deste documento.

Por fim, aborda-se ainda a forma como este documento deve estar ligado ao P-AMFE e aos Planos de Controlo, de acordo com os requisitos da norma AIAG / FMEA.

O **capítulo 4**, à semelhança do que acontece no capítulo 2, descreve detalhadamente como abordar um P-AMFE, quais os seus objectivos tendo presente uma vez mais, os conceitos da melhoria contínua, quais os inputs que devem ser considerados e como deve ser seguido, de forma a garantir uma correcta implementação dos processos na fábrica. Realçam-se ainda as vantagens da aplicação correcta desta ferramenta. Para além da metodologia a seguir, salienta também a importância do trabalho de equipa na realização de um P-AMFE.

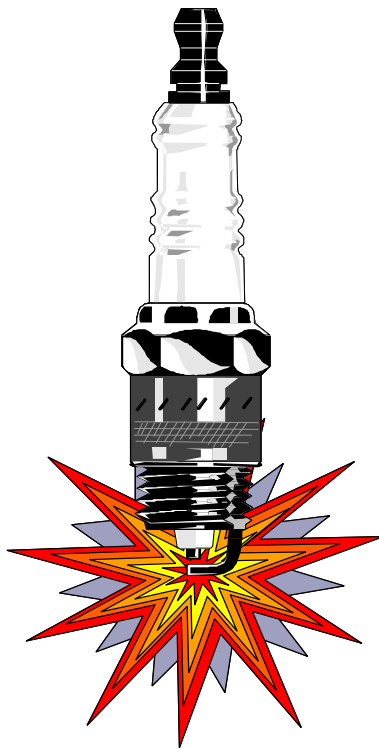
O **capítulo 5** descreve como devem ser controlados os processos de manufactura, através da utilização dos Planos de Controlo. Estes devem ser concebidos para cada processo de manufactura identificado no DFP e analisado no P-AMFE. Mostra também de que forma estes documentos devem estar interligados de acordo com os requisitos da norma AIAG / FMEA. Aqui são ainda mencionados quais os tipos de Planos de Controlo existentes, bem como e quando devem ser aplicados, dependendo da fase de desenvolvimento do projecto. Uma vez mais o trabalho de equipa é salientado como fonte de melhoria contínua.

No **capítulo 6** são recuperadas algumas considerações e resultados alcançados nos capítulos anteriores procurando responder aos itens anunciados na introdução.

São ainda tecidas algumas recomendações para investigações futuras, nomeadamente a concepção de um sistema informático onde seriam criados templates P-AMFE e respectivos Planos de Controlo para os vários processos. Nestes seriam registadas todas as lições aprendidas e know-how relativo a cada processo. Estes templates seriam pois, a base inicial de trabalho para cada projecto a desenvolver, sendo assim possível a partilha de informação e conhecimentos para cada um dos processos inerentes, bem como o estabelecimento da interligação entre os documentos, já que, ao identificar os processos de manufactura necessários para a concepção do produto através do DFP, toda a informação relativa a cada P-AMFE e Planos de Controlo surgiria automaticamente.

O último capítulo é dedicado à bibliografia encontrando-se as referências ordenadas por ordem alfabética. Estas referências dizem respeito a normas, manuais e publicações relativos ao tema desta dissertação, já que o seu propósito é o de apresentar um manual que poderá ser um valor acrescentado para as empresas no controlo dos seus processos de manufactura.

## Capítulo 2 – D-AMFE



## 2.1 – Objectivos

Esta dissertação descreve os princípios básicos de implementação de um processo AMFE<sup>5</sup> e como ele está integrado no ciclo de desenvolvimento do produto e do processo. Isto inclui a documentação do processo, bem como a sua análise correcta, por forma a ser uma ferramenta preventiva e evitar ou reduzir a ocorrência de problemas.

Esta introdução AMFE vai permitir:

- Compreender o que é um D-AMFE – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos ao nível do Design do Produto (D-AMFE)
- Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos ao nível do Processo de Manufatura do Produto (P-AMFE)
- Ficar apto a fazer todas as etapas de um processo de D-AMFE e P-AMFE
- Utilizar o D-AMFE como uma ferramenta no desenvolvimento do produto
- Utilizar o P-AMFE como ferramenta de prevenção no desenvolvimento dos processos de manufatura

Os objectivos de um AMFE são a melhoria da segurança de um produto, melhoria da qualidade, fiabilidade e durabilidade de um produto, e de redução dos seus custos. O valor de um AMFE está na melhoria de um produto ou design do processo, melhoria de planos de validação e de requisitos, identificação de características chave, redução de riscos e a documentação das lições aprendidas.

<sup>5</sup> Existem várias designações para o AMFE, como por exemplo: Failure Mode Effects Analysis (FMEA), Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA), em francês Analyse des Modes Defaillance e ses Efféct et Causes (AMDEC) [Tweeddale, 2003]

## 2.2 – O que é o AMFE? [McDermott, 2009]

O AMFE é uma ferramenta técnica de análise utilizada por engenheiros, para identificar todos os modos de falha potenciais de um produto, para avaliar os seus efeitos e a sua probabilidade de ocorrência. Um D-AMFE está focado nos modos de falha do produto inerentes ao design ou utilização do produto, enquanto que o P-AMFE está focado nos modos de falha e nas suas causas, que ocorrem durante o processo de manufatura ou montagem do produto.

Um AMFE é a consolidação das ideias sobre um componente, o modo como um sistema é desenhado, ou um processo de manufatura é desenvolvido. Este tipo de abordagem, disciplina também o modo mental de como um engenheiro normalmente desenvolve um produto ou um processo.

O D-AMFE deve ser efectuado numa fase inicial do design do produto e o P-AMFE deve também ser efectuado numa fase anterior à de definição de ferramentas e compra de equipamento de manufatura [AIAG / FMEA, 4th Edition]<sup>6</sup>. No entanto esta técnica pode ser aplicada em qualquer altura de design ou de manufatura e é ainda utilizada como ferramenta de resolução de problemas.

O AMFE pode ainda ser aplicado a áreas não produtivas. Para um processo administrativo, o AMFE pode considerar apenas duas ou três falhas e é realizado num curto período de tempo. Outra aplicação de não-produção pode incluir a avaliação de uma proposta para um sistema de segurança. Em geral, o AMFE é aplicado ao design de produtos e processos de manufatura, onde os benefícios são mais evidentes e significativos.

<sup>6</sup> AIAG - Automotive Industries Action Group

## 2.3 – Âmbito do AMFE [AIAG / FMEA, 4th Edition]

No início, o âmbito de estudo de cada AMFE deve ser definido e clarificado, pois esta constitui uma das regras base para uma correcta utilização desta metodologia. O sucesso de um AMFE depende de quem efectua a análise e do seu entendimento e percepção dos processos, bem como de quais os recursos que existem disponíveis para o projecto. Se este for efectuado apenas para responder a um único requisito, o efeito será mínimo.

Se dividirmos um AMFE em sub-processos, devemos definir quais os limites desses sub-processos e considerar que dentro desses todos os inputs necessários estão correctos. A análise será feita pois em função do processo e respectivo output.

## 2.4 – Inputs necessários

### Identificar e Avaliar

*“O que é que pode correr mal?” “ Qual será o efeito?”*

### Tomada de acções

*“O que podemos fazer para prevenir esta falha?” “O que podemos fazer para minimizar as consequências desta falha?”*

### Documentar

*“Existe necessidade de fazer seguimento deste problema?”*

O processo de AMFE primeiro **analisa** o design (fig. 3) para:

- Identificar as funções do design, como no exemplo da fig. 4
- Determinar como é que o design pode falhar relativamente à sua funcionalidade
- Avaliar o efeito de todos os modos de falha potenciais
- Determinar as possíveis causas de cada falha



**Fig. 3** – Exemplo de um design

Seguidamente, o processo AMFE **define acções** para:

- Melhorar o design através da eliminação das causas das falhas
- Reduzir a probabilidade com que uma falha pode ocorrer
- Evidenciar falhas do design antes da libertação do projecto (release)
- Melhorar a capacidade de detecção de modos de falha e / ou causas durante o desenvolvimento do design e sua validação.



**Fig. 4** – Componentes / funções do design

O D-AMFE é uma ferramenta primária par avaliar os riscos durante o desenvolvimento do produto.

São quatro os elementos de risco avaliados nesta fase do AMFE:

- ✧ **Severidade** – quão séria uma falha potencial pode ser
- ✧ **Ocorrência** – a probabilidade com que pode ocorrer a falha potencial
- ✧ **Detecção** – Se os métodos de engenharia e outros meios de controlo vão detectar o problema potencial no design
- ✧ **Prioridade de Risco** – Avaliação geral de risco para um potencial problema no design

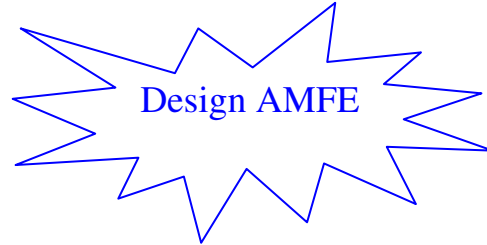
## ESPECIFICAÇÕES

- 🔗 [Society of Automotive Engineers SAE J1739 – Potential FMEA](#)
- 🔗 [Quality System Requirements QS-9000 and / or ISO / TS 16949](#)
- 🔗 [Automotive Industries Action Group - AIAG FMEA Manual](#)

## 2.5 – Tipos de AMFE's

Esta metodologia pode ser aplicada a vários níveis de complexidade na engenharia de design:

- Sistema
- Subsistema
- Componentes



Em termos dos processos de manufactura, esta metodologia pode ser aplicada a:

- Montagem – Instalação, montagem, fixação
- Manufactura – Soldadura, pintura
- Fabricação – Moldagem, estampagem



### Exemplos D-AMFE

- Sistema de Audio
- Subsistema / montagem de Amplificador
- Aparelho de resistência
- Sistema de direcção

## 2.6 – Quando aplicar um D-AMFE

Um D-AMFE deve ser aplicado nas situações seguintes:

**SITUAÇÃO 1** – novo design ou nova tecnologia; O âmbito do D-AMFE é o design completo.

**SITUAÇÃO 2** – modificação de um design existente; O âmbito do D-AMFE são as modificações, as interações com as partes não modificadas do design e o histórico.

**SITUAÇÃO 3** – Utilização de um design e de um D-AMFE existente, para uma aplicação ou ambiente diferente; O âmbito do D-AMFE é a aplicação das interfaces, factores ambientais e o histórico.

Se assim for, é sempre possível identificar os “pontos fracos” ao nível do design e consequentemente melhorá-los.

## 2.7 – Responsabilidade por um D-AMFE

O Engenheiro do Produto é o responsável por liderar e conduzir o D-AMFE.

No entanto, este deve ser um trabalho de equipa, e por isso os seus elementos devem ser Engenheiros Electrónicos e / ou Mecânicos, Engenheiros de Validações entre outros.

O tipo de abordagem deve ser multidisciplinar e as equipas devem ser pessoas dos diferentes departamentos. Isto é um ponto bastante importante pois diferentes departamentos têm diferentes perspectivas sobre o produto ou processo, sendo pois um benefício para a análise.

Deve-se ainda incluir como elementos da equipa D-AMFE, pessoas com conhecimentos dos sistemas e das preocupações dos Clientes:

- ✧ Engenheiros de Sistema
- ✧ Engenheiros de Produto
- ✧ Engenheiros de Manufatura
- ✧ Qualidade
- ✧ Validação
- ✧ CAD Design
- ✧ Engenheiro de Suporte ao Cliente
- ✧ Pós-venda
- ✧ Desenvolvimento de Fornecedores
- ✧ Fornecedores de componentes
- ✧ Cliente

Esta equipa deve ser dinâmica, representar as áreas funcionais a que pertencem e promover a discussão de novas ideias. Para além disso, devem ainda compreender e utilizar os requisitos dos Clientes, por forma a prevenir falhas através da utilização dos AMFE.

**Equipas dinâmicas produzem ideias através de actividades em equipa e participação activa.**

**As Alterações vão ocorrendo quando as equipas escolhem a altura certa para as fazer acontecer, num esforço conjunto para atingir os seus objectivos.**

## COORDENAÇÃO E LIDERANÇA

Deve existir sempre um facilitador de AMFE com o objectivo de:

- Estabelecer plano estratégico para incorporar no D-AMFE o que foi já feito no passado noutros produtos e estabelecer uma visão para o futuro
- Garantir que a metodologia AMFE é seguida no processo

Deve ser ainda garantido que os facilitadores têm experiência nos processos e:

- Compreendem a metodologia AMFE e podem ajudar a equipa
- Estão preparados para os diversos tipos comportamentais do grupo
- Sabem ouvir e colocar as questões correctas na altura certa

### **Caso contrário**

- As equipas autoconduzem-se e assumem acções que outros grupos já fizeram (bons ou maus) sem questionar
- Podem possuir um conhecimento mínimo do processo AMFE
- As áreas mais dominadoras é que imperam
- Conseguem o trabalho feito, em vez de fazerem um bom trabalho

## 2.8 – Quando se deve iniciar um D-AMFE?

- ✧ O D-AMFE deve ser iniciado, assim que houver informação suficiente, tais como desenhos das peças e especificações do produto.
- ✧ O D-AMFE inicial deve ser efectuado durante o desenvolvimento do conceito do design do produto e antes da libertação da respectiva documentação.

## 2.9 – Como preparar uma reunião D-AMFE?

Deve existir um plano geral para cumprimento do D-AMFE, onde as principais etapas se encontram identificadas:

- Objectivo do Projecto** – Propósito para o D-AMFE
- Âmbito** – Limites de análise
- Estratégia** – Métodos para avaliação dos riscos
- Planeamento** – Pre-equipa, Equipa, Seguimento, Prazos, etc.
- Sucesso** – Revisão com a administração da empresa e com o Cliente

A documentação do design é essencial para a análise D-AMFE

Estes são exemplos dos documentos necessários para iniciar a análise:

- Desenhos e especificações de componentes
- Ilustrações em modelos CAD
- Esquemas e desenhos de funcionalidade
- Documentos de definição do Produto e outros requisitos
- Amostras de componentes, etc

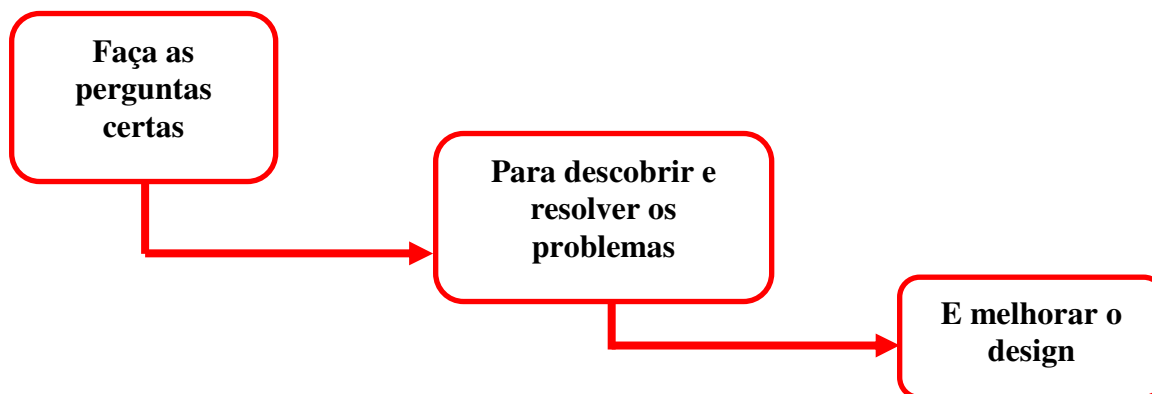
A informação sobre a performance de designs semelhantes também ajuda a identificar áreas onde já ocorreram problemas:

- Relatório de incidentes
- Relatórios 5-Why's / 8-D
- Relatório de problemas & Resolução para o Cliente
- Relatórios de contactos com o Cliente
- Relatórios de Qualidade em termos de ocorrência de problemas
- Relatórios de desperdício

Antes de iniciar o D-AMFE é necessário identificar e decidir qual irá ser o âmbito do AMFE:

- ➔ O que irá ser incluído no D-AMFE (limites do AMFE)
- ➔ Quais as interfaces externas e interações no sistema

O D-AMFE é feito através de um conjunto de questões que são feitas para identificar qual a informação a colocar em cada coluna do form (fig. 6). A sequência das perguntas provém da análise técnica do AMFE. As questões repetem-se para todos os níveis do design (fig. 5).



