

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE
MATERIAIS**

RENAN FAVARÃO DA SILVA

**DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHA (AFD) PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS POTENCIAIS NO PROJETO DE
PRODUTOS: UMA COMPARAÇÃO COM A ANÁLISE DE MODO E
EFEITOS DE FALHA (FMEA)**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2017

RENAN FAVARÃO DA SILVA

**DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHA (AFD) PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS POTENCIAIS NO PROJETO DE
PRODUTOS: UMA COMPARAÇÃO COM A ANÁLISE DE MODO E
EFEITOS DE FALHA (FMEA)**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Engenharia de Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S586de Silva, Renan Favarão da
2017 Determinação antecipada de falha (AFD) para a
identificação de falhas potenciais no projeto de produtos :
uma comparação com a análise de modo e efeitos de falha
(FMEA) / Renan Favarão da Silva.-- 2017.
131 f.: il.; 30 cm.

Texto em português, com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica e de Materiais. Área de Concentração: Engenharia
de Manufatura, Curitiba, 2017.

Bibliografia: p. 81-88.

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Teoria TRIZ.
3. Produtos novos. 4. Localização de falhas (Engenharia).
5. Análise de modo e efeitos de falha. 6. Determinação
antecipada de falha. I. Carvalho, Marco Aurélio de.
II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.
III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 620.1

TERMO DE APROVAÇÃO

RENAN FAVARÃO DA SILVA

DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHA (AFD) PARA A IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS POTENCIAIS NO PROJETO DE PRODUTOS: UMA COMPARAÇÃO À ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Esta dissertação foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Engenharia de Manufatura e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

Prof. Paulo César Borges, Dr.
Coordenador do Programa

Banca examinadora

Prof. Marco Aurélio de Carvalho, Dr.
UTFPR - Orientador

Prof. Acires Dias, Dr.
UFSC

Prof.^a Carla Cristina Amodio Estorilio, Dr.^a
UTFPR

Curitiba, 10 de fevereiro de 2017

À minha avó Aparecida, que se pudesse estar entre nós, teria os olhos em lágrimas.

AGRADECIMENTOS

Aproveito esta seção para registrar a minha gratidão a todos que apoiaram este incrível projeto. É evidente que não será possível expressar meus agradecimentos um a um, mas estejam certos que cada um foi, em sua forma, fundamental para esse importante momento da minha vida.

Ao professor Dr. Marco Aurélio de Carvalho, agradeço por toda dedicação e apreço na orientação desta pesquisa. Os conselhos e os direcionamentos assertivos não somente encaminharam o sucesso do trabalho, mas serão lições para toda minha vida acadêmica.

Agradeço aos professores Dr. Carlos Cziulik e Dr. Marcelo Gechele Cleto da avaliação do projeto de dissertação e aos professores Dr. Acires Dias e Dr.^a Carla Cristina Amodio Estorilio da banca examinadora pelas extensivas atenções e contribuições dadas a este trabalho.

Por meio de todos os estudantes participantes da pesquisa, agradeço à confiança depositada no projeto pelas universidades e centros acadêmicos envolvidos. A nossa parceria foi essencial para a efetivação deste trabalho.

Ao amigo e jornalista Higor Lambach, agradeço pelas técnicas, discussões e revisões compartilhadas na redação deste trabalho.

Por fim, aos meus familiares e amigos, em especial a minha mãe Sueli, meu pai João, minha irmã Natiele e meu avô Antenor, que incentivaram esse momento da minha formação com todo apoio necessário.

A todos vocês, agradeço por esta conquista.

A problem well stated is a problem half solved. (KETTERING, Charles F, 1948).

Um problema bem definido é um problema meio resolvido.
(KETTERING, Charles F, 1948).

RESUMO

SILVA, Renan F. da. Determinação Antecipada de Falha (AFD) para a identificação de falhas potenciais no projeto de produtos: uma comparação com a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA). 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2017.

Muitas habilidades são requeridas aos engenheiros para o sucesso no âmbito do desenvolvimento de produtos. O constante lançamento de novos produtos, associado às crescentes exigências dos clientes e usuários exigem abordagens sistemáticas e proativas da engenharia de projeto. Dado que muitas falhas têm origens prematuras no ciclo de desenvolvimento, ferramentas de identificação de modos de falhas são usadas a fim de prevenir essas ocorrências. Mesmo o método mais tradicional e difundido, a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA), não é suficiente por si só. Nesse contexto, esta pesquisa objetivou avaliar o potencial de identificação de falhas potenciais da metodologia Determinação Antecipada de Falha (AFD). Essa ferramenta é derivada da Teoria de Solução Inventiva de Problemas (TRIZ) e recomendada na literatura por encorajar a criatividade sistemática em sua abordagem, porém inexistia a comprovação de sua eficácia. Dessa forma, na metodologia deste trabalho, foram desenvolvidos experimentos por meio de um minicurso teórico-prático sobre ambas ferramentas de predição de falhas (FMEA e AFD) direcionados a alunos de graduação em engenharia para capacitação e aplicação das metodologias. Os estudantes são acessíveis e bastante utilizados nas pesquisas de engenharia de projeto para validações de métodos. Os resultados foram colhidos por meio de formulários ao longo da atividade e embasaram esta pesquisa. Do total de 105 alunos de cinco universidades de Curitiba-PR, a uma significância de 5% e precisão de 9,5%, observou-se que ambas as ferramentas foram bem avaliadas. Comparada à FMEA, a ferramenta AFD foi mais recomendada para o desenvolvimento de produto (59%), enquanto que 61% sugeriram a FMEA para resolução de casos complexos. Embora a AFD tenha sido avaliada como mais robusta (50%) e tão eficiente quanto a FMEA, 60% dos estudantes afirmaram que a FMEA é de mais fácil utilização. Apesar disso, nas aplicações práticas, a AFD mostrou melhores resultados na identificação de falhas e causas potenciais, em 71% dos casos. Esses resultados evidenciaram as potencialidades, e também limitações, da metodologia AFD, mostrando-se um método alternativo e, ainda, pouco explorado na área de desenvolvimento de produto.