**Fig. 5 – Questões D-AMFE**

O Form do AMFE estabelece uma estrutura para a análise e informação.

Potential Failure Mode and Effect(s) Analysis (Design FMEA)																
System								FMEA Number _____								
Subsystem								Prepared by _____								
Component								FMEA Date (Orig.) _____								
Description _____								Revision Date _____								
Model Year(s) _____		Design Responsibility _____														
Vehicle _____		Key Date _____														
Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	SEV	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	New SEV	New OCC	New DET	New RPN

Fig. 6 – Form do AMFE

O conteúdo do D-AMFE deve:

- ✎ Utilizar terminologia própria e específica de engenharia em consenso com a equipa.
- ✎ Ser consistente entre a equipa e o produto.
- ✎ Evitar termos especulativos. O D-AMFE deve ser claro e objectivo, como se apresenta no exemplo da fig. 7.

Failure Modes:	<b>Avoid:</b> Cracks	<b>Say:</b> Housing cracks
Effects:	<b>Avoid:</b> Loss of control	<b>Say:</b> Unable to give energy to one wheel at low speed
Causes:	<b>Avoid:</b> Incorrect design	<b>Say:</b> Fatigue, design insufficient for vehicle loads
Design Controls:	<b>Avoid:</b> Design validation	<b>Say:</b> Material analysis, fatigue test, in-vehicle durability

Fig. 7 – Exemplos de conteúdos de um D-AMFE

## **2.10 – Elaboração de um D-AMFE**

A equipa deve começar por identificar todos os itens do design e as respectivas funções que vai analisar. Estabelece os respectivos limites, e para cada uma das funções, identifica as respectivas falhas potenciais bem como os seus efeitos. Para cada efeito estima-se pois a severidade correspondente (risco do design). Seguidamente e para cada falha identificada na função, analisam-se todas as causas possíveis, e identificam-se quais os controlos existentes desse design, bem como os controlo preventivos existentes, e estima-se um valor de ocorrência para cada causa. É necessário ainda fazer a avaliação de risco do design em termos de detecção (se o problema ocorrer, qual a probabilidade de ele chegar ao Cliente?) e por fim determinar o Índice de Prioridade do Risco de Design. Este valor vai-nos indicar quais as funções cuja criticidade é maior em termos de risco para o Cliente e para as quais é urgente tomar acções.

Após as acções serem tomadas, é necessário fazer uma re-avaliação para saber até que ponto elas foram efectivas e reduziram o Risco de Design.

Na figura 8 é apresentado um esquema com a sequência de elaboração de um D-AMFE.

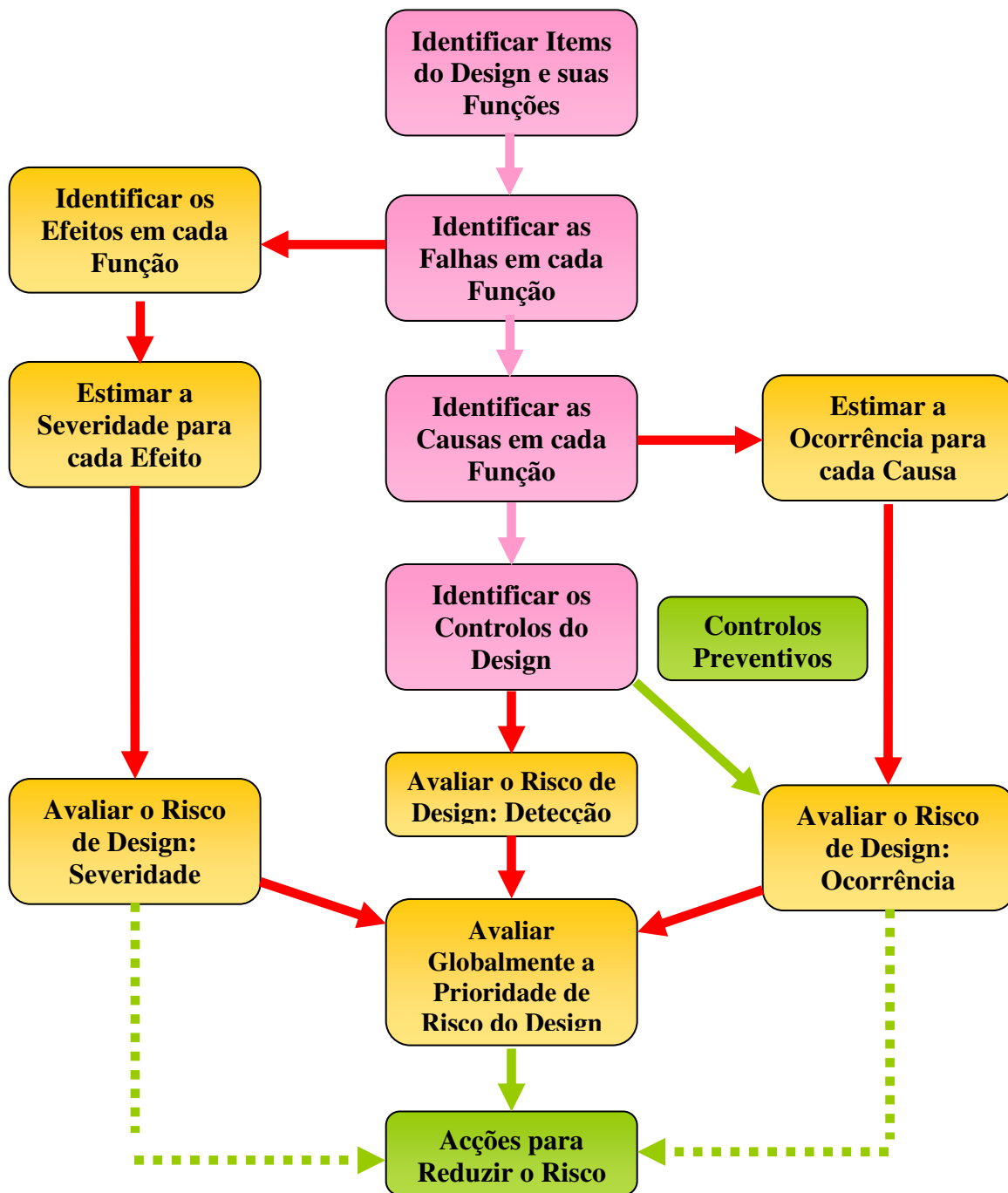
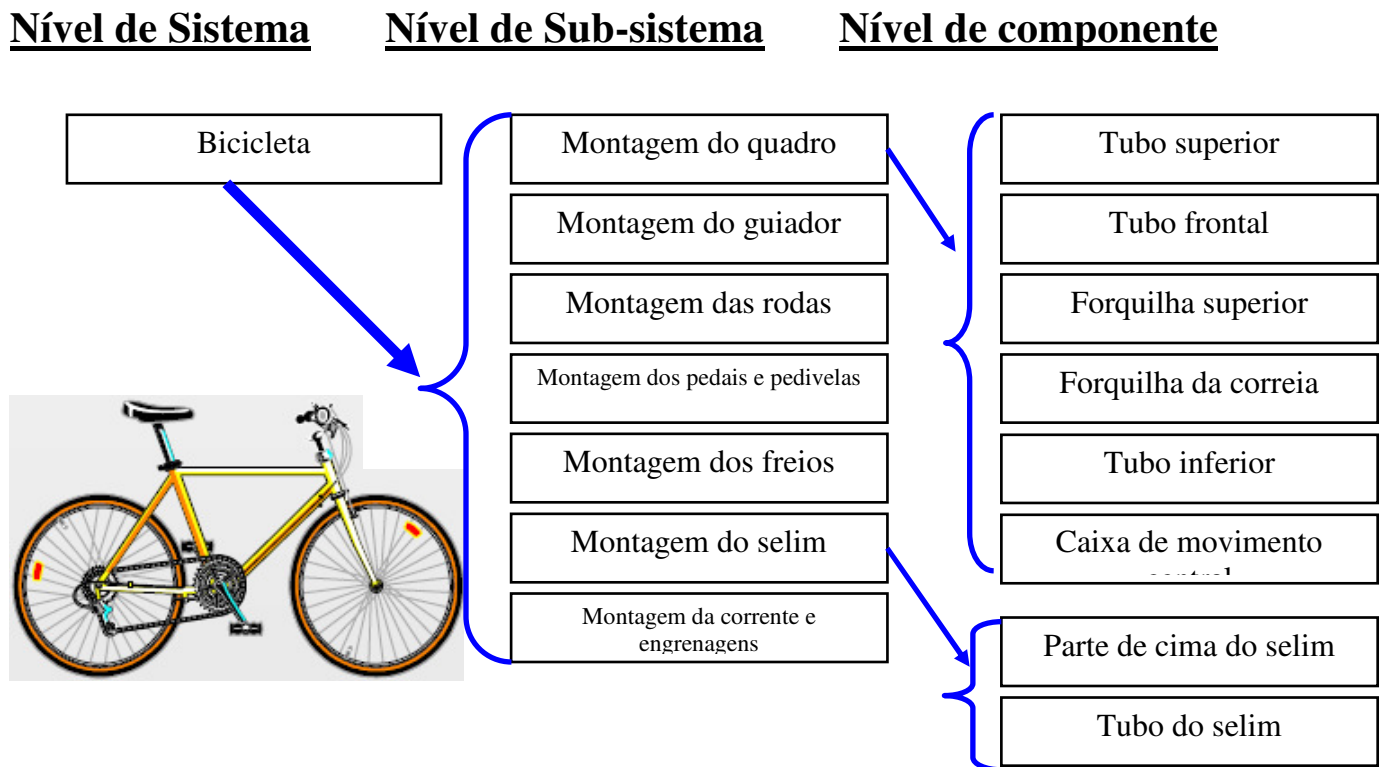
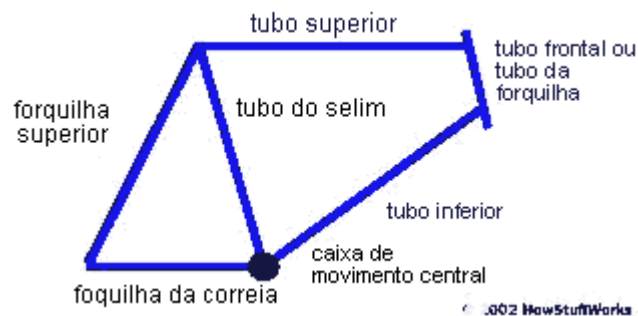


Fig. 8 – Elaboração esquemática de um D-AMFE

O AMFE procura e analisa problemas a vários níveis de complexidade e sempre que possível o sistema deve ser decomposto em vários níveis (fig. 9 e 10), para que se possa fazer uma análise mais profunda. Os problemas que afectam o utilizador ou funções de alto nível podem ser mais complexas, devendo as suas causas raízes ser seguidas de modo a prevenir essas falhas.



**Fig. 9 – Decomposição de um Sistema**



**Fig. 10 – Decomposição de um sub-sistema**

## O D-AMFE segue o desenvolvimento do Design

- Cada nível do design pode ser analisado em alturas diferentes durante o seu desenvolvimento.
- O D-AMFE é efectuado à medida que a documentação (desenhos e especificações) vão ficando disponíveis para análise.
- O D-AMFE é um processo interactivo que é re-analisado e re-avaliado à medida que o design vai evoluindo.
- O D-AMFE deve considerar todas as funções dentro do âmbito em análise incluindo as interacções entre elas.

### 2.11 – Processo D-AMFE [AIAG / FMEA, 4th Edition][Crow, 2002]

#### 1- Identificar o Item e a Função (Item / Function)

- a. Item: descrição do elemento do design em estudo
- b. Função: O que faz esse item para atingir o que se pretende? Deve começar a frase sempre com um verbo no infinito. Incluir as especificações do item se possível, ou usar unidades mensuráveis.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	-------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

**fig. 11** – Form AMFE – Item / Function

## 2- Modo de Falha

a. Os **Modos de Falha Potenciais** (Potential Failure Mode)

b. Um Modo de Falha Potencial é a forma como o item pode falhar durante a função identificada na coluna do “item / function” – (o que é que pode correr mal?)

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Causes	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	--------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

fig. 12 – Form AMFE – Potencial Failure Mode

c. O AMFE assume que uma falha potencial pode ocorrer.

d. Um modo de falha pode acontecer:

- i. Apenas numa parte da produção total
- ii. Dependendo de certas condições (ambientais, sistema)
- iii. Pode ser também resultado de um mau design do produto
- iv. Pode causar uma falha a um elevado nível do design do produto

e. O AMFE deve identificar todos os modos de falha potenciais possíveis com base:

- i. Conhecimentos da equipa multidisciplinar usando o “brainstorming”
- ii. Recolha e análise de falhas conhecidas em produtos ou funções semelhantes

f. Deve listar cada modo de falha potencial do D-AMFE, numa linha separada, para assegurar que os participantes se concentram num modo de falha de cada vez e identificam as respectivas causas (failure causes) como se mostra na fig. 13.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Classes	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
Bicycle / (System) Correct leg extension for 95 <sup>th</sup> percentile male	Seat to pedal distance too short at max. seat height															
Bicycle / (System) Safety/durability for 5,000 hour life with 95 <sup>th</sup> percentile male	Performance degrades over time with 95 <sup>th</sup> percentile male Structural component breaks during riding															
Frame / Subsystem Clamp to sprocket dimension correct for 6 ft. 2 in. rider	Clamp to sprocket distance too short															
Frame / Subsystem Support 225 lb. rider over 5,000 hour design life	Frame welds fatigue or fracture															
Seat Ass. / (Subsys) Support 225 lb. rider at 12 in. seat height	Seat position not stable horizontally															
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post under 225 lb. vertical force	Seat post slips downward at less than 225 lb. force															
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post at 12 in. height and 75 lb. horizontal force	Seat Tube material distorts over time															

Um item pode ter mais do que um Modo de Falha

Liste cada Modo de Falha numa linha separada

Fig. 13 – Exemplos de “Failure Modes”

### 3- Efeito (Effect)

**Effect = Qual é a consequência?**

O que aconteceria se o seu telhado se partisse? Deixava passar água?

E se o seu vizinho viesse a passar nesse momento?