Palavras-chave: Determinação Antecipada de Falha (AFD). Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ). Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA). Desenvolvimento de produtos. Identificação de falhas potenciais.

ABSTRACT

SILVA, Renan F. da. Anticipatory Failure Determination (AFD) in identifying potential failures for project of products: a comparison to Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2017.

Many skills are required for the success of engineers in product development. The constant launch of new products, coupled with the increasing demands of customers and users, requires systematic and proactive approaches to design engineering. Because many faults have premature origins in the development cycle, failure mode identification tools are used to prevent such occurrences. Even the most traditional and widespread method, the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), is not enough by itself. In this context, this research aimed to evaluate the potential of identification of faults by Anticipatory Failure Determination (AFD) methodology. This tool is derived from the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) and recommended in the literature for encouraging systematic creativity in its approach, but its evidence of effectiveness was inexistent. Thus, in the methodology of this work, experiments were developed through a theoretical-practical mini-course on both fault prediction tools (FMEA and AFD) directed to undergraduate students in engineering for training and application of methodologies. Students are accessible and widely used in design engineering surveys for method validations. The results were collected through forms throughout the activity and supported this research. From the total of 105 students from five universities in Curitiba-PR, at a significance of 5% and accuracy of 9.5%, it was observed that both tools were well evaluated. Compared to FMEA, the AFD tool was more recommended for product development (59%), while 61% suggested FMEA for complex case resolution. Although AFD was rated as more robust (50%) and as effective as FMEA, 60% of students said that FMEA is easier. Nevertheless, in practical applications, AFD showed a better results in the identification of failures and potential causes in 71% of the cases. These results evidenced the potentialities, and also counterparts, of the AFD methodology, showing an alternative method and, still, little explored in the area of product development.

Keywords: Anticipatory Failure Determination (AFD). Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ). Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Products development. Identification of potential failures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Frequência de uso e eficácia de solução inventiva por ferramenta da TRIZ	19
Figura 2 – Formulário genérico para DFMEA	26
Figura 3 – Visão hierárquica da TRIZ	32
Figura 4 – Derivação de uma falha a partir do cenário de sucesso S_0	36
Figura 5 – Realização de estágio pelos participantes do minicurso	57
Figura 6 – Exemplo de resultado da aplicação AFD para o caso prático “óculos” ...	74
Figura 7 – Exemplo de resultado da aplicação FMEA para o caso prático “óculos”	75
Figura 8 – Exemplo de resultado da aplicação AFD para o caso prático “tesoura”	75
Figura 9 – Exemplo de resultado da aplicação FMEA para o caso prático “tesoura”	76
Figura 10 – Exemplo de resultado da aplicação AFD para o caso prático “vassoura”	76
Figura 11 – Exemplo de resultado da aplicação FMEA para o caso prático “vassoura”	77
Figura 12 – Material expositivo do minicurso: slides 1 a 6	89
Figura 13 – Material expositivo do minicurso: slides 7 a 14	90
Figura 14 – Material expositivo do minicurso: slides 15 a 22	91
Figura 15 – Material expositivo do minicurso: slides 23 a 30	92
Figura 16 – Material expositivo do minicurso: slides 31 a 38	93
Figura 17 – Material expositivo do minicurso: slides 39 a 46	94
Figura 18 – Material expositivo do minicurso: slides 47 a 54	95
Figura 19 – Material expositivo do minicurso: slides 55 a 62	96
Figura 20 – Material expositivo do minicurso: slides 63 a 65	97

Figura 21 – Caso prático 1: Projeto de vassoura	98
Figura 22 – Caso prático 2 e 3: Projetos de frigideira e de óculos	98
Figura 23 – Caso prático 4 e 5: Projetos de tesoura e de caderno	99
Figura 24 – Guia de orientações FMEA	100
Figura 25 – Formulário DFMEA	101
Figura 26 - Tabela para critérios DFMEA	102
Figura 27 – Guia de orientações AFD	103
Figura 28 – Formulário AFD	104
Figura 29 – <i>Checklist</i> AFD	105
Figura 30 – Formulário de avaliação I: Apresentação e Expectativa	106
Figura 31 – Formulário de avaliação II: Avaliação FMEA	107
Figura 32 – Formulário de avaliação III: Avaliação AFD	108
Figura 33 – Formulário de avaliação IV: Comparação FMEA e AFD I	109
Figura 34 – Formulário de avaliação IV: Comparação FMEA e AFD II	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – 10 passos para uma análise FMEA	28
Tabela 2 – Avaliação de severidade na DFMEA	29
Tabela 3 – Avaliação de ocorrência na DFMEA	30
Tabela 4 – Avaliação de detecção na DFMEA	30
Tabela 5 – Uma breve história da TRIZ em tópicos	33
Tabela 6 – Categorias para identificação de recursos	37
Tabela 7 – Identificação de falhas potenciais por meio da base do conhecimento .	39
Tabela 8 – Etapas do ARIZ adaptado para predição de falhas	39
Tabela 9 – Visão geral dos métodos de prevenção de falhas e análise de risco	41
Tabela 10 – Fraquezas da abordagem tradicional de resolução de problemas	42
Tabela 11 – Planejamento do minicurso em tópicos e durações estimadas	51
Tabela 12 – Formulários de apoio para os casos práticos do minicurso	52
Tabela 13 – Formulários de avaliação do minicurso	53
Tabela 14 – Considerações e resultados para tamanho de amostra	54
Tabela 15 – Cronograma da realização dos minicursos	55
Tabela 16 – Composição acadêmica dos alunos participantes	56
Tabela 17 – Conhecimento prévio em FMEA e AFD dos participantes	57
Tabela 18 – Avaliação do conhecimento prévio dos participantes em FMEA (0 a 5)	58
Tabela 19 – Avaliação do conhecimento prévio dos participantes em AFD (0 a 5) .	59
Tabela 20 – Tabulação síntese do formulário de avaliação II. Avaliação FMEA	60
Tabela 21 – Tabulação dos dados do formulário de avaliação II. Avaliação FMEA	61
Tabela 22 – Tabulação síntese do formulário de avaliação III. Avaliação AFD	63

Tabela 23 – Tabulação dos dados do formulário de avaliação III. Avaliação AFD ..	63
Tabela 24 – Tabulação das proporções para a robustez das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD	65
Tabela 25 – Tabulação das proporções para o processo de identificação de falhas potenciais das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD	65
Tabela 26 – Tabulação das proporções para a facilidade das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD	66
Tabela 27 – Tabulação das proporções para as recomendações de casos complexos e de desenvolvimento de produto do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD	66
Tabela 28 – Casos práticos aplicados para FMEA e AFD por sessão de minicurso	68
Tabela 29 – Quantidade de falhas e causas identificadas por sessão e caso prático	68
Tabela 30 – Proporções para a robustez, a identificação de falhas potenciais e a facilidade das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD	70
Tabela 31 – Proporções compiladas para indicação em casos complexos e em desenvolvimento de produto do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD	70
Tabela 32 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Robustez	111
Tabela 33 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Identificação de falhas potenciais	115
Tabela 34 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Facilidade	118
Tabela 35 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Casos complexos	122
Tabela 36 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Desenvolvimento de produto	125
Tabela 37 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Dificuldades e limitações	128

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AFD	<i>Anticipatory Failure Determination</i> (Determinação Antecipada de Falha)
AFI	<i>Anticipatory Failure Identification</i> (Identificação Antecipada de Falha)
AFP	<i>Anticipatory Failure Prediction</i> (Predição Antecipada de Falha)
ARIZ	<i>Algorithm of Inventive Problem Solving</i> (Algoritmo para Resolução Inventiva de Problemas)
AZOITT	<i>Azerbaijan Public Institute for Inventive Creativity</i> (Instituto Público Azerbaijão de Criatividade Inventiva)
DFMEA	<i>Design Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análise de Modo e Efeitos de Falha de Projeto)
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análise de Modo e Efeitos de Falha)
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (Análise de Árvore de Falhas)
HAZOP	<i>Hazards and Operations Analysis</i> (Análise de Perigo e Operabilidade)
I-TRIZ	<i>Ideation TRIZ Methodology</i> (Metodologia TRIZ da Ideation)
NPR	Número de Prioridade de Risco
OLMI	<i>Public Laboratory of Invention Methodology</i> (Laboratório Público de Metodologia de Invenção)
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PFMEA	<i>Process Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análise de Modo e Efeitos de Falha de Processo)
SFMEA	<i>System Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análise de Modo e Efeitos de Falha de Sistema)
TRIZ	<i>Theory of Inventive Problem Solving</i> (Teoria da Solução Inventiva de Problemas)
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UniBrasil	Centro Universitário Autônomo do Brasil
UP	Universidade Positivo
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTP	Universidade Tuiuti do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS POTENCIAIS DURANTE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	22
2.1 A CONFIABILIDADE DE PRODUTOS	22
2.2 A ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)	23
2.2.1 Histórico e Apresentação	23
2.2.2 Prevenção de Falhas Potenciais em Produtos com a DFMEA	25
2.3 A DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHA (AFD)	31
2.3.1 Histórico e Desenvolvimento da TRIZ	31
2.3.2 Prevenção de Falhas Potenciais em Produtos pela AFD	34
2.4 COMPARAÇÃO ENTRE FMEA E AFD	40
2.5 USO DE GRADUANDOS EM PESQUISA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	43
3 METODOLOGIA.....	47
3.1 PLANEJAMENTO DO MINICURSO	47
3.2 COLETA DE DADOS	48
3.3 ANÁLISE DE DADOS	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 MINICURSO DE FMEA E AFD	51
4.2 TABULAÇÃO DOS DADOS DA PESQUISA	55
4.3 ANÁLISE DE RESULTADOS	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICE A – MATERIAL EXPOSITIVO DO MINICURSO	89
APÊNDICE B – CASOS PRÁTICOS DO MINICURSO	98
APÊNDICE C – FORMULÁRIOS DE APOIO PARA OS CASOS PRÁTICOS	100
APÊNDICE D – FORMULÁRIOS DE AVALIAÇÃO DO MINICURSO	106
APÊNDICE E – TABULAÇÃO COMPLETA DO FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO IV. COMPARAÇÃO FMEA E AFD	111

1 INTRODUÇÃO

A engenharia, em parceria com outras ciências, constantemente, apresenta novos produtos que melhoram a qualidade de vida das pessoas. Entretanto, para se ter êxito, em especial, no campo da engenharia de desenvolvimento de produto, muitas habilidades são requeridas aos engenheiros devido à crescente complexidade. Segundo Atman *et al.* (2008), essas habilidades incluem, entre outras, definição e resolução de problemas, análise crítica do projeto e avaliação de impactos em pessoas e meio ambiente.