Fig. 14 – Exemplo de efeitos

- a. Identificar os **Efeitos da Falha** (exemplos na fig. 14):
- O Efeito descreve o que acontecerá à função, caso a falha ocorra (fig. 15).
  - Diversos Efeitos podem resultar de apenas um Potencial Modo de Falha (fig. 18).
  - Alguns Efeitos podem afectar funções ao mais alto nível de design.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Classe	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	--------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

**Fig. 15** - Form AMFE – Potential Effects of Failure

- b. Os Efeitos devem ser avaliados em diferentes níveis, para analisar as consequências da falha para:
- A função do item
  - Componentes associados
  - Funções seguintes ou interligadas
  - O sistema de funcionamento geral do veículo
  - O utilizador final ou cliente
  - Situações relacionadas com cumprimentos de segurança ou regulamentação
  - Impacto na produção ou na montagem
- c. Listar todos os Efeitos para o mesmo Modo de Falha na mesma linha do form de AMFE, como se pode ver na fig. 16.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Classe	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
		Effect A Effect B														

**Fig. 16** - Form AMFE – Potential Effects of Failure (exemplo)

**ESTIMAR A SEVERIDADE ASSOCIADA AO EFEITO(S):**

- A Severidade é o factor de risco associado ao efeito de um Modo de Falha Potencial (fig. 17).
- A seguir temos um exemplo sugerido pelo critério da AIAG para o ranking da severidade (Tabela 2).

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEVERITY CLASS	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	----------------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

**Fig. 17 - Form AMFE – Severity**

Effect	Criteria: Severity of Effect	Ranking
Hazardous-without warning	Very high severity ranking when a potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10
Hazardous-with warning	Very high severity ranking when a potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning.	9
Very High	Vehicle/item inoperable (loss of primary function).	8
High	Vehicle/item operable, but at reduced level of performance. Customer very dissatisfied.	7
Moderate	Vehicle/item operable, but Comfort/Convenience item(s) inoperable. Customer dissatisfied.	6
Low	Vehicle/item operable, but Comfort/Convenience item(s) operable at reduced level of performance. Customer somewhat dissatisfied.	5
Very Low	Fit & Finish/Squeak & Rattle item does not conform. Defect noticed by most customers (greater than 75%).	4
Minor	Fit & Finish/Squeak & Rattle item does not conform. Defect noticed by average customer. (50%)	3
Very Minor	Fit & Finish/Squeak & Rattle item does not conform. Defect noticed by discriminating customers (less than 25%).	2
None	No discernible Effect.	1

**Tabela 2 – Critérios de Severidade SAEJ1739 / AIAG [AIAG, “FMEA, 2008]**

- A Severidade é avaliada em diferentes níveis do design associados aos diferentes níveis de Efeitos. De lembrar que a única forma existente para reduzir o valor da Severidade é através de uma alteração de design, caso contrário ela permanece sempre a mesma.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	C i a a a	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Design Controls	D E T	R P N	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	O C C	D E T	R P N	
Bicycle / (System) Correct leg extension for 95 <sup>th</sup> percentile male	Seat to pedal distance too short at max. seat height	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5														
Bicycle / (System) Safety/durability for 5,000 hour life with 95 <sup>th</sup> percentile male	Performance degrades over time with 95 <sup>th</sup> percentile male	Reduced rider performance, Transportation Impaired (7)	7														
	Structural component breaks during riding	Loss of transportation function (8) Rider hazard (10)	10														
Frame / Subsystem Clamp to sprocket dimension correct for 6 ft. 2 in. rider	Clamp to sprocket distance too short	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5														
Frame / Subsystem Support 225 lb. rider over 5,000 hour design life	Frame welds fatigue or fracture	Loss of transportation function (8) Rider hazard (10)	10														
Seat Asm. / (Subsys) Support 225 lb. rider at 12 in. seat height	Seat position not stable horizontally	Reduced rider performance, Loss of transportation function (8)	8														
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post under 225 lb. vertical force	Seat post slips downward at less than 225 lb. force	Seat position not stable (8) Rider hazard (10)	10														
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post at 12 in. height and 75 lb. horizontal force	Seat Tube material distorts over time	Clamp force reduced (5) Rider hazard (10)	10														

Selecionar apenas o valor mais alto da Severidade, para todos os Efeitos e colocá-lo no form

Os Modos de Falha podem ter mais do que um Efeito

Fig. 18 – Exemplos de “Potencial Effects”

## 4 – Causas Potenciais (Potential Causes)

a. A **Causa / Mecanismo** é um problema de design que provoca um Modo de Falha.

- A Causa / Mecanismo identifica uma oportunidade de melhoria para o design.
- Cada causa que possa originar o Modo de Falha deve estar sempre listada no AMFE, na coluna mencionada na fig. 19.

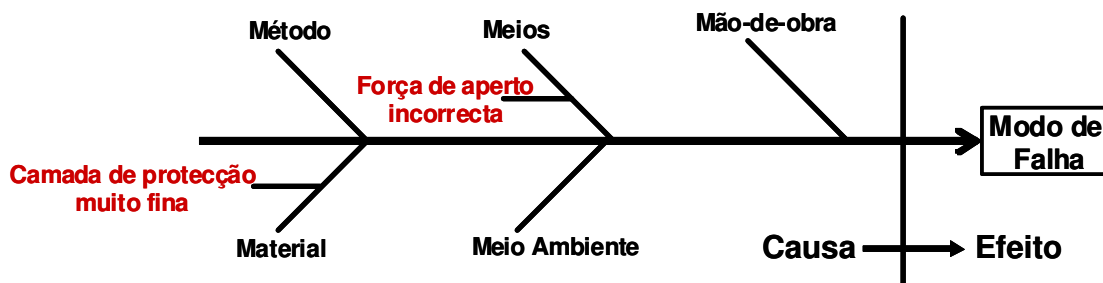
Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEVERITY	CLASS	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DETECT	PREVENT	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEVERITY	OCC	DETECT	PREVENT
-----------------	------------------------	------------------------------	----------	-------	--	-----	-------------------------	--------	---------	---------------------	---	---------------	----------	-----	--------	---------

**Fig. 19 - Form AMFE – Potential Causes of Failure**

As causas podem estar relacionadas com um “fraco” design ao nível da função, ou do próprio design do processo de manufactura; isto significa, designs do produto que não incluem todos os requisitos ou especificações do Cliente, ou incluem requisitos inadequados (por exemplo desactualizados ou errados), e que no final vão afectar a funcionalidade no veiculo (Modo de Falha) de uma forma mais ou menos grave (de acordo com a Severidade). Por outro lado, o design do processo de manufactura assume que o design do produto está correcto, o que se não for verdade, caímos na mesma situação.

### Análise das Causas Potenciais: [BSMMT, 1991]

Um método de análise sugerido para identificação das causas potenciais pode ser a metodologia dos 5-Why’s ou ainda o diagrama “Espinha de Peixe” ou Ishikawa, onde as causas irão aparecer no segundo nível da análise como se mostra na fig. 20.



**Fig. 20 – Diagrama Causa / Efeito (espinha de peixe)**

Como se pode ver na fig. 21, um modo de falha pode ter mais do que uma causa. Estas devem ser analisadas separadamente, de modo a definir de que forma podem ser eliminadas ou minimizadas.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	C i a s a s	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Design Controls	D E T	R P N	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	O C C	D E T	R P N	
Bicycle / (System) Correct leg extension for 95 <sup>th</sup> percentile male	Seat to pedal distance too short at max. seat height	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Subsystem and part dimensions are incorrect												
Bicycle / (System) Safety/durability for 5,000 hour life with 95 <sup>th</sup> percentile male	Performance degrades over time with 95 <sup>th</sup> percentile male	Reduced rider performance (5) Transportation Impaired (7)	7		Components degrade out of spec. at less than 5,000 hours												
	Structural component breaks during riding	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Current materials may not support 225 lb. rider load												
Frame / Subsystem Clamp to sprocket dimension correct for 6 ft. 2 in. rider	Clamp to sprocket distance too short	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Seat tube length incorrect												
Frame / Subsystem Support 225 lb. rider over 5,000 hour design life	Frame welds fatigue or fracture	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Excessive flexing of frame tubes with 225 lb. rider												
Seat Arm / (Subsys) Support 225 lb. rider at 12 in. seat height	Seat position not stable horizontally	Reduced rider performance (5) Loss of transport function (8)	8		Seat Post flexes, material not rigid enough to maintain position Seat Post distorts over time due to longer length and higher leverage												
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post under 225 lb. vertical force	Seat post slips downward at less than 225 lb. force	Seat position not stable (8) Rider hazard (10)	10		Clamp too narrow, clamp force on seat post insufficient												
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post at 12 in. height and 75 lb. horizontal force	Seat Tube material distorts over time	Clamp force reduced (5) Rider hazard (10)	10		225 lb. Rider over-extends post above 12 in. height												

Os Modos de Falha podem Ter mais que uma Causa

Cada Causa é listada separadamente

Múltiplas Causas também podem expandir um AMFE em vários

Fig. 21 – Exemplos de Causas

## 5 – Ocorrência

A Ocorrência (fig. 22) deve ser estimada através da probabilidade de falha para cada causa separadamente.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	C i a s a s	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Design Controls	D E T	R P N	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	O C C	D E T	R P N
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	-------------	--	-------	-------------------------	-------	-------	---------------------	---	---------------	-----	-------	-------	-------

Fig. 22 - Form AMFE – Occurrence

A tabela seguinte é a utilizada pela SAEJ1739/AIAG

Probability of Failure	Likely Failure Rates Over Design Life		Ranking
Very High: Persistent Failures	$\geq 100$ per thousand vehicles / items	$\geq 100,000$ PPM	10
	50 per thousand vehicles / items	50,000 PPM	9
High: Frequent failures	20 per thousand vehicles / items	20,000 PPM	8
	10 per thousand vehicles / items	10,000 PPM	7
Moderate: Occasional Failures	5 per thousand vehicles / items	5,000 PPM	6
	2 per thousand vehicles / items	2,000 PPM	5
	1 per thousand vehicles / items	1,000 PPM	4
Low: Relatively few failures	0.5 per thousand vehicles / items	500 PPM	3
	0.1 per thousand vehicles / items	100 PPM	2
Remote: Failure is unlikely	$\leq 0.01$ per thousand vehicles / items	$\leq 10$ PPM	1

**Tabela 3** – Critérios de Ocorrência SAEJ1739 / AIAG [AIAG, “FMEA, 2008]

1. A **Ocorrência** pode ser estimada através da relação do item em análise com defeitos semelhantes ocorridos noutros designs. Para esses itens deve-se rever:
  - a. Que problemas ocorreram na manufactura
  - b. Quais as diferenças de aplicação
  - c. Quais as diferenças encontradas
2. A avaliação numérica deve ser utilizada sempre que possível de acordo com a tabela 3.
3. A **Ocorrência** é classificada com base no status corrente do design aquando do início do D-AMFE.
4. Os itens no Design são melhorados através de alterações, que previnem as causas do problema ou a sua probabilidade de ocorrência.
  - a. Essas acções de melhoria são alocadas a uma entidade e seguidas, para garantir uma melhor aplicação e efectividade
  - b. As alterações podem ser re-avaliadas
  - c. Após implementação, todas as acções deverão ser validadas por outra entidade diferente da que implementou.

Na fig. 23, apresentam-se alguns exemplos relativos ao estabelecimento de prioridades partindo dos valores de ocorrência e da severidade.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN	
Bicycle / (System) Correct leg extension for 95 <sup>th</sup> percentile male	Seat to pedal distance too short at max. seat height	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Subsystem and part dimensions are incorrect	9											
Bicycle / (System) Safety/durability for 5,000 hour life with 95 <sup>th</sup> percentile male	Performance degrades over time with 95 <sup>th</sup> percentile male	Reduced rider performance (5) Transportation Impaired (7)	7		Components degrade out of spec. at less than 5,000 hours	9											
	Structural component breaks during riding	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Current materials may not support 225 lb. rider load	9											
Frame / Subsystem Clamp to sprocket dimension correct for 6 ft. 2 in. rider	Clamp to sprocket distance too short	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Seat tube length incorrect	9											
Frame / Subsystem Support 225 lb. rider over 5,000 hour design life	Frame welds fatigue or fracture	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Excessive flexing of frame tubes with 225 lb. rider	4											
Seat Ass / (Subsys) Support 225 lb. rider at 12 in. seat height	Seat position not stable horizontally	Reduced rider performance (5) Loss of transport function (8)	8		Seat Post flexes, material not rigid enough to maintain position	6											
					Seat Post distorts over time due to longer length and higher leverage	3											
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post under 225 lb. vertical force	Seat post slips downward at less than 225 lb. force	Seat position not stable (8) Rider hazard (10)	10		Clamp too narrow, clamp force on seat post insufficient	6											
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post at 12 in. height and 75 lb. horizontal force	Seat Tube material distorts over time	Clamp force reduced (5) Rider hazard (10)	10		225 lb. Rider over-extends post above 12 in. height	5											

Se a Ocorrência não for Conhecida, inicialmente é Classificada com um valor elevado Para dar prioridade à acção

Severidade e Ocorrência Elevadas devem ter prioridade

Severidade que representem Perigo e Ocorrência Superior a 1 são potencialmente críticas

Fig. 23 – Exemplo de Ocorrência versus Severidade

## 6 - Design Controlos = Prevenção e Métodos de Detecção

### Identificação dos Controlos existentes no Design do Produto

- Os Controlos do Design (fig. 24) incluem os standards de Engenharia, análises e testes que são utilizados para:
  - Monitorizar o processo de design do produto durante o seu desenvolvimento
  - Eliminar ou reduzir a ocorrência de potenciais problemas de design do produto
  - Detectar e expor problemas de Design antes que o Design seja libertado para a manufactura

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	-------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

Fig. 24 - Form AMFE – Current Design Controls

Os Controlos existentes no Design podem incluir actividades que estão já planeadas para detectar falhas (D) (ver fig. 25).

- Controlos de Detecção que são listados no form D-AMFE são considerados como “acções em curso” e são parte do desenvolvimento normal do processo.
- Os elementos da equipa devem assegurar que os controlos do design do produto estão completos através dos inputs das várias áreas.

Os Controlos de Detecção são identificados através da letra **D** junto ao controlo correspondente, na coluna **Current Design Controls** do form

System _____		Subsystem _____		Component _____		Description _____		Model Year(s) _____		Vehicle _____		Core Team _____		Design Responsibility _____		Key Date _____		Prepared by _____		FMEA Date (Orig.) _____		Revision Date _____	
Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	S E V	C i a s s a	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Design Controls	D E P N	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	S E V	O C C	D E P N									
							D - Control																

Fig. 25 – Exemplo de identificação do tipo de Controlo - D

Os Controlos existentes no Design são também detalhados em características do produto no sentido de **prevenir a ocorrência das falhas (P)**.

**Os Controlos de Prevenção incluem:**

- » Standards do Design
  - » Sistemas anti-erro
- Os Controlos de **Prevenção** devem evitar que o Modo de Falha aconteça, através da eliminação da Causa, ou da redução da Ocorrência.
  - O desenvolvimento de novos controlos para o design irá tornar o desenvolvimento do processo mais robusto
  - As acções devem ser definidas e registadas sempre que a equipa decida que novos controlos são necessários.
  - A **Ocorrência** inicial estimada pela equipa pode ser reduzida se um controlo preventivo for aplicado.
  - O valor da **Detecção** deve ser estimado, com base no tipo de controlo de detecção. Estes são em função do Modo de Falha e / ou a causa (fig. 26).