Embora existam vários modelos para o processo de desenvolvimento, o resultado é comumente entendido como a criação ou adaptação de produtos após uma sequência de iterações e retroalimentações (FOSMIRE; RADCLIFFE, 2014). Esses modelos incorporam-se à engenharia de projeto (*design engineering*) cuja definição é dada pelos autores Dym, Little, Orwin e Spjut (2009):

“É um processo sistemático e inteligente no qual desenvolvedores geram, avaliam e especificam projetos para componentes, sistemas ou processos cujas formas e funções alcançam objetivos dos clientes e necessidades dos usuários enquanto satisfazem um conjunto de restrições” (DYM *et al.*, 2009).

Por outro lado, esse processo ainda encontra situações em que falhas no desenvolvimento do projeto podem levar a resultados graves (ATMAN *et al.*, 2008). Apesar de ter sido suficiente no passado, priorizar testes e análises de detecção como métodos para garantir a confiabilidade dos produtos não é mais suficiente nos dias de hoje (CARLSON, 2014). Esses métodos são tradicionalmente feitos nos estágios avançados do ciclo do desenvolvimento de produto (LAURENTI; ROZENFELD; FRANIECK, 2012) o que implica em uma restrição maior de alterações no projeto.

Nesse contexto, utilizar de abordagens tecnicamente apropriadas pode reduzir a quantidade dessas redefinições de projeto além de diminuir custos e antecipar fatores nocivos ao produto (KARA-ZAITRI *et al.*, 1991). Dessa forma, aplica-las em estágios antecipados no ciclo do desenvolvimento do produto, durante o projeto preliminar ou projeto detalhado, por exemplo é o recomendado. Em um mundo em que o tempo para o desenvolvimento tem se tornando mais curto, as preocupações com custos mais precisas e as expectativas de segurança e

confiabilidade maiores, faz-se necessário o foco na prevenção das falhas (CARLSON, 2014).

1.1 PROBLEMA

Projetar um produto é um processo criativo, experimental e sem resultado pré-definido. Essa combinação de fatores torna o processo complexo e, muitas vezes, mal estruturado (SONG *et al.*, 2016). Como consequência, grande parte das falhas de produtos têm origem prematura no ciclo de seu desenvolvimento, sendo apenas detectadas em estágios tardios (BRUCH, 2004).

Dessa forma, um produto pode ser visto como um sistema que contém um conjunto de subsistemas que interagem entre si e executam funções específicas (FELICIA; DRAGHICI, 2012). Sendo assim, a forma em que o produto falha ao entregar essas funções caracteriza o modo de falha. Para Carlson (2004), isso “é a razão pela qual o item ou processo potencialmente falha ao encontrar ou entregar a função pretendida e requisitos associados”.

Para cada modo de falha, efeitos potenciais estão associados. Esses efeitos possuem riscos relativos determinados pelos fatores severidade (consequência da falha se ocorrida), ocorrência (probabilidade de a falha acontecer) e detecção (probabilidade da detecção da falha antes da sua ocorrência) (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009). Cabe aos engenheiros, portanto, uma definição de metodologia a fim de identificar esses modos e propor ações que eliminem ou mitiguem suas ocorrências e, por consequência, os riscos associados.

Diversos métodos auxiliam os desenvolvedores para antecipar esses problemas de forma sistemática durante os estágios de desenvolvimento de produtos (BRUCH, 2004). Todavia, além de insuficientes, os métodos tradicionais não conseguem efetivamente fornecer respostas para a identificação de falhas de baixa probabilidade que são causadas por eventos imprevisíveis (ADESANYA, 2014). Os engenheiros, inclusive, acreditam que essas ferramentas são difíceis e consomem muito tempo para utilizar no processo de solução dos mais desafiantes casos (CLARKE; VISHNEPOLSKI; ZLOTIN, 1999).

Uma das ferramentas mais utilizadas é a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA). Essa é a principal metodologia nas indústrias para esse tipo específico de identificação, mas, segundo Jenkins (2013), com frequência, não apresenta

confiabilidade. Mesmo nas numerosas aplicações satisfatórias, os resultados da FMEA são limitados às expectativas normais de ocorrência de falhas e sem interconectividade (HIPPLE, 2006).

Para Hiltman (2014), a FMEA constituiu-se como um processo rudimentar, rotineiramente utilizado nas indústrias que não é capaz de encontrar todas as falhas potenciais dos componentes. Esse processo foi revisado sistematicamente pelos autores Laurenti, Rozenfeld e Franieck (2012) em 106 artigos a fim de identificar os problemas para o método. Foram identificados 37 tipos de problemas relatados para o método cujos principais em ordem de frequência de relato são: avaliação de risco não precisa e alta demanda de tempo para realiza-lo.

Por outro lado, existem métodos que são menos consagrados na indústria tal como a Determinação Antecipada de Falha (*Anticipatory Failure Determination* (AFD)). Proveniente da Teoria da Solução Inventiva de Problemas (TRIZ), a metodologia tem diferenciais que são pouco explorados pelos engenheiros no desenvolvimento de produto por ser menos difundida. Segundo Brunch (2004):

“A Determinação Antecipada de Falha (AFD) é um método da TRIZ pelo qual o usuário pode analisar minuciosamente os mecanismos de falhas, obter um exaustivo conjunto de cenários potenciais de falhas e desenvolver soluções inventivas para prevenir, neutralizar ou minimizar o impacto dos cenários de falhas” (BRUNCH, 2004).

A AFD tem em seu conceito o uso da TRIZ de forma inversa de modo a encontrar todas as formas de produzir falhas no sistema e, posteriormente, eliminá-las (UNGVARI, 1999). Para Felicia e Draghici (2012), o diferencial da técnica está no processo intencional de invenção de falhas. Esse processo assiste na busca de causas por meio de uma deficiência potencial desejada, o que difere dos métodos mais tradicionais (KOHNSHAUSER, 1999).

A exploração adequada e antecipada dos problemas potenciais pode trazer grande impacto ao projeto do produto (ATMAN *et al.*, 2008). Embora não seja um método amplamente difundido nas indústrias, a abordagem sistemática da AFD possibilita prever problemas futuros e desenvolver maneiras de preveni-los.

Nesse contexto, essa pesquisa, visa a responder os seguintes questionamentos acerca da ferramenta AFD para o desenvolvimento confiável de produtos:

- a) Quais são as percepções dos usuários para o uso da AFD no processo de desenvolvimento de produto?
- b) Como as percepções dos usuários da AFD relacionam-se com as potencialidades prometidas da ferramenta?
- c) Como os usuários da AFD relacionam as vantagens e desvantagens do método, se comparado com a FMEA?
- d) Como seriam os resultados das aplicações da AFD e FMEA para os mesmos estudos de casos?

Por meio desses questionamentos, elaboram-se os objetivos que conduzirão o tratamento da pesquisa.

1. 2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é comparar o uso da Determinação Antecipada de Falha (AFD) na predição de falhas potenciais durante o desenvolvimento do projeto de produto com a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA).

Para cumprimento desse objetivo, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Explorar os conceitos e usos das ferramentas AFD e FMEA;
- b) Desenvolver um minicurso sobre as metodologias AFD e FMEA para projeto de produto;
- c) Elaborar casos de estudo de projeto de produto para aplicação prática no minicurso;
- d) Capacitar alunos de graduação de engenharia mecânica e de produção por meio do minicurso e aplicação prática de AFD e FMEA;
- e) Analisar as aplicações com base nas avaliações e resultados dos alunos participantes nos minicursos;
- f) Comparar os resultados práticos e discutir as aplicações.

1. 3 JUSTIFICATIVA

Análises de Processos de Desenvolvimento de Produto (PDP) mostram que as falhas de projeto são principalmente causadas pelo esclarecimento insuficiente das atividades envolvidas e seleções inadequadas para as soluções de projeto

(KLAUS, 2003). Essas deficiências são diretamente relacionadas ao apoio metodológico inexistente, insuficiente ou inadequado para identificar e processar fatores perturbadores (BRUCH, 2004). Assim, ressalta-se a importância de explorar o potencial de ferramentas menos utilizadas na indústria para melhorias no PDP.

Segundo Ungvari (1999), os métodos tradicionais de prevenção de falhas resultam em engenheiros ignorando algumas etapas das ferramentas que, além disso, ainda não são métodos infalíveis. O processo de determinação é essencialmente um exercício de *brainstorming* iniciado com os problemas que podem ocorrer. Esse fato incide na síndrome da inércia psicológica, visto que a identificação da falha potencial é efetuada com o mesmo contexto mental em que o sistema foi criado (UNGVARI, 1999).

No entanto, a consistência da TRIZ reflete em várias ferramentas diferenciadas que podem ser usadas para identificar e solucionar problemas técnicos (KOHNSHAUSER, 1999). A sugestão aplicável para problemas de confiabilidade é pela Análise de Subversão que identifica rotas, tanto sequenciais quanto paralelas, que levam às falhas dos sistemas (MANN, 2002). Registrada e difundida pela Ideation International, a AFD é a abordagem da Análise de Subversão selecionada para investigação neste trabalho.

Apesar dos grandes esforços nas últimas duas décadas para integrar ferramentas da TRIZ nas companhias da Europa, Livotov (2004) estima que 60% a 70% das iniciativas foram abandonadas ou falharam. Por meio do *software* TriSolver, o pesquisador documentou todas as soluções das empresas por aplicação dessas ferramentas e confrontou as mais utilizadas com as de maior eficácia na solução de problemas, conforme Figura 1.



Figura 1 - Frequência de uso e eficácia de solução inventiva por ferramenta da TRIZ
 Fonte: Adaptado e traduzido de Livotov (2004)

Com esse levantamento, concluiu-se que mesmo com uma elevada taxa de resolução dos problemas (68%), a AFD ainda é uma ferramenta subestimada, sendo escolhida em apenas 14% das resoluções de problemas.

A pesquisa por estudos de casos e aplicações da AFD reforçou o estudo de Livotov (2004) mostrando uma ferramenta pouco explorada. A revisão do banco de artigos publicados na “TRIZ Future Conference” nos anos de 2001, 2002, de 2006 a 2012 e de 2015 revelou que apenas dois artigos contêm as palavras chave AFD, AFI, Análise Subversiva ou Análise de Subversão. Os outros sete artigos desse mesmo banco relacionavam-se com a melhoria na identificação de falhas potenciais, selecionados pelo título ou resumo. No Brasil a produção acerca do tema é ainda mais escassa.

Segundo Hiltmann (2015), a AFD é um método forte que tem mostrado seus benefícios. No entanto, os trabalhos apresentados na revisão bibliográfica que discutem os potenciais da ferramenta são teóricos e desassociados dos estudos de casos. A comparação com métodos tradicionais, a exemplo da FMEA, também acontece somente no âmbito da teoria, conforme exposto no capítulo 2.

Espera-se com o desenvolvimento deste trabalho contribuir com as pesquisas de desenvolvimento de produto e identificação de falhas potenciais. A utilização de uma ferramenta pouco explorada (AFD) e uma abordagem prática, com fatos e dados para considerações acerca das metodologias, pode trazer oportunidades para pesquisas futuras e aplicações. Dessa forma, justifica-se a condução sobre a temática do trabalho.