- O valor da **Detecção** é estimado de forma subjectiva, em termos de eficácia dos controlos de design existentes, como se mostra na tabela 4.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	-------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

Fig. 26 - Form AMFE – Detection

Na tabela seguinte é utilizada pela AIAG para estimar os critérios de **Detecção**:

Detection	Criteria: Likelihood of Detection by Design Control	Ranking
Absolute Uncertainty	Design control will not and / or can not detect a potential cause or mechanism and subsequent failure mode; or there is no design control.	10
Very Remote	Very remote chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	9
Remote	Remote chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	8
Very Low	Very low chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	7
Low	Low chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	6
Moderate	Moderate chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	5
Moderately High	Moderately high chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	4
High	High chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	3
Very High	Very high chance the Design Control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	2
Almost Certain	Design Control will almost certainly detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	1

Tabela 4 – Critérios de Detectabilidade SAEJ1739 / AIAG [AIAG, “FMEA, 2008]

- Os controlos de **Detecção** que são implementados em fases mais adiantadas da implementação e desenvolvimento do produto e do processo têm maiores riscos associados (as alterações tardias são mais difíceis de implementar).
- A avaliação da **Detecção** é feita com base no melhor D-tipo de controlo(s) listado nos Design Controlos existentes.
- O valor da **Detecção** pode ser reduzido através de uma acção de melhoria.
- Se não existirem D-tipo de controlos listados, o valor final da **Detecção** deverá ser 10.

Na fig. 27 são apresentados alguns exemplos de como tratar a detecção.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Ci	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
Bicycle / (System) Correct leg extension for 95 <sup>th</sup> percentile male	Seat to pedal distance too short at max. seat height	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Subsystem and part dimensions are incorrect	9	P - Ergonomic tables D Design layout study	2								
Bicycle / (System) Safety/durability for 5,000 hour life with 95 <sup>th</sup> percentile male	Performance degrades over time with 95 <sup>th</sup> percentile male	Reduced rider performance (5) Transportation Impaired (7)	7		Components degrade out of spec. at less than 5,000 hours	9	P - Design standards D Validation: Durability	6								
	Structural component breaks during riding	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Current materials may not support 225 lb. rider load	9	P - Design standards D Validation: Durability	6								
Frame / Subsystem Clamp to sprocket dimension correct for 6 ft. 2 in. rider	Clamp to sprocket distance too short	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Seat tube length incorrect	9	P - Ergonomic tables D Design layout study	2								
Frame / Subsystem Support 225 lb. rider over 5,000 hour design life	Frame welds fatigue or fracture	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Excessive flexing of frame tubes with 225 lb. rider	4	D Validation: Durability	8								
Seat Asm / (Subsys) Support 225 lb. rider at 12 in. seat height	Seat position not stable horizontally	Reduced rider performance (5) Loss of transport function (8)	8		Seat Post flexes, material not rigid enough to maintain position	6	D Validation: Riding stability of seat	8								
					Seat Post distorts over time due to longer length and higher leverage	3	P - Material specification D Validation: Durability	6								
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post under 225 lb. vertical force	Seat post slips downward at less than 225 lb. force	Seat position not stable (8) Rider hazard (10)	10		Clamp too narrow, clamp force on seat post insufficient	6	P - Design standards D Validation: Durability	8								
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post at 12 in. height and 75 lb. horizontal force	Seat Tube material distorts over time	Clamp force reduced (5) Rider hazard (10)	10		225 lb. Rider over-extends post above 12 in. height	5	P - User Manual instructions P - Min. insertion depth mark on post	10								

Os Controlos do Design que estão expostos à Falha ou à Causa determinam o valor da Detecção

Se nenhum D-tipo de controlo está listado, a Detecção deve ser 10. Um controlo de Detecção deve ser definido

Fig. 27 – Exemplos de Detecção

## 7 – Cálculo do Índice de Prioridade de Risco (IPR)

- Os valores da Severidade, Ocorrência e Detecção são multiplicados e indicam qual o risco daquela falha acontecer devido àquela causa.

**Severidade x Ocorrência x Detecção = IPR ou RPN** (Risk Priority Number) – fig. 28 e 29

- O IPR é um indicador de problemas que deve ter toda a atenção por parte da equipa de FMEA.

$$8 \times 4 \times 6 = 192$$

$$8 \times 2 \times 3 = 48$$

$$9 \times 1 \times 5 = 45$$

$$4 \times 6 \times 1 = 24$$

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	C I A S S	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Design Controls	D E T	R P N	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	O C C	D E T	R P N

**Fig. 28** - Form AMFE – RPN

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
Bicycle / (System) Correct leg extension for 95 <sup>th</sup> percentile male	Seat to pedal distance too short at max. seat height	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Subsystem and part dimensions are incorrect	9	P - Ergonomic tables D - Design layout study	2	90							
Bicycle / (System) Safety/durability for 5,000 hour life with 95 <sup>th</sup> percentile male	Performance degrades over time with 95 <sup>th</sup> percentile male	Reduced rider performance (5) Transportation impaired (7)	7		Components degrade out of spec. at less than 5,000 hours	9	P - Design Standards D - Validation: Durability	6	378							
	Structural component breaks during riding	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Current materials may not support 225 lb. rider load	9	P - Design Standards D - Validation: Durability	6	540							
Frame / Subsystem Clamp to sprocket dimension correct for 6 ft. 2 in. rider	Clamp to sprocket distance too short	Riding not comfortable for 95 <sup>th</sup> percentile male (5)	5		Seat tube length incorrect	9	P - Ergonomic tables D - Design layout study	2	90							
Frame / Subsystem Support 225 lb. rider over 5,000 hour design life	Frame welds fatigue or fracture	Loss of transport function (8) Rider hazard (10)	10		Excessive flexing of frame tubes with 225 lb. rider	4	D - Validation: Durability	8	320							
Seat Arm / (Subsys) Support 225 lb. rider at 12 in. seat height	Seat position not stable horizontally	Reduced rider performance (5) Loss of transport function (8)	8		Seat Post flexes, material not rigid enough to maintain position	6	D - Validation: Riding stability of seat	8	384							
					Seat Post distorts over time due to longer length and higher leverage	3	P - Material specification D - Validation: Durability	6	144							
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post under 225 lb. vertical force	Seat post slips downward at less than 225 lb. force	Seat position not stable (8) Rider hazard (10)	10		Clamp too narrow, clamp force on seat post insufficient	6	P - Design Standards D - Validation: Durability	8	480							
Seat Tube / (Comp) Clamp and hold seat post at 12 in. height and 75 lb. horizontal force	Seat Tube material distorts over time	Clamp force reduced (5) Rider hazard (10)	10		225 lb. Rider over-extends post above 12 in. height	5	P - User Manual Instructions P - Min. Insertion depth mark on post	10	500							

O Índice de Prioridade de Risco é o risco geral De um modo de falha no design

Fig. 29 – Exemplos de RPN

Não existe um valor limite ou de referência a partir do qual é necessário definir acções, isto é a equipa deve analisar e definir acções para os IPR mais elevados ou que considerem que têm maior risco inerente.

### 1) 8 – Classificação [Zheng, L. Y, Liu, Q. and McMahon, C.A: 2009]

A coluna “Class” (fig. 30) deve ser utilizada como um alerta para determinados Modos de Falha que requeiram uma análise de engenharia adicional ou potenciais características especiais do Cliente, com o objectivo de:

- » Determinar se são necessárias acções preventivas
- » Determinar se são necessárias acções de detecção adicionais

- » Determinar se é necessária uma análise adicional ao nível do P-AMFE bem como a definição de acções
- » Determinar se existe a necessidade de identificar características especiais designadas como KPC<sup>7</sup>, tais como características críticas ou especiais ou ainda relacionadas com segurança e regulamentação. Nestas situações deverá existir um aumento no valor da Severidade a definir pela equipa.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Class	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	-------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

**Fig. 30** - Form AMFE – Classificação

O D-AMFE vai então confirmar, se o item é ou não uma potencial característica especial, e se os controlos na manufactura para esse item são suficientes ou se são necessários outros adicionais.

**De lembrar que o D-AMFE é uma ferramenta que serve para identificar os riscos de um design de engenharia.**

<sup>7</sup> **KPC** – Key Product Characteristics (Características Chave do Produto)

## 9 – Acções Recomendadas

As Acções Recomendadas (fig. 31) são desenvolvidas pela equipa de AMFE e têm como objectivo reduzir um ou mais factores de risco:

- As alterações no produto devem ser efectuadas com o objectivo de reduzir o valor da severidade
- As acções servem ainda para reduzir o valor da Ocorrência da Causa ou alterar o controlo do design

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	C l a s s e	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Design Controls	D E T	R P N	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	O C C	D E T	R P N
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	----------------------------	--	-------------	-------------------------	-------------	-------------	---------------------	---	---------------	-----	-------------	-------------	-------------

Fig. 31 - Form AMFE – Recommended Actions

Durante a análise, as acções recomendadas devem ser priorizadas:

- Reduzir primeiro as Severidades e Ocorrências mais elevadas e a seguir os IPR's mais elevados.
- Severidades com 9 ou 10, devem ter uma especial atenção, tal como garantir que os controlos do design são efectivos
- Melhorar os valores da Severidade e Ocorrência é sempre desejável e mostra uma melhoria continua, mesmo que os valores da Detecção sejam baixos.

**Quando a equipa decide não recomendar acções,  
Deve-se escrever a palavra **NONE** na coluna das  
Acções Recomendadas**

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	C l a s s e	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Design Controls	D E T	R P N	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	O C C	D E T	R P N
										None						

Fig. 32 – O que fazer quando não existem acções definidas

## 10 – Responsáveis e Datas

Deve ser definido para cada acção um responsável e uma data de conclusão da mesma (fig. 34). Esse responsável deve ser um elemento da equipa de AMFE, caso contrário é difícil assegurar a sua execução de uma forma efectiva e dentro dos prazos estabelecidos.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Clas	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

**Fig. 33** - Form AMFE – Responsible & Target Completion Date

As datas definidas devem ser executáveis pelos responsáveis e devem ser consistentes com o planeamento do produto e do processo.

## 11 – Acções tomadas

- Estas acções também devem ser descritas e registadas no AMFE na coluna indicada na fig. 34, sempre que uma acção recomendada é implementada.
- Por vezes, estas podem ser diferentes da acção inicialmente proposta pela equipa.
- As Acções Tomadas devem reflectir a realidade actual do design.
- Se não existirem acções tomadas, deve ficar descrita a razão.

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEV	Clas	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCC	Current Design Controls	DET	RPN	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	-----	------	--	-----	-------------------------	-----	-----	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

**Fig. 34** - Form AMFE – Actions Taken

## 12 – Valores Revistos (SOD 2)

- Os valores devem ser revistos para a Severidade, Ocorrência e Detecção, com base nas acções tomadas.
- Os valores SOD iniciais não se alteram, a não ser que as acções tragam melhorias ao design
- Se nenhuma acção for tomada, as colunas relativas à SOD 2 (fig. 35), devem ser deixadas em branco.

Original 8 x 4 x 4 = 128										Revised 8 x 1 x 2 = 16					
Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEVERITY	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCCURRENCE	Current Design Controls	DETECT	REPAIR	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN

Fig. 35 - Form AMFE – Valores Revistos (SOD2)

## 13 – Índice de Prioridade de Risco revisto (IPR 2)

- Quando os valores SOD 2 estão atribuídos, deve ser calculado o novo Índice de Prioridade de Risco (IPR 2) como se mostra na fig. 36.
- Este novo valor de IPR deve ser revisto pela equipa D-AMFE para avaliar a melhoria conseguida.
- Se se considerar que são necessárias mais acções, esta análise é repetida

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	SEVERITY	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	OCCURRENCE	Current Design Controls	DETECT	REPAIR	Recommended Actions	Responsibility & Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
-----------------	------------------------	------------------------------	----------	--	------------	-------------------------	--------	--------	---------------------	---	---------------	-----	-----	-----	-----

Fig. 36 - Form AMFE – RPN2

## 14 – Melhoria Continua

Quando um D-AMFE é utilizado para analisar uma alteração proposta, o engenheiro deve rever o AMFE actual e colocar as seguintes questões:

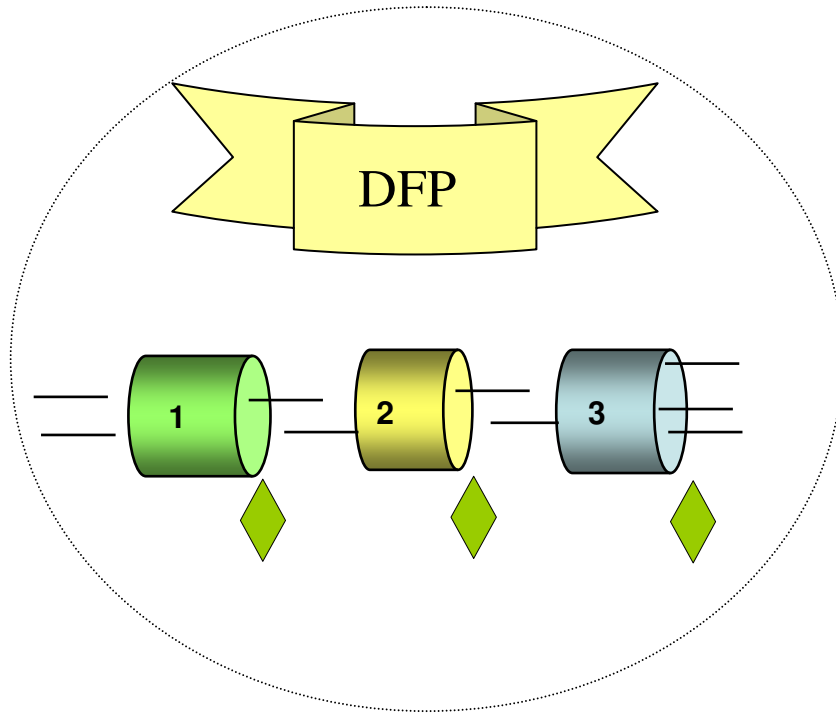
- Qual é a razão para a alteração proposta?
- Quais são as funções afectadas pela alteração proposta?

Deve avaliar os diferentes Modos de Falha para verificar se a alteração pode causar novas falhas ou não.

## 2.12 – Conclusões

- D-AMFE é uma ferramenta de engenharia muito importante no desenvolvimento do produto / processo
  - Antecipa os principais problemas de modo a que, sempre que possível, se tomem acções preventivas e correctivas
  - Identifica quais as actividades ou controlos a serem utilizados, de modo a assegurar que o design é o correcto, através da detecção de zero não conformidades
  - Ajuda as equipas de projecto a comunicar e a partilhar as suas experiências e conhecimentos das diferentes áreas
- Quando utilizado antes e durante o desenvolvimento do produto/processo, o D-AMFE pode ter uma contribuição significativa na qualidade do design, bem como na satisfação dos nossos Clientes

## Capítulo 3 – Diagrama de Fluxo de Processo



### 3.1 – Objectivos

- Identificação de todas as operações ou processos elementares (etapas) para que seja possível conceber um processo de manufactura completo.
- Identificar qual a sequência ou disposição dessas mesmas operações elementares (etapas). Este é um trabalho que nunca pode ser feito por uma única entidade. Deve sim ser elaborado por uma equipa multidisciplinar formada pelos elementos das várias áreas da empresa, por forma a obter o maior e melhor número de sugestões possível.
- Identificar correctamente qual o tipo de operação correspondente a cada operação / processo elementar, de acordo com as suas características, pois existem operações que podem ser de transformação, espera, transporte ou inspecção, havendo ainda as especiais de contenção, reparação, etc. de que falaremos mais adiante.
- Identificar as características de cada operação / processo elementar que deverão ser controladas posteriormente.

### **3.2 – O que é um DFP?** [ISO 10628: 1997][AIAG\APQP: 2008]

**DFP** significa antes de mais, Diagrama de Fluxo de Processo.

Um DFP é uma representação esquemática de um processo de manufactura total (desde a recepção da matéria prima até à expedição do produto acabado, passando por todos os processos elementares necessários à sua correcta concepção).

O DFP lista todas as etapas do processo em sequência (ex: recepção de material, preparações, montagem, envio de produto acabado), mostrando uma descrição completa do processo de manufactura, e as características que devem ser controladas.

O DFP pode ser feito por famílias de produtos semelhantes, isto é onde o número e tipo de operações de manufactura são sensivelmente as mesmas, bem como a respectiva sequência.

O detalhe do DFP depende da fase do processo de manufactura em que nos encontramos no processo de desenvolvimento.

De notar, que o DFP deve ser realizado antes da elaboração e análise do P-AMFE, pois é aí que devem ser indicadas quais as operações e seus limites que posteriormente deverão ser analisadas pela equipa.

### 3.3 – Tipos de DFP [AIAGVAPQP: 2008]

Dependendo da fase do projecto em que nos encontramos e dos requisitos dos Clientes, poderemos ter os seguintes DPP's:

#### 3.3.1 DFP Preliminar: (DFP necessário só se o Cliente o especificar).

Este DFP deve descrever antecipadamente os processos de manufactura principais, e é desenvolvido a partir de uma lista de matéria prima inicial; (por vezes, o DFP pode ser pedido numa fase em que o fornecedor ainda não tenha ganho o negócio, e seja apenas uma cotação para uma revisão técnica no Cliente. Esta necessidade é normalmente identificada como um requisito para um dado Cliente. Por exemplo, o Cliente pode pedir que o DFP Preliminar seja submetido juntamente com a cotação completa do produto).

#### 3.3.2 DFP para Protótipos: (DFP necessário só se o Cliente o especificar).

Este DFP descreve o processo de manufactura dos protótipos. É desenvolvido numa fase inicial da fase de protótipos de desenvolvimento do produto.

#### 3.3.3 DFP para Pré-Produção: Descreve o processo de manufactura para a produção de pré-séries. Este DFP é mandatório, uma vez que para além da análise P-AMFE, também o Plano de Controlo relativo a esta fase do processo deve existir.

#### 3.3.4 DFP para Produção Série: Este DFP é muito semelhante ao anterior, mas mais aperfeiçoado uma vez que já tem a experiência das fases anteriores. Este DFP deve incluir as operações de reparação, desperdício. O DFP de produção tem necessariamente que estar finalizado antes do P-AMFE final.

### 3.4 – Trabalho de equipa

O desenvolvimento e análise de um DFP deve ser efectuado por uma equipa multidisciplinar com representantes de todas as áreas funcionais. Estas áreas devem incluir mas não ficar limitadas ao design, áreas de engenharia (método e processo), manufactura, logística e Qualidade.

Os conhecimentos e as experiências vividas pelas diferentes entidades são fundamentais durante o desenvolvimento de um DFP.

### 3.5 – Desenvolvimento de um DFP [McDermott, 2009]

Para iniciar um DFP, temos que ter em consideração os seguintes inputs:

- Requisitos da empresa e do Cliente – os requisitos da empresa são os que estão associados à sua estratégia no mercado; são o sistema operativo da empresa com as suas regras definidas. Por outro lado, essas estratégias têm que ser suficientemente flexíveis para poder ajustar-se ao que o Cliente quer e precisa.
- Requisitos do Cliente – Requisitos que são normalmente específicos de cada Cliente ou Marca. Estes requisitos dizem respeito a toda uma série de regras que os Clientes querem ver respeitadas nos seus produtos aquando da produção, mas também ao longo de toda a fase de desenvolvimento quer do produto, quer dos processos a ele associados, sendo por isso necessário que a empresa os conheça e aplique.
- Desenho dos sistemas de manufactura – Sempre que temos um produto novo, há que definir e identificar quais os processos ou operações elementares de manufactura que iremos necessitar para a sua produção.
- Lista de equipamentos – Lista de todo e qualquer equipamento ou ferramenta necessário para produzir o produto em causa.
- AMFE de Design e de Processo, bem como DFP's de produtos semelhantes – vão servir de guião e de “lições aprendidas” para o novo produto em análise, pois mostram-nos qual a sequência de produção usada, quais os principais riscos nos vários processos, que acções foram desenvolvidas, quais os principais problemas no Cliente, etc.

- Nível de conhecimento e experiência da equipa – a equipa deve conhecer bem entre si, todos os processos ou operações elementares necessários para a produção do novo produto. Deve conhecer o seu funcionamento, equipamentos envolvidos, maiores dificuldades no seu manuseio e suas consequências no produto, etc.
- “Lições aprendidas” de produtos semelhantes – problemas ocorridos em produtos semelhantes e tipo de acções tomadas, bem como a sua eficácia.

Com base em tudo isto, a melhor sequência de operações de manufactura é definida.

Existem ainda outras regras que têm que ser cumpridas durante a elaboração do DFP, e que são:

- ✧ O DFP tem que estar ligado ao P-AMFE, ao respectivo Plano de Controlo e outros documentos aplicáveis através de um número único que indica a posição do processo na cadeia.
- ✧ Deve existir um número de sequência (etapa do processo) que vai ligar numericamente estes três documentos (DFP, P-AMFE e Plano de Controlo).
- ✧ Para cada etapa do processo, deve ser indicado qual o tipo de operação realizada (se foi de transformação ou manufactura, se foi de transporte, espera ou inspecção).
- ✧ Ainda para etapa do processo, devem ser identificadas quais as características do produto e /ou processo que deverão ser seguidas no respectivo Plano de Controlo. Estas características geralmente são indicadas pelo Cliente e têm uma simbologia própria.
- ✧ Sempre que ocorram alterações nos processos, o DFP deve ser analisado e revisto, se necessário.

## Como identificar o tipo de operação(ões) em cada etapa do processo?

Existem basicamente 4 tipos de operações associadas a cada processo elementar:

**Manufatura (Actividade fabril)** – Esta operação significa que existe algo que é transformado. O output é diferente do input. Existe uma alteração física neste processo.

**Transporte ou Movimento** – Neste processo não existe uma alteração física. Apenas os inputs e / ou os outputs são movidos para outro lugar.

**Armazenamento ou Espera** – Neste processo os inputs e / ou os outputs são mantidos num dado lugar durante um determinado periodo de tempo.

**Inspeção** – Neste processo existe apenas verificação de características dos inputs e / ou dos outputs. Geralmente, e uma vez que estamos a falar de um DFP estas verificações são efectuadas ao produto em processo e produto final.

### **Um processo pode ter mais do que um tipo de operação associada!!!!**

Por exemplo, num processo de injeção de moldes temos, manufatura (a própria injeção), espera (tempo de arrefecimento do material) e inspeção (verificação das características da peça injectada).

Na fig. 37, é apresentado um exemplo de um DFP.

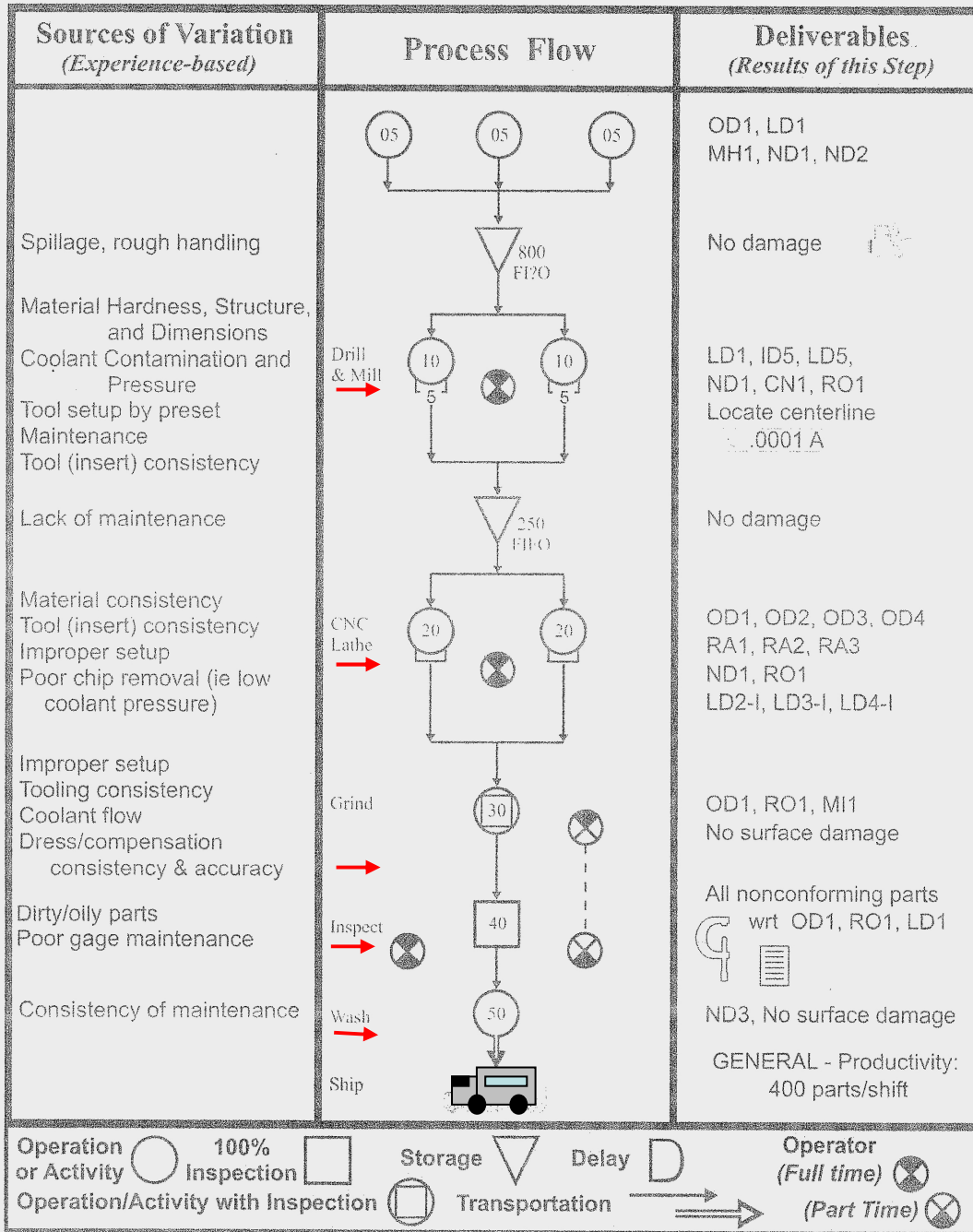
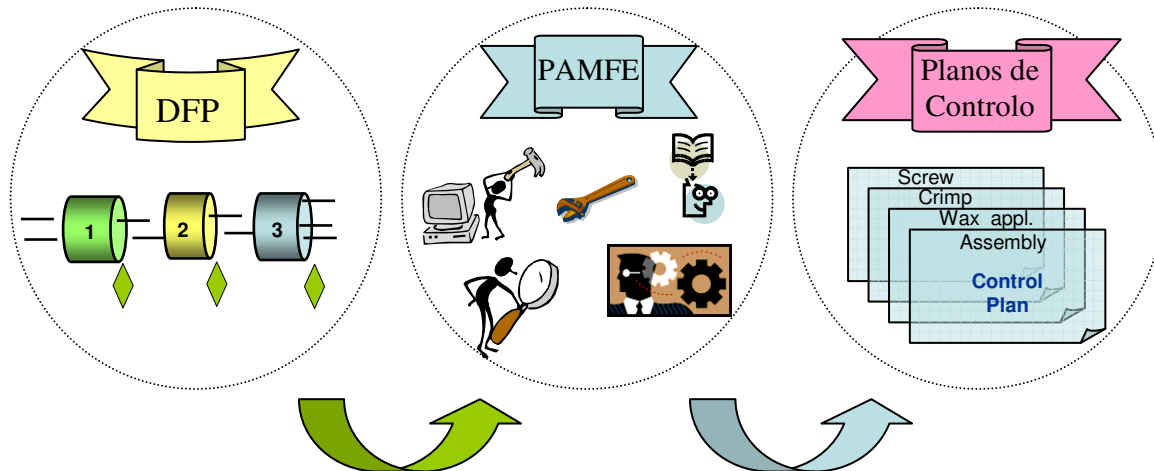


Fig. 37 – Exemplo de um DFP [AIAG, “FMEA, 2008]

### 3.6 – Ligação entre DFP, P-AMFE e Planos de Controlo



**Fig. 38** – Interligação entre os documentos do Controlo dos Processos

✧ Devemos sempre iniciar o processo através da concepção do DFP, identificando cada processo ou operação elementar necessária à realização do produto final; só depois devemos iniciar a análise do P-AMFE dos processos e por fim os Planos de Controlo (fig. 38).

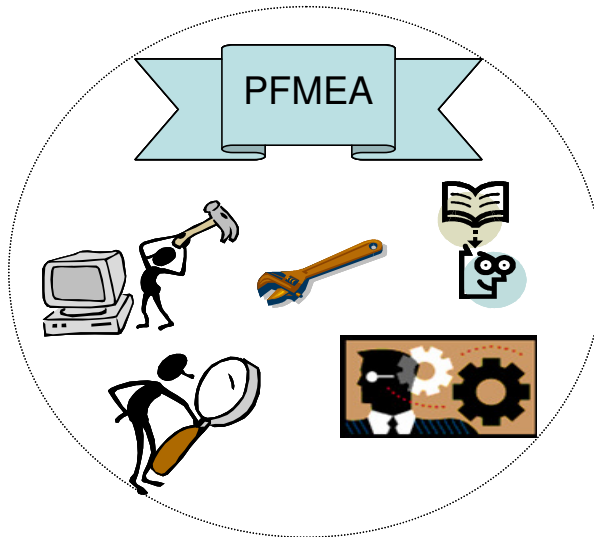
DFP, P-AMFE e Planos de Controlo estão ligados através de um número de etapa.

### **3.7 - Conclusões**

- O DFP é uma representação esquemática de um processo de manufactura, necessário para produzir um determinado produto, e cujos limites vão desde a recepção da matéria prima até à expedição do produto acabado.
- Todos os processos ou operações elementares devem estar identificadas, classificadas e em sequência de produção.
- Em cada etapa do processo, devem estar identificadas quais as características que devem ser controladas ( produto e / ou processo).
- Os DFP's devem ser feitos por produtos do mesmo Cliente, por famílias de produtos semelhantes, se estes forem semelhantes (para o mesmo Cliente) e se a sequência de montagem também for semelhante.

## Capítulo 4

# Análise dos Modos de Falha potenciais e seus Efeitos no Processo de Manufatura **P-AMFE** (PFMEA)



## 4.1 – Objectivos

- Identificar todas as Falhas potenciais, os seus Efeitos no Cliente e as respectivas Causas para cada operação elementar (cada etapa do processo) identificado no DFP;
- Identificar correctamente como essas Falhas e causas podem ser evitadas e / ou controladas;
- Usar correctamente o “Ranking System”<sup>8</sup> para determinar a “Severidade”, “Ocorrência” e a “Detecção” – SOD;
- Sempre que seja aplicável, desenvolver acções efectivas para melhorar os processos, alocando os recursos apropriados;
- Efectuar um adequado seguimento das acções definidas, tendo em conta as respectivas datas de fecho;

<sup>8</sup> – Tabela normativa que regula a atribuição dos valores da Severidade dos efeitos das falhas, da Ocorrência das mesmas e respectiva Detectibilidade.