1. 4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para explorar de maneira mais eficaz a temática, a dissertação está estruturada em cinco capítulos. Neste primeiro, a Introdução pontuou o cenário e motivações para a realização do trabalho, assim como delimitou o assunto e apresentou os objetivos gerais e específicos. O restante do trabalho segue com capítulos destinados para revisões de bibliografias, apresentação de métodos, discussão de resultados e considerações, seguidos de referências e apêndices.

Na pesquisa e na revisão dos autores, expõe-se seções pertinentes sobre a temática no capítulo 2. O uso das ferramentas aplicadas para identificação de falhas potenciais durante o ciclo de desenvolvimento de produto e suas particularidades

estão apresentados nas seções 2.1 a 2.4. Na seção 2.5, discute-se o uso de alunos de engenharia em pesquisas de desenvolvimento de produto para o embasamento da metodologia deste trabalho.

No capítulo 3, estrutura-se a metodologia para obtenção dos objetivos propostos. As duas primeiras seções destinam-se a apresentar a metodologia utilizada na condução dos minicursos com alunos de graduação e na coleta dos dados decorrentes. Por último, a terceira seção expõe o método de avaliação do potencial da AFD por meio de uma análise comparativa com a FMEA.

O quarto capítulo é dedicado aos resultados e discussão do trabalho e também se estrutura em seções. Na primeira, discute-se a realização dos minicursos com alunos de graduação de diversas instituições e, na seção seguinte, aborda-se as análises dos dados decorrentes dos casos práticos de FMEA e AFD e avaliações coletadas. Encerra-se o capítulo com a discussão do potencial da AFD por meio da comparação entre a FMEA.

Por fim, o estudo tem o quinto capítulo para a conclusão do trabalho, seguida de elementos pós-textuais. As Considerações Finais revisam os objetivos inicialmente propostos e os resultados obtidos por meio da metodologia e apontam oportunidades para futuros estudos.

2 A IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS POTENCIAIS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Apresenta-se, neste capítulo, uma revisão bibliográfica de assuntos pertinentes ao Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e à confiabilidade de produtos. Na primeira seção, aborda-se a crescente demanda por produtos confiáveis, seguida das metodologias FMEA e AFD nas seções dois e três. Por fim, na quarta seção, compara-se os dois métodos para a garantia da confiabilidade por meio das potencialidades e diferenças na identificação e prevenção de falhas potenciais e discute-se o uso de alunos em pesquisas de PDP na última seção.

2.1 A CONFIABILIDADE DE PRODUTOS

As falhas funcionais de produtos sempre foram um problema, no entanto parece que com a complexidade dos sistemas atuais, o número e a severidade dos incidentes têm aumentado (UNGVARI, 1999). Isso reforça a popularidade das análises de cenário de risco, motivada principalmente pela busca na confiabilidade de produtos e processos, que passa por um crescimento recente sem sinais de estagnação. Contudo, geralmente, foca-se em aprender e explicar as falhas que já aconteceram ao invés de prevenir que essas se repitam ou identificar as que ainda não aconteceram (KAPLAN *et al.*, 2005).

Para Sarno, Kumar e Li (2005), define-se confiabilidade como “a probabilidade que o sistema realize suas funções esperadas num contexto de operação por um determinado período”. Os autores complementam:

“Na etapa de projeto, a confiabilidade é estabelecida como uma característica de qualidade do sistema. A confiabilidade não pode mais ser melhorada durante uso sem modificar o projeto original ou aumentar drasticamente os custos de manutenção e operação. Portanto, é fundamental que o produto tenha um maior nível de confiabilidade durante o desenvolvimento do seu projeto” (SARNO; KUMAR; LI, 2005).

Novos produtos somente alcançam um padrão aceitável de confiabilidade depois de um grande número de falhas. Portanto, métodos de antecipação de falhas estão crescendo em importância. Os mesmos auxiliam a determinar o risco de falhas potenciais mesmo quando a experiência é pouca (LIVOTOV, 2008).

Segundo Regazzoni e Russo (2010), para minimizar efetivamente as ocorrências de falhas, projetistas e *designers* deveriam ter um excelente conhecimento de mecanismos de falhas. Quando esses mecanismos são conhecidos e devidamente considerados em cada passo do ciclo de vida do produto, as falhas podem ser minimizadas ou o produto pode ser protegido por meio de medidas cuidadosas de engenharia.

Para Laurenti, Rozenfeld e Franieck (2012), além de identificar as falhas potenciais, a avaliação de confiabilidade do projeto traz benefícios financeiros. Assume-se que a correção de uma falha de produto durante as etapas de planejamento, de produção e de uso do produto custam, respectivamente, 10, 100 e 1000 vezes mais que a correção da mesma falha durante a etapa conceitual do projeto (BRUCH, 2004).

Dessa forma, discute-se nas próximas seções duas ferramentas que foram desenvolvidas para a identificação dos modos de falhas potenciais de produtos. Ambas, FMEA e AFD, trazem vantagens para seu uso, no entanto, este trabalho foca na exploração do potencial da AFD em relação à FMEA. Embora a FMEA seja um processo linear, bem aceito e normatizado, a AFD é um exemplo de processo inventivo de falhas que ainda é pouco explorado (THURNES *et al.*, 2012).

2.2 A ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Aborda-se, nesta seção, a aplicação da FMEA para o projeto de produtos (DFMEA) dividida em duas partes. Na primeira, concentra-se um breve histórico seguido das características gerais da ferramenta. Na segunda, expõe-se o uso e as etapas para identificação e prevenção de falhas potenciais durante desenvolvimento do projeto de produto.