## 4.2 – O que é um P-AMFE? [AIAG, “FMEA, 2008]

Um P-AMFE pode ser descrito como um conjunto de actividades ou processos com o propósito de:

- Identificar e avaliar as falhas potenciais do produto e do processo, bem como quais os efeitos dessas falhas
- Identificar acções que possam eliminar ou reduzir a probabilidade da falha potencial ocorrer
- Todo o processo deve ser devidamente documentado de acordo com a metodologia AMFE

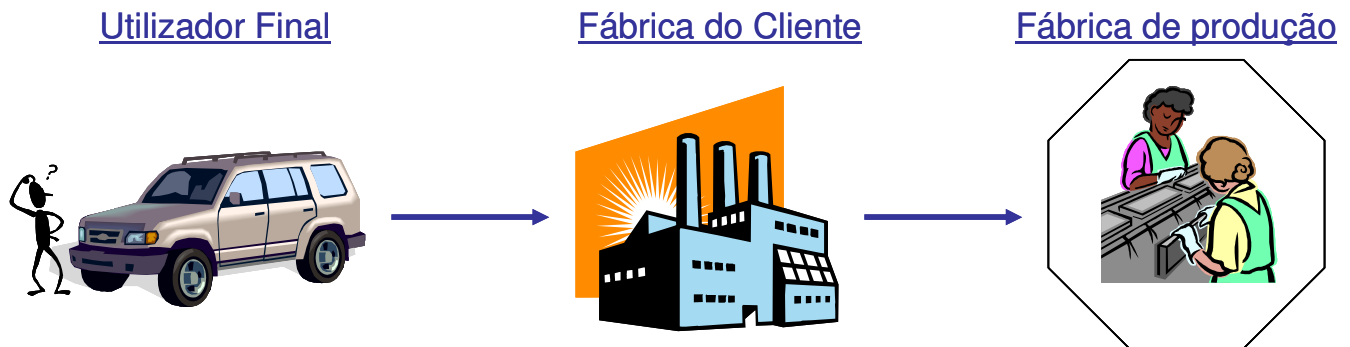
## 4.3 – Introdução

O AMFE de Processo:

- Identifica as funções e os requisitos de cada processo
- Identifica os modos de falha potenciais do produto e do processo
- Avalia os efeitos das falhas potenciais no Cliente (ver página seguinte)
- Identifica as causas potenciais na manufactura
- Identifica as variáveis do processo que devem ser controladas de modo a reduzir o valor da ocorrência ou a detecção das condições de falha
- Lista as prioridades em termos de modos de falha, onde se deve actuar em termos de acções preventivas e correctivas
- Documenta os resultados de um processo de manufactura completo (composto por operações elementares)

## 4.4 – Quem é o Cliente?

A definição de “Cliente” num P-AMFE deve ser iniciada no “Utilizador Final” (fig. 39). A análise do efeito do modo de falha, deve ser feita de forma a avaliar se esta entidade pode ou não ser de alguma forma afectada. Se a equipa assim o achar, classifica a Severidade em concordância com essa decisão, como veremos mais à frente; Se a decisão for de que o modo de falha não atinge o “Utilizador Final”, então a análise deve prosseguir e ver se existe ou não impacto do efeito na “Fábrica do Cliente”. Mais uma vez se a resposta for sim, classificar a Severidade de acordo, se for não, ver que tipo de consequências tem dentro da “Fábrica de produção” (ex: paragem de produção).



**Fig. 39** – Quem é o nosso Cliente?

## 4.5 – Trabalho de Equipa

O AMFE de Processo deve ser concebido por uma equipa multidisciplinar com representantes das várias áreas da fábrica e de todas as áreas afectadas. Estas areas devem incluir , mas não estão limitadas à engenharia de design, engenharia Industrial e de Processos, Manufatura, Logística e Qualidade. Geralmente, esta equipa é a mesma que criou o DFP e que irá fazer os respectivos Planos de Controlo dos Processos.

O P-AMFE deve ser iniciado com um “brainstorm” com o objective de estimular a troca de ideias entre os vários elementos da equipa dado que vêm das várias áreas da fábrica, bem como o tipo de abordagem a seguir.

A não ser que o engenheiro responsável tenha muita experiência de AMFE e de condução deste tipo de reuniões, é recomendável que um facilitador com experiência em AMFE assista, e ajude a equipa nas suas actividades.

## 4.6 – Desenvolvimento de um P-AMFE

O P-AMFE é um documento vivo e como tal deve ser alterado sempre que necessário, por formar a ser constantemente uma fotografia do processo de manufatura implementado.

O P-AMFE deve ser iniciado:

- Antes do estudo de fiabilidade e validação
- Antes da definição das ferramentas para a manufatura
- Ter em consideração todas as operações de manufatura

Quanto mais cedo a revisão e análise para um dado produto e/ou processo for efectuada, melhor se conseguem antecipar, resolver ou monitorizar problemas que poderão afectar fases posteriores da manufatura, e que consequentemente sairão bastante mais dispendiosas dado que o projecto estará numa fase mais adiantada.

## 4.6.1 – Inputs necessários para o P-AMFE

Para iniciar um P-AMFE, deve ter-se em consideração os seguintes inputs:

- O Diagrama de Fluxo do Processo (DFP) com todas as operações ou sub-processos que estão identificados na sequência
- Este Fluxo de Processo, deve ter indicadas todas as características do produto / processo associadas a cada operação
- Inclusão de alguns efeitos do produto mencionados no D-AMFE correspondente
- Lições aprendidas de produtos semelhantes
- Especificações do Cliente
- Especificações dos processos de manufactura

Todos estes inputs são necessários para que a equipa tenha todo o conhecimento necessário sobre o produto e os processos necessários para o produzir.

## 4.6.2 – Seguimento do P-AMFE

A Engenharia é a área responsável pelo P-AMFE, e o engenheiro alocado ao projecto é responsável por assegurar que todas as acções recomendadas são devidamente implementadas ou alocadas às pessoas correctas. Tal como no D-AMFE, os responsáveis designados para implementarem as acções recomendadas devem fazer parte da equipa de P-AMFE, mesmo que não sejam realmente os executantes.

O engenheiro responsável tem várias formas para assegurar e verificar que as acções recomendadas foram implementadas. Isso inclui, mas não está limitado ao seguinte:

- Revisão de desenhos e processos
- Confirmação da incorporação de alterações no desenho / manufactura / documentação da manufactura
- Revisão do Design / DFP / P-AMFE e Planos de Controlo



## 4.6.4 – Desenvolvimento do P-AMFE

Seguidamente iremos explicar como se deve preencher um P-AMFE (fig. 41):

### POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

<input type="checkbox"/> Design FMEA		<input checked="" type="checkbox"/> Process FMEA		<input type="checkbox"/> Delphi Confidential	
Part Certification					
System	Subsystem	Component	Page	FMEA Number (1)	
Part Number (4)		Design or Process Responsibility (2)		Prepared by (3)	
Model Year(s)/Vehicle(s) (5)		Key Date (6)		Original FMEA Date (7)	
Core Team (9)				Supervisor's Approval (10)	
Item/Process Function Requirements (11)	Potential Failure Mode (12)	Potential Effect(s) of Failure (13)	Severity (14)	Criticality (15)	Potential Cause(s)/Mechanism(s) of Failure (16)
					Occurrence (17)
					Current Design/Process Controls (18)
					DRIP (19)
					Recommended Actions (20)
					Responsibility & Target Completion Date (21)
					Actions Taken & Completion Date (22)
					Severity (23)
					Occurrence (24)
					Detection (24)
					RPN (24)

**Fig. 41 - Form P-AMFE – Como preencher [AIAG, “FMEA, 2008]**

- 1) FMEA number - Cada AMFE ser identificado com um número de documento e uma descrição, o qual pode ser usado para rastreabilidade.
- 2) Process responsibility – Nome da pessoa responsável pelo AMFE. Geralmente é o chefe do projecto que pertence à Engenharia da fábrica
- 3) Prepared by: Nome e contacto telefónico do engenheiro responsável pela preparação do AMFE. Pode ser a mesma pessoa indicada em 2) ou não. Isso depende da estrutura e organização da empresa.

- 4) Part Number(s): Números referentes às peças incluídos na análise P-AMFE.
- 5) Model Year(s) / Program(s): Modelo(s) ou Programa(s) incluídos na análise P-AMFE.
- 6) Key Date: Data em que o AMFE deve estar concluído, não podendo essa data exceder a data prevista para o início da produção.
- 7) Original FMEA Date: Primeira data em que o P-AMFE ficou concluído.
- 8) FMEA Revision Date: Data de revisão do P-AMFE.
- 9) Core Team: Lista dos nomes da equipa P-AMFE e seus departamentos . Estas pessoas têm autoridade para identificar e realizar tarefas.
- 10) Supervisor's Approval: Nome do supervisor ou responsável de engenharia responsável pelo P-AMFE
- 11) Item / Process Function Requirements: Escrever uma descrição simples do processo ou operação elementar em análise (cortar tubos, montar parafuso) e o número da etapa do processo (proveniente do DFP). Também o propósito do processo ou operação elementar deve ser incluído. Quando o processo envolve múltiplas operações com diferentes modos de falha, recomenda-se que estas sejam listadas como elementos separados dentro do mesmo processo. Também nesta coluna devem ser indicadas quais as especificações ou características a ter em consideração para que o produto final esteja de acordo com os requisitos internos e do Cliente.
- 12) Potential Failure Mode: Um Modo de Falha Potencial é definido de modo a que cada processo ou operação elementar possa potencialmente falhar (criar defeitos no produto), não cumprindo assim, os requisitos do processo ou a função do produto descritos na coluna “Item / Process Function Requirements”. Nesta coluna, todos os possíveis defeitos que possam ocorrer no produto com base no processo em análise devem ser listados.

Devem ser considerados como inputs para esta análise de P-AMFE os seguintes pontos:

- Diagrama de Fluxo de Processo
- Problemas internos ( Fiabilidade, Qualidade, etc)
- Resultados de Auditorias Internas / Externas
- Melhoria Continua
- D-AMFE
- Documentação relativa aos processos de manufactura
- Alterações de engenharia ao produto / processo
- Reclamações dos Clientes
- Especificações dos fornecedores
- “Lições aprendidas” de projectos semelhantes
- Standards da empresa
- Especificações dos Clientes
- Análise dos resultados FTQ<sup>9</sup> da fábrica

**13) Potential Effect(s) of Failure:** Efeitos Potenciais das Falhas são definidos como os efeitos do modo de falha no Cliente. Este Cliente pode ser interno (operação subsequente) ou externo (fábrica de montagem do Cliente) tal como o utilizador final ou seja o comprador do veículo. (ver pág 66). Deve ser sempre claramente identificado, se a falha pode ter impacto ou não na segurança, ou causar o incumprimento da legislação em vigor.

<sup>9</sup> FTQ – First Time Quality, isto é a capacidade de fazer bem à primeira

**14) Severity (S):** A Severidade é uma avaliação associada ao efeito mais grave de cada modo de falha. A redução no valor da Severidade só pode ser conseguida através de uma alteração no design do produto.

A severidade pode ser estimada através da seguinte tabela:

Effect	Criteria: Severity of Effect on Product (Customer Effect)	Rank	Effect	Criteria: Severity of Effect on Product (Manufacturing/Assembly Effect)
Failure to Meet Safety and/or Regulatory Requirements	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10	Failure to Meet Safety and/or Regulatory Requirements	May endanger operator (machine or assembly) without warning.
	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning.	9		May endanger operator (machine or assembly) with warning.
Loss or Degradation of Primary Function	Loss of primary function (vehicle inoperable, does not affect safe vehicle operation).	8	Major Disruption	100% of product may have to be scrapped. Line shutdown or stop ship.
	Degradation of primary function (vehicle operable, but at reduced level of performance).	7	Significant Disruption	A portion of the production run may have to be scrapped. Deviation from primary process including decreased line speed or added manpower.
Loss or Degradation of Secondary Function	Loss of secondary function (vehicle operable, but confort / convenience functions inoperable).	6	Moderate Disruption	100% of production run may have to be reworked off line and accepted.
	Degradation of secondary function (vehicle operable, but confort / convenience functions at reduced level of performance).	5		A portion of the production run may have to be reworked off line and accepted.
Annoyance	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by most customers (>75%).	4	Moderate Disruption	100% of production run may have to be reworked in-station before it is processed.
	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by many customers (50%).	3		A portion of the production run may have to be reworked in-station before it is processed.
	Appearance or Audible Noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by discriminating customers (<25%).	2	Minor Disruption	Slight inconvenience to process, operation or operator.
No effect	No discernible effect.	1	No effect	No discernible effect.

**Tabela 5 – Critérios de Severidade SAEJ1739 [AIAG, “FMEA, 2008]**

**15) Classification:** Esta coluna é usada para identificar características do produto ou do processo que possam ser previamente identificadas pelo Cliente ou pela própria empresa [Zheng, L. Y, Liu, Q. and McMahon, C.A: 2009]

**16) Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure:** Causas Potenciais de Falha são definidas como a razão porque uma falha pode ocorrer, descrito em termos de algo que possa ser corrigido ou controlado. Exemplos de causas: valor de torque incorrecto; ferramenta partida; peças em falta;

**17) Occurrence (O):** A Ocorrência é a probabilidade com que uma causa especifica pode ocorrer. A probabilidade de ocorrência é estimada numa escala de 1 a 10 (tabela 6).

Se existirem valores de FTQ disponíveis para um processo semelhante, esta deve ser utilizada para determinar o valor da ocorrência. O valor de Ocorrência 1 está reservado para situações em que as falhas são eliminadas através de controlos preventivos.

<b>Likelihood of Failure</b>	<b>Criteria: Occurrence of Cause - PFMEA (Incidents per items/vehicles)</b>	<b>Rank</b>
<b>Very High</b>	≥ 100 per thousand ≥ 1 in 10	<b>10</b>
<b>High</b>	50 per thousand 1 in 20	<b>9</b>
	20 per thousand 1 in 50	<b>8</b>
	10 per thousand 1 in 100	<b>7</b>
<b>Moderate</b>	2 per thousand 1 in 500	<b>6</b>
	.5 per thousand 1 in 2,000	<b>5</b>
	.1 per thousand 1 in 10,000	<b>4</b>
<b>Low</b>	.01 per thousand 1 in 100,000	<b>3</b>
	≤ .001 per thousand 1 in 1,000,000	<b>2</b>
<b>Very Low</b>	Failure is eliminated through preventive control.	<b>1</b>

**Tabela 6 – Critérios de Ocorrência SAEJ1739 [AIAG, “FMEA, 2008]**

**18) Current Process Controls:** Os Controlos correntes são descrições de todos os controlos implementados, sejam eles de prevenção ao modo de falha ou à causa, ou de detecção sempre que o problema ocorre. Estes controlos podem ser controlos do processo, como por exemplo sistemas à prova de erro, processos de controlo estatístico, ou processos de verificação. Esta avaliação pode ocorrer no local onde a falha ocorre ou em operações subsequentes.

Existem 2 tipos de controlos do processo que devem ser considerados:

- **Prevenção** – Previne a ocorrência da causa / mecanismo de falha ou do modo de falha. Pode reduzir ainda a sua taxa de ocorrência.
- **Detecção** - Detecta a causa / mecanismo de falha ou do modo de falha, o que nos leva a tomar acções correctivas.

A abordagem dos Controlos do Processo pode ser efectuado das seguintes formas:

- Podem ser usadas duas colunas ou duas linhas para os controlos do processo, isto é, separar através de colunas ou linhas os Controlos Preventivos dos Controlos de Detecção para ajudar a equipa a distinguir rapidamente estes dois tipos de controlos.
- Pode ser também utilizada apenas uma coluna ou uma linha para os controlos do processo, se os seguintes prefixos forem usados antes de cada tipo de controlo do processo. Para controlos preventivos deve ser usado um “P” antes de cada controlo listado. No caso de controlos de processo de detecção, deve ser colocado um “D” antes de cada controlo listado.