2.2.1 Histórico e apresentação

A Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) é uma técnica sistemática originalmente desenvolvida pelos engenheiros para estudar falhas em sistemas militares (JENKINS, 2013). Introduzida na década de 1940 pelas forças armadas norte-americanas, a técnica foi, posteriormente, aprimorada para as indústrias aeroespacial e automotiva. Hoje, consagra-se como o método mais utilizado na

indústria para antecipar falhas de produtos e de seus processos de fabricação (HAWKINS; WOOLONS, 1998 e STONE; TUMER; STOCK, 2005).

Em sua primeira formalização, em 1949, pela norma militar MIL-STD-1629: Procedimento para Realização de Análise de Efeito e Criticidade de Modos de Falhas (*MIL-STD-1629: Procedure for Performing a Failure Mode Effect and Criticality Analysis*), a FMEA objetivou classificar as falhas pelo impacto no sucesso da missão e na segurança das pessoas e dos equipamentos (CARLSON, 2014). Para Felicia e Draghici (2012), essa estrutura consistia em identificar os efeitos de todos os modos de falhas e as causas potenciais que poderiam ocasioná-los.

A técnica ganha um apelo generalizado, além do campo da segurança e da análise de risco, somente no final do século XIX. A indústria automotiva adapta a FMEA para uso na melhoria de qualidade e de confiabilidade (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD; 2009). Com a QS-9000:1998, norma de qualidade adotada pela Chrysler, Ford e General Motors, passa-se a exigir a FMEA, como requisito, dos fornecedores em um esforço para prevenir falhas (SANTANA; MASSARANI, 2005).

Atualmente, existem muitos padrões e guias relevantes que especificam o uso da técnica. Alguns dos mais comuns são listados por Carlson (2014): SAE J1739, *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA)*, *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)*, AIAG, *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) – Reference Manual Fourth Edition* e SAE ERP 5580, *Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) – Practices for Non-Automobile Applications*. Apesar das variações, o objetivo primário da FMEA mantém-se na melhoraria de projeto (*design*) (CARLSON, 2014).

Em outras palavras, a Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) consiste basicamente, em um método qualitativo, que identifica e lista os modos de falhas potenciais durante o processo de desenvolvimento de produto (FELICIA; DRAGHICI, 2012). Os autores McDermott, Mikulak e Beauregard (2009) definem a ferramenta como “um método sistemático para identificação e prevenção de problemas em produtos e processos antes que eles ocorram”. Assim, tem-se que:

“A Análise de Modo e Efeitos de Falha é um método desenvolvido para identificar e entender perfeitamente modos de falhas potenciais e suas causas e os efeitos da falha no sistema ou usuários finais para um produto ou

processo, avaliar o risco associado com modos de falhas, efeitos e causas identificadas e priorizá-los para ações corretivas e identificar e executar ações corretivas para tratar as maiores preocupações” (CARLSON, 2014).

Embora a realização em produtos já existentes possa também produzir resultados benéficos, a FMEA é conduzida no estágio de projeto de produto (*design*) (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009). Para Felicia e Draghici (2012), quando feita muito tardiamente no PDP, as ações recomendadas passam a consumir mais dinheiro e tempo. Carlson (2014) também reitera que a ferramenta é desenvolvida para estágios iniciais do desenvolvimento do projeto do produto pois objetiva identificar e corrigir problemas antes de chegar às mãos dos consumidores.

Os mais comuns tipos de FMEA são FMEA de sistema (SFMEA), FMEA de projeto (DFMEA) e FMEA de processo (PFMEA) (CARLSON, 2014). Para cada um desses, direciona-se o objetivo comum para o foco da aplicação. Para SFMEA, o foco é melhorar o projeto do sistema, enquanto que, para a DFMEA e PFMEA, os focos são de melhorar o projeto de um componente do produto e de um processo de manufatura, respectivamente (CARLSON, 2014).

Para Santana e Massarani (2005), a DFMEA é, principalmente, “uma abordagem estruturada para prevenção de problemas relacionados ao projeto do produto, suas causas e seus defeitos”. Carlson (2014) também a caracteriza como um tipo de FMEA cujo foco é no projeto do produto, tipicamente no nível de subsistema ou componente. Logo, esse tipo de FMEA é o aplicável para o aprofundamento do trabalho.

2.2.2 Prevenção de falhas potenciais em produtos com a DFMEA

Para Carlson (2014), existem seis fatores críticos para o sucesso de qualquer tipo de FMEA nas companhias. Entre esses, encontra-se a necessidade de entendimento dos fundamentos e procedimentos, incluindo conceitos e definições. Segundo o autor, isso ajuda a garantir uma aplicação segura e confiável e o tempo gasto com esse conhecimento encurta o tempo gasto durante a aplicação da FMEA e contribui para garantir um resultado de qualidade.

A DFMEA é uma das técnicas sistematicamente utilizadas para garantir que os projetos de produtos sejam feitos em um menor tempo e com a qualidade necessária (SANTANA; MASSARANI, 2005). A técnica envolve todos os itens da

estrutura do produto (subsistemas e componentes), identificando os modos e causas potenciais de falhas geradas, controles atuais e efeitos. Em outras palavras, objetiva-se descobrir problemas nos produtos que irão resultar em risco de segurança, disfunções ou encurtar sua vida útil (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Segundo Souza e Álvares (2008), a técnica é uma das mais eficientes ferramentas dedutivas de baixo custo para prevenção de problemas. Essa utiliza como instrumento de comunicação uma planilha para documentar e armazenar todas informações importantes das etapas (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009). O formulário, adaptado de Instituto da Qualidade Automotiva (2008) na SAE J1739, é genérico e pode ser usado a outros tipos de FMEA, conforme Figura 2.