**19) Detection (D):** A Detecção é uma avaliação feita com base na melhor detecção listada na coluna dos controlos do processo. Este valor de detecção é estimado com base na tabela 7:

<b>Opportunity for Detection</b>	<b>Criteria: Likelihood of Detection by Process Control</b>	<b>Rank</b>	<b>Likelihood of Detection</b>
No detection opportunity	No current process control; Cannot detect or is not analyzed.	10	Almost Impossible
Not likely to detect at any stage	Failure Mode and/or Error (Cause) is not easily detected (e.g., random audits).	9	Very Remote
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by operator through visual/tactile/audible means.	8	Remote
Problem Detection at Source	Failure Mode detection in-station by operator through visual/tactile/audible means or post-processing through use of attribute gauging (go/no-go, manual torque check/clicker wrench, etc.).	7	Very Low
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by operator through use of variable gauging or in-station by operator through use of attribute gauging (go/no-go, manual torque check/clicker wrench, etc.).	6	Low
Problem Detection at Source	Failure Mode or Error (Cause) detection in-station by operator through use of variable gauging or by automated controls in-station that will detect discrepant part and notify operator (light, buzzer, etc.). Gauging performed on setup and first piece check (for setup causes only).	5	Moderate
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by automated controls that will detect discrepant part and lock part to prevent further processing.	4	Moderately High
Problem Detection at Source	Failure Mode detection in-station by automated controls that will detect discrepant part and automatically lock part in station to prevent further processing.	3	High
Error Detection and/or Problem Prevention	Error (Cause) detection in-station by automated controls that will detect error and prevent discrepant part from being made.	2	Very High
Detection not applicable; Error Prevention	Error (Cause) prevention as a result of fixture design, machine design or part design. Discrepant parts cannot be made because item has been error-proofed by process/product design.	1	Almost Certain

**Tabela 7 – Critérios de Detectibilidade SAEJ1739 [AIAG, “FMEA, 2008]**

**20) Risk Priority Number (RPN):** O Índice de Prioridade de Risco é o produto da Severidade (S), da Ocorrência (O) e da Detecção (D):  $(S) \times (O) \times (D) = RPN$

**21) Recommended Action(s):** A engenharia juntamente com a equipa de AMFE, analisa as acções preventivas e correctivas que devem ser primeiramente direccionada para a Severidade mais elevada, IPR mais elevado, bem como outros itens identificados pela equipa. O objectivo de qualquer acção recomendada é o de reduzir as avaliações pela ordem seguinte: severidade, ocorrência e detecção. De notar que uma redução no valor da severidade, só pode ser obtido através de uma alteração no design do produto.

➤ Geralmente, quando a severidade é 9 ou 10, deve-se ter uma atenção especial e assegurar que o risco é devidamente analisado e tratado, sempre que possível através de acções ao nível do design, ou acções preventivas / correctivas ao nível do processo relativamente ao valor do IPR. [AIAG, “FMEA, 2008]

➤ Em todas as situações onde um efeito de um determinado modo de falha identificado possa ser um risco para as pessoas da manufactura, acções preventivas / correctivas devem ser tomadas, de modo a evitar as falhas através da eliminação ou controlo das causas, ou através da utilização de protecções adequadas aos operadores, as quais devem ser especificadas. [Carbone, 2004]

➤ Depois de ser dada uma atenção especial às severidades avaliadas como 9 ou 10, a equipa deve centrar-se nos modos de falha seguintes, com o objectivo de reduzir a severidade, depois a ocorrência e por fim a detecção.

➤ Tal como no D-AMFE, se a análise da equipa não identifica a necessidade de quaisquer acções recomendadas, isso deve ser indicado na coluna especifica com “None”.

**22) Responsibility & Target Completion Date:** O nome do responsável pela acção recomendada, bem como a data de conclusão da mesma devem ser indicados. De notar, que o responsável pela acção, deve ser um elemento da equipa, ainda que não seja ele quem a vai executar.

**23) Actions Taken & Completion Date:** Depois da acção estar implementada, deve ser indicada uma breve descrição da acção que foi realmente tomada (pode ser a mesma da recomendada, se for o caso), bem como a data efectiva de implementação.

**24) Action Results:** Depois de uma acção preventiva / correctiva ser identificada, os valores da severidade, ocorrência e detecção resultantes, devem ser estimados e registados.

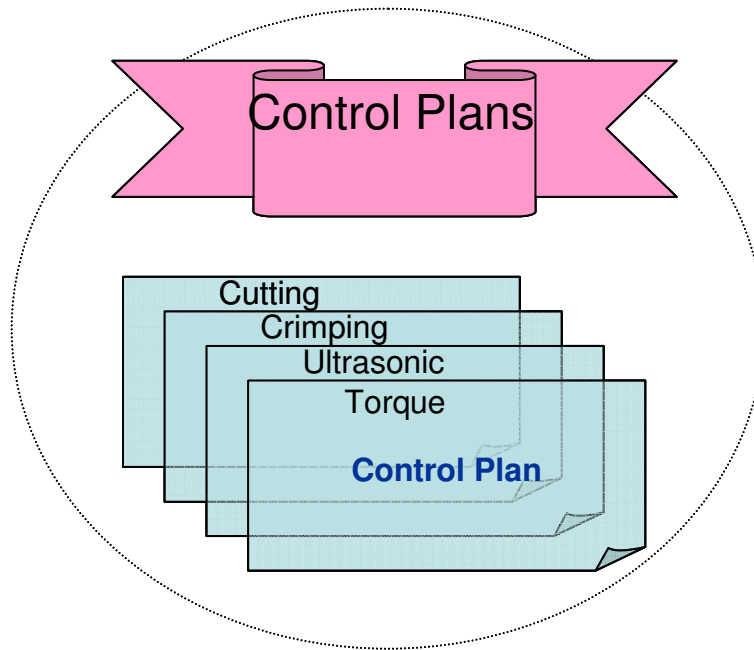
#### 4.6.5 – Seguimento das acções:

- O engenheiro responsável pelo projecto, é quem deve assegurar que todas as acções recomendadas foram implementadas ou estão adequadamente endereçadas.
  
- O AMFE é um documento vivo e deve sempre reflectir o ultimo nível do design, bem como as últimas acções relevantes, incluindo as que ocorreram após o arranque da produção.
  
- O engenheiro responsável tem várias formas de garantir que todos os potenciais problemas estão identificados e que as acções recomendadas estão implementadas. Isto inclui, mas não está limitado a:
  - Assegurar que os requisitos e especificações do produto e do processo foram alcançados.
  - Revisão de desenhos de engenharia, de processo / especificações do produto e DFP.
  - Confirmação da incorporação das alterações na documentação da produção.
  - Revisão dos Planos de Controlo e Instruções de Trabalho.

## 4.7 - Conclusões

- ✓ O P-AMFE é um conjunto de actividades ou processos onde se identificam e avaliam para cada um deles, todos os modos de falha potenciais, respectivos efeitos no Cliente e causas.
- ✓ O P-AMFE identifica acções que podem eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência dessas falhas.
- ✓ O P-AMFE identifica as variáveis do processo e do produto onde devemos focar os controlos para reduzir a ocorrência ou para detectar as condições das falhas.
- ✓ O P-AMFE deve ser ligado ao DFP através dos números de etapa do processo.
- ✓ O P-AMFE documenta todo o processo de manufactura e deve ser uma fotografia da realidade implementada.

# Capítulo 5 PLANOS DE CONTROLO



## 5.1 – Objectivos

- ➔ Identificar em cada Plano de Controlo do Processo quais as características que devem ser controladas e quais os métodos a utilizar.
- ➔ Compreender o conteúdo dos Planos de Controlo.
- ➔ Utilizar correctamente os Planos de Controlo e propôr melhorias quando necessário.

## 5.2 – O que é um Plano de Controlo?

- ❖ é uma descrição dos sistemas para controlar os produtos e os processos;
- ❖ Descreve o processo de manufactura associado às características do produto e do processo (incluindo as características especiais), o método para medir e controlar as características, o tamanho da amostra a ser inspeccionada, a frequência de inspecção e o plano de reacção, caso as características estejam fora de controlo;
- ❖ Um só PC<sup>10</sup> pode ser aplicado a um grupo ou família de produtos que são produzidos Segundo o mesmo processo na mesma fábrica de produção;
- ❖ PC são requisitos do APQP<sup>11</sup> bem como do Processo de Certificação do Produto;

<sup>10</sup>PC – Plano de Controlo

<sup>11</sup>APQP – Advanced Product Quality Planning

### 5.3 – Tipos de Características

- **Características do Produto** – São as características de uma peça, componente ou sub-conjunto que aparecem descritas nos desenhos ou em outra informação de engenharia / Cliente (ex: Dimensões, conectores index, côr, etc...);
- **Características do Processo** – São as variáveis do processo que têm uma relação causa-efeito com as características identificadas no produto (ex: Temperatura, setup, velocidade, tempo, etc...);
- **Características Especiais** – Características designadas pelo Cliente ou pela própria empresa que podem afectar a segurança do produto, a sua função (performance), ajuste, aparência, ou cumprimento da legislação local;

### 5.4 – Tipos de Planos de Controlo [McDermott, 2009]

Os **Planos de Controlo do Processo** não são todos desenvolvidos em simultâneo, mas são criados e actualizados durante as diferentes fases do Desenvolvimento do Produto / Processo. Os *Planos de Controlo do Processo* devem ser definidos, tal como especifica o APQP(Advance Product Quality Planning), para as seguintes fases:

- Prototipos**
- Pre-Série**
- Produção**

## **PC para Protótipos** [AIAG\APQP: 2008]

Estes PC não são mandatórios. São feitos só se forem pedidos pelo Cliente.

É um plano inicial que descreve a análise dimensional do produto, testes de performance dos material que são definidos durante a produção de Protótipos. Deve ser iniciado numa fase inicial do desenvolvimento do produto pela Qualidade e pela Engenharia. O objectivo é documentar e comunicar o plano inicial para o control dos processos durante o processo de manufactura dos protótipos.

## **PC para Pre-Séries (pilotos)** [AIAG\APQP: 2008]

Estes PC, tal como os PC de protótipos não são mandatórios.

São definidos como a primeira fase da produção. É a descrição da análise dimensional do produto, materiais e testes de performance que vão ocorrer depois dos Protótipos e antes da produção série. A Qualidade deve usar os PC de produção como base. Estes PC vão seguir os processos de produção actuais com especial atenção para o critério de inspecção, por forma a incluir actividades de contenção reforçada. A avaliação recebida, bem como de fases prévias como os protótipos, assegura que os métodos de controlo especificados vão de encontro aos requisitos do Cliente.

O objectivo deste PC é conter potenciais não conformidades durante a produção inicial, e assim validar o Plano de Controlo para a Produção. Alguns exemplos de contenção reforçada são: aumento do tamanho da amostra a inspecionar, inspecções em processo e pontos de verificação final, avaliações estatísticas e aumento do número de auditorias.

## **PC de Produção** [AIAG\APQP: 2008]

Estes planos de controlo são um conjunto de documentos por produto / processo, numa linguagem compreensível, que lista as respectivas características, controlos do processo a ser efectuados bem como testes e ensaios que ocorrem durante a produção normal. Este CP é uma consequência lógica do CP da pré-série (pilotos). Toda a experiência vivida durante as fases de protótipos e de pré-séries serve para actualizar os PC de produção série, sempre que necessário. É aceitável o desenvolvimento simultâneo dos CP de produção série e os de pré-série, desde que o desenvolvimento do projecto ocorra suficientemente cedo para acomodar a fase de pré-série.

## 5.5 – Trabalho de Equipa

O desenvolvimento dos Planos de Controlo deve ser feito por uma equipa multidisciplinar, à semelhança do que já se passava com os documentos anteriores. Esta equipa deve ter representantes das várias áreas da fábrica, como a manufactura, a engenharia de manufactura, a qualidade, a engenharia do produto, logística, treino, manutenção e outras que se considerem apropriadas. Será benéfico que a equipa seja a mesma que desenvolveu o D-AMFE e o P-AMFE. É recomendável que o engenheiro responsável pelo DFP faça também parte desta equipa. A responsabilidade em termos gerais de conceber e manter os Planos de Controlo pertence à área da Qualidade.

## 5.6 – Desenvolvimento de um Plano de Controlo [*Le Saux 2006,*] [*AIAG/APQP: 2008*]

- Desenvolver um entendimento através do fluxo do processo desde a recepção de materiais / componentes até que o produto final seja levado para o Cliente.
- O Plano de Controlo deve incluir todas as verificações e actividades de controlo relativas ao a todos os processos do DFP. (nota: etapas do processo que não contenham verificações ou actividades de controlo, não são necessárias de ser referenciadas no Plano de Controlo)
- Todas as características especiais identificadas nos registos do design / desenho do produto, D-AMFE e P-AMFE têm que estar especificadas no Plano de Controlo.

### **A informação que se segue deve ser utilizada durante o desenvolvimento do CP como inputs:**

- PC de fases de produção anteriores e / ou de produtos semelhantes
- DFP de fases de produção anteriores e / ou de produtos semelhantes
- Design, Processo e / ou AMFE de equipamentos (se necessário)
- Instruções de Trabalho do Operador
- Lições aprendidas de outros produtos / processos
- Conhecimento da equipa relativamente ao produto / processo
- Informação relativa à revisão do design
- Informação relativa à capacidade dos processos
- Performance de Qualidade (FTQ, Reclamações do Cliente, Auditorias ao Produto, etc...)

Seguidamente iremos apresentar nas figuras 42 a 47, um exemplo de um PC e como este deve ser preenchido:

## 1. PC Informação Geral

**PLANO DE CONTROLO**

Part Certification  
x

Control Plan Category  
x  Prototype  Pre-Launch  Production

Control Plan Number  
x **PC #**

Part Number  
x **part Number(s) afectados**

Part Name / Description  
x

Supplier / Plant  
x

Core team Members  
x

Manufacturing plant maintains listing of all Gage Numbers.

Part / Proc #	Process Name / Operation description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	Characteristics				Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Process	Special Char. Class.	Product / Process Specification / Tolerance	Evaluation / Measurement Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	

**Annotations:**

- Seleccione o tipo de PC
- Pessoa de contacto e telefone
- Data Original
- Data de Revisão
- Pag. #
- Data de aprovação da fábrica
- Aprovação do fornecedor e data (quando necessário)
- Outras aprovações quando necessário
- Aprovação do Cliente e data (quando necessário)

**Fig. 42 – Exemplo de Form para Planos de Controlo – Informação Geral**

PLANO DE CONTROLO

**Part Certification**  
x

Control Plan Category x <input type="radio"/> Prototype <input type="radio"/> Pre-Launch <input type="radio"/> Production			Key Contact Name Nível de Engenharia			Date (Orig)	Date (Rev)	Page
Control Plan Number X						Customer Engineering Approval (If Req'd)		Date (If Req'd)
Part Number X		ECL	Supplier / Plant Approval / Date			Customer Quality Approval (If Req'd)		Date (If Req'd)
Part Name / Description X			Other supplier approval by (If Req'd)			Other Approval (If Req'd)		Date (If req'd)
Supplier / Plant X		Plant Code	Other Approval Date (If Req'd)					
Core team Members X		Equipa de Trabalho	Código da fábrica de produção					
X								

Manufacturing plant maintains listing of all Gage Numbers.

Part / Proc #	Process Name / Operation description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	Characteristics				Special Char. Class.	Methods					Reaction Plan
			No.	Product	Process	Product / Process Specification / Tolerance		Evaluation / Measurement Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method		

**Fig. 43** – Exemplo de Form para Planos de Controlo – Informação Geral (cont.)

## 2. Passo do Processo e Descrição (ligação com DFP / P-AMFE)

### PLANO DE CONTROLO

#### Part Certification

Control Plan Category x <input type="radio"/> Prototype <input type="radio"/> Pre-Launch <input type="radio"/> Production		Key Contact Name		Date (Orig)	Date (Rev)	Page						
Control Plan Number X		Key Contact Phone		Customer Engineering Approval (If Req'd)		Date (If Req'd)						
Part Number X	ECL	Supplier / Plant Approval / Date		Customer Quality Approval (If Req'd)		Date (If Req'd)						
Part Name / Description X		Other supplier approval by (If Req'd)		Other Approval (If Req'd)		Date (If req'd)						
Supplier / Plant X	Supplier Code	Other Approval Date (If Req'd)										
Core team Members x												
x												
Manufacturing plant maintains listing of all process numbers.												
x												
Characteristics												
Methods												
Part / Proc #	Process Name / Operation description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	No.	Product	Process	Special Char. Class.	Product / Process Specification / Tolerance	Evaluation / Measurement Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	Reaction Plan

Fig. 44 – Exemplo de Form para Planos de Controlo – Passo do Processo e Descrição

### 3. Descrição das Características a ser controladas

PLANO DE CONTROLO

Part Certification

x

Control Plan Category x <input type="radio"/> Prototype <input type="radio"/> Pre-Launch <input type="radio"/> Production		Key Contact Name		Date (Orig)	Date (Rev)	Page
Control Plan Number X		Key Contact Phone		Customer Engineering Approval (If Req'd)		Date (If Req'd)
Part Number X		ECL	Supplier / Plant Approval / Date		Date (If Req'd)	
Part Name / Description X		Other supplier approval by (If Req'd)				Date (If req'd)
Supplier / X		Approval Date (If Req'd)				
Core team x x						

Manufacturing plant maintains listing of all Gage Numbers

Part / Proc #	Process Name / Operation description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	No.	Characteristics			Methods					Reaction Plan	
				Product	Process	Special Char. Class.	Product / Process Specification / Tolerance	Evaluation / Measurement Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method		

**Controlo do Produto**  
- características especiais do produto  
- outras características para controlar (numero, produto ou processo),  
- especificação / tolerância

**Controlo do Processo**  
- Parametros do processo  
- características especiais do processo  
- máquinas, equipamentos, ferramentas para manufactura, pinos e holders

Características especiais (informação do P-AMFE)

Relacionado com os Modos de Falha do P-AMFE

Fig. 45 – Exemplo de Form para Planos de Controlo –Descrição das Características

## 4. Método de Controlo

PLANO DE CONTROLO																			
<b>Part Certification</b>																			
x																			
Control Plan Category x <input type="radio"/> Prototype <input type="radio"/> Pre-Launch <input type="radio"/> Production				Key Contact Name				Date (Orig)		Date (Rev)		Page							
Control Plan Number X				Key Contact Phone				Customer Engineering Approval (If Req'd)				Date (If Req'd)							
Part Number X			ECL	Supplier / Plant Approval / Date				Customer Quality Approval (If Req'd)				Date (If Req'd)							
Part Name / Description X				Other supplier approval by (If Req'd)				Other Approval (If Req'd)				Date (If Req'd)							
Supplier / Plant X			Supplier Code	Other Approval Date (If Req'd)															
<b>Core team Members</b>																			
x																			
x																			
Manufacturing plant maintains listing of all Gage Numbers.																			
x																			
Characteristics																			
Part / Proc #	Process Name / Operation description		Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.		No.	Product		Process		Special Char. Class.	Product / Process Specification / Tolerance		Methods		Evaluation / Measurement Technique	Sample Size	Sample Freq.	Control Method	Reaction Plan

Especificações e Tolerâncias

Método de medição

Tamanho da amostra

Frequencia da amostra

Descrição do Método de Controlo

Os métodos de controlo do produto / processo podem incluir processos de control estatístico, controlo automático ou inspeção visual, sistemas à prova de erro, equipamentos de teste e checklists de verificação. **O Método de Controlo deve bater certo com a coluna "Current Control" do P-AMFE.**

**Fig. 46** – Exemplo de Form para Planos de Controlo – Método de Controlo

## 5. Plano de Reacção

### PLANO DE CONTROLO

#### Part Certification

Control Plan Category x <input type="radio"/> Prototype <input type="radio"/> Pre-Launch <input type="radio"/> Production		Key Contact Name		Date (Orig)	Date (Rev)	Page						
Control Plan Number X		Key Contact Phone		Customer Engineering Approval (If Req'd)		Date (If Req'd)						
Part Number X		ECL	Supplier / Plant Approval / Date		Customer Quality Approval (If Req'd)							
Part Name / Description X		Other supplier approval by (If Req'd)		Other Approval (If Req'd)		Date (If req'd)						
Supplier / Plant X		Supplier Code	Other Approval Date (If Req'd)									
Core team Members X X												
Manufacturing plant maintains listing of all Gage Numbers.												
x												
Part / Proc #	Process Name / Operation description	Machine, Device, Jig, Tools For Mfg.	Characteristics				Methods				Reaction Plan	
			No.	Product	Process	Special Char. Class.	Product / Process Specification / Tolerance	Evaluation / Measurement Technique	Sample Size	Sample Freq.		Control Method

Acções correctivas específicas são necessárias para evitar a produção de produto não conforme quando o processo está a operar fora de controlo. Estas são normalmente da responsabilidade de pessoas ligadas ao processo (operador, Chefe de equipa, supervisor, etc)

Fig. 47 – Exemplo de Form para Planos de Controlo – Plano de Reacção

## 5.7 – Considerações Gerais sobre Planos de Controlo

- As instruções para os operadores devem reflectir todas as características especiais e métodos de controlo que estão identificados no PC.
- PC não é elaborado com o objectivo de substituir as instruções de trabalho do operador.
- O PC original bem como todas as suas revisões devem ser mantidas na Matriz de Controlo de Registos do departamento de Qualidade local.
- O PC deve ser um documento vivo, reflectindo sempre os métodos actuais de controlo.

## 5.8 – Quando deve ser revisto e actualizado um Plano de Controlo?

- Quando o produto sofre alterações
- Quando o Processo de manufactura é alterado
- Quando um processo se torna instável e fora de controlo
- Quando um processo não é capaz
- Quando há alterações no DFP e no P-AMFE
- Quando os métodos de inspecção, frequência, etc... são alterados
- Quando um calibre & equipamento de teste são adicionados, alterados, melhorados, etc

**Os métodos de controlo devem ser continuamente avaliados para uma maior efectividade do processo!**

## 5.9 – Conclusões

### PLANO DE CONTROLO DO PROCESSO

<b>Definição</b>	O <i>Plano de Controlo do Processo (PC)</i> é um sumário dos métodos de controlo do processo utilizados para controlar o produto final e em produção e o processo
<b>Onde utilizar</b>	Um PC existe para cada família de produto em cada fase do processo de manufactura
<b>Quando utilizar</b>	<p>Desenvolver e utilizar o PC ao longo da vida do produto. Existe um PC distinto para as seguintes fases de desenvolvimento do produto:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Protótipo</li><li>• Pre-Série</li><li>• Produção, tanto para a produção normal, como para o Serviço Pós-Venda. O PC é um documento vivo e que deve ser actualizado para reflectir as alterações e as melhorias ao processo, sempre que estas sejam feitas e aprovadas.</li></ul>

**Tabela 8** – Conclusões sobre Planos de Controlo

## Capítulo 6 – Conclusões & Recomendações Finais:

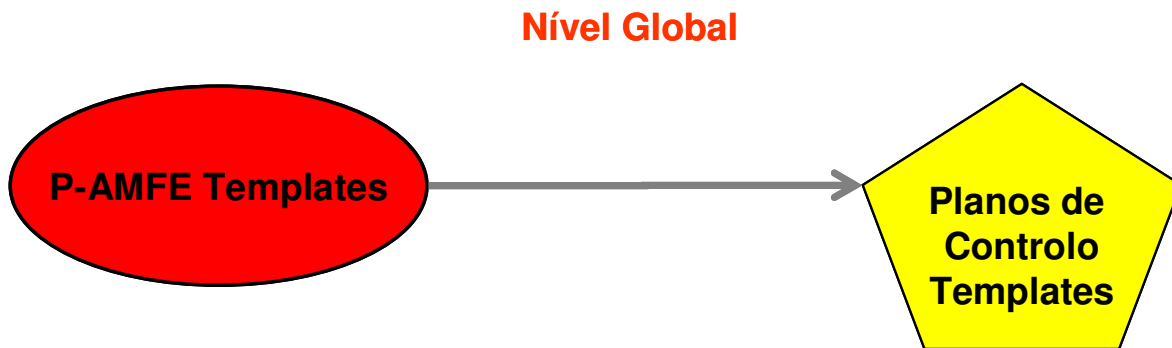
1. Iniciar a análise com o D-AMFE, onde deve indicar todas as características a serem seguidas durante a análise do P-AMFE para a manufactura;
2. Identificar todos as etapas elementares dos processos, necessários para a manufactura de um produto completo e criar o DFP;
3. Depois de ter o DFP completo (processos em sequência, numerados e com as características identificadas) iniciar a análise P-AMFE;
4. Após esta análise estar concluída, criar os respectivos Planos de Controlo por processo;
5. Estes documentos (DFP, P-AMFE, e CP) estão ligados através dos números de etapa do processo.

### 6.1 - Contributo da dissertação

Ficou aqui demonstrado que, uma gestão eficaz do processo de desenvolvimento do produto e dos processos, bem como o seu controlo, proporciona à empresa um planeamento mais eficaz, tomadas de atitude mais conscientes e lhe proporciona melhores resultados.

Para que todo este processo se torne ainda mais eficaz em termos de tempo, devemos pensar no desenvolvimento de um sistema informático; por um lado irá minimizar o trabalho dos engenheiros na criação destes documentos, e mais importante do que isso, irá possibilitar que cada um dos processos identificados no DFP contenha toda a sabedoria das lições aprendidas relativamente àquele processo, isto é, para um dado processo elementar, consolidar quer no P-AMFE, quer no PC correspondentes todo o know-how, reclamações dos clientes, problemas e acções desenvolvidas nas diferentes fábricas, diferentes projectos, etc.

Para isso, para cada processo elementar identificado, deve ser criado um P-AMFE Template que contém toda esta informação e o qual vai originar um PC para esse mesmo processo elementar (fig. 48). Dado que o modo de controlar os vários processos praticamente se mantem, desta forma para cada P-AMFE Template, ter-se-á um PC Template.



**Fig. 48** – Desenvolvimento de Documentos Globais

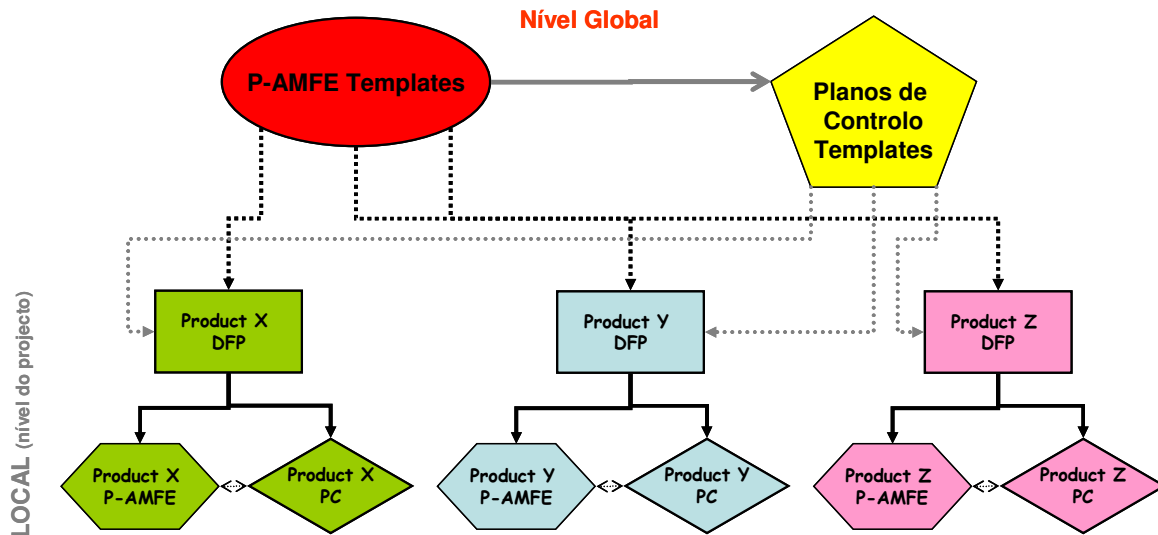
No final teríamos P-AMFE's para todos os processos elementares (com todo o know-how conhecido), bem como os respectivos Planos de Controlo perfeitamente ligados aos AMFE através da descrição do processo.

Estes templates poderiam sempre ser a base de trabalho de uma equipa que inicia um novo P-AMFE (nunca esquecendo o resto dos inputs atrás mencionados).

Assim, nas fábricas de manufactura, aquando da criação do DFP por projecto, através da selecção dos processos elementares de manufactura previamente criados (Templates), toda a informação inerente aos AMFE e Planos de Controlo viria acoplada. Ao criar um DFP, estar-se-ia em simultâneo a criar o respectivo P-AMFE, bem como os Planos de Controlo, como se exemplifica na fig. 49.

# Criação de documentos nas fábricas de manufactura

Criação de PAMFE's e Planos de Control locais:



**Fig. 49** – Criação de documentos locais

## Bibliografia

- AIAG, “Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan 2<sup>nd</sup> Edition” (2008)
- AIAG, “FMEA”: Reference Manual, Fourth Edition (2008)
- B. Bertsche: “Reliability in Automotive and Mechanical Engineering”, 2008
- BSMMT: “Tools and Techniques for Quality Management”, 1991
- Carbone, Thomas A. & Tippett, Donald D.: “Project Risk Management Using the Project Risk FMEA” - Engineering Management Journal — Vol 16 n°4 (Dec 2004)
- Crow, Kenneth DRM Associates: “Failure Modes And Effects Analysis (FMEA)” (2002) em <http://www.npd-solutions.com/fmea.html>
- Huang, G. Q., J. Shi & K. L. Mak: “Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)” in “Advanced Manufacturing technology” (2002)
- ISO 10628: “Flow Diagrams for Process Plants – General Rules” (1997)
- Le Saux, Daniel: “The Effective Use of Process Control Plans and Process Failure Mode Effects Analysis in a GaAs Semiconductor Manufacturing Environment” (2006) em <http://www.csmantech.org/Digests/2006/2006%20Digests/2E.pdf>
- McDermott, Robin E.: “The basics of FMEA” 2<sup>nd</sup> Edition (2009)
- Odom, James L. (for reference only): “FMEA Description” (Oct, 1995)
- QS9000 – APQP Reference Manual: “Sample Control Plan Methodology” em [http://www.delta-elevator.com/manufacturingsuppliers/Control\\_Plan\\_Work\\_Instruction.doc](http://www.delta-elevator.com/manufacturingsuppliers/Control_Plan_Work_Instruction.doc)
- Tweeddale, Mark: “Managing Risk and Reliability of Process Plants” (2003), Pages 468 – 472
- Weibull.com: Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Failure Modes, Effects and Critically Analysis (FMECA) (2008) em <http://www.weibull.com/basics/fmea.htm>
- Zheng, L. Y, Liu, Q. and McMahan, C.A. “ Integration of Process FMEA with Product and Process Design Based on Key Characteristics” (2009) em <http://www.springerlink.com/content/567952mn3867604/>