Análise de Modos e Efeitos de Falha											
FMEA - Failure Mode and Effects Analysis						FMEA Tipo		DFMEA			
Facilitador FMEA						Data e horário inicial					
Equipe Triada						Data e horário final					
Quem Envolvidos						Número do Grupo					
Descrição do Item						Universidade					
Curso/Detalhe:											
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	∞	Causa de Falha Potencial	○	Controle Atual Preventivo	Controle Atual Detectivo	□	R R E	Ação Recomendada

Figura 2 – Formulário genérico para DFMEA

Fonte: Autoria própria

Observa-se onze conceitos distribuídos nas colunas da planilha de trabalho da DFMEA. O processo de análise desenvolve-se linearmente da esquerda para direita, iniciando na coluna “Item” seguindo até “Ações recomendadas” (CARLSON, 2014). Sendo assim, as definições são apresentadas na mesma sequência de acordo com Carlson (2014):

- a. Item: é foco da análise e depende do tipo de aplicação da FMEA. Para DFMEA, isto é o subsistema ou componente sob análise, enquanto que para PFMEA, por exemplo, é um ponto específico do processo de manufatura.
- b. Função: é o propósito pelo qual o item foi projetado, geralmente acompanhado padrões de desempenho ou requisitos. Para Pahl e Beitz

(2001), o termo pode ser definido como a relação entre entrada e saída de um sistema técnico cuja finalidade é desempenhar uma tarefa.

- c.** Modo de falha potencial: é a maneira pela qual o item ou operação potencialmente falha em entregar as funções ou requisitos.

“Isso pode incluir falha ao realizar uma função dentro limites definidos, função inadequada ou em baixo desempenho, desempenho intermitente na entrega da função ou realizar uma função não intencionada ou indesejada” (CARLSON, 2014).

- d.** Efeito de falha potencial: é a consequência da falha no produto ou no usuário.
- e.** Severidade: é uma classificação numérica baseada critérios de uma escala de severidade associada a criticidade dos efeitos para cada modo de falha. Para McDermott, Mikulak e Beauregard (2009), a classificação de severidade é “uma estimativa do quão sérios os efeitos serão caso uma falha aconteça”.
- f.** Causa de falha potencial: é a razão específica para a causa. Para DFMEA, a causa é uma deficiência de projeto que resulta em um modo de falha.
- g.** Ocorrência: é uma classificação numérica baseada em critérios de uma escala de ocorrência associada a probabilidade de um modo de falha e suas causas associadas acontecer no item em análise. Na DFMEA, considera-se a probabilidade de ocorrência durante a vida do produto.
- h.** Controles: são métodos ou ações já implantadas para reduzir ou eliminar o risco associado com cada causa potencial. Esses controles podem ser de prevenção ou de detecção de causas de falhas durante o PDP. Segundo Carlson (2014):

“Para uma FMEA de sistema ou projeto, controles do tipo preventivo descrevem como uma causa, um modo de falha ou um efeito no projeto do produto é prevenido baseado em ações vigentes ou planejadas. Eles pretendem reduzir a probabilidade que o problema irá ocorrer e são usados como entrada na escala de detecção. Somente aqueles controles preventivos que estão atualmente planejados ou implantados devem ser incluídos na planilha de trabalho da FMEA. Controles do tipo de detecção descrevem como um modo de falha ou uma causa no projeto do produto é detectada baseada nas ações vigentes ou planejadas antes que o projeto do produto seja lançado para produção e são usados como entrada na escala de detecção. Eles pretendem aumentar a probabilidade de os problemas serem detectados antes que eles alcancem os usuários finais. Somente aqueles

controles de detecção que estão atualmente planejados ou implantados devem ser incluídos na planilha de trabalho da FMEA” (CARLSON, 2014).

- i. Detecção: é uma classificação numérica baseada em critérios de uma escala de detecção associada aos controles de detecção vigentes no item de análise. Segundo Carlson (2014), ela “considera a probabilidade de detecção dos modos de falha ou causas de acordo com os critérios definidos”.
- j. Número de Prioridade de Risco (NPR): é uma classificação numérica do risco para cada modo de falha potencial resultante do produto aritmético dos três fatores: severidade do efeito, probabilidade de ocorrência da causa e probabilidade de detecção da causa. Para Souza e Álvares (2008), o NPR “é usado para fazer priorizações. Ele é um caminho prático para priorizar certas falhas e avaliar quais passos precisam ser realizados primeiro”.
- k. Ações recomendadas: são as tarefas recomendadas pelo time de análise para reduzir ou eliminar o risco associado com as causas potenciais de falhas. Segundo Carlson (2014), as ações “deveriam considerar existentes controles, importância relativa (priorização) das questões e custo e efetividade das ações corretivas”.

Para McDermott, Mikulak e Beauregard (2009), todos esses conceitos são incorporados nos processos de FMEA (PFMEA/DFMEA) em dez passos, conforme elencados na Tabela 1.

Tabela 1 – 10 passos para uma análise FMEA

Passo	Descrição
Passo 1	Revisar o processo ou produto
Passo 2	Levantar (<i>brainstorming</i>) os modos de falhas potenciais
Passo 3	Listar efeitos potenciais para cada modo de falha
Passo 4	Atribuir uma classificação de severidade (<i>ranking</i>) para cada efeito
Passo 5	Atribuir uma classificação de ocorrência (<i>ranking</i>) para modo de falha
Passo 6	Atribuir uma classificação de detecção (<i>ranking</i>) para cada modo de falha ou efeito
Passo 7	Calcular o número de prioridade de risco para cada efeito
Passo 8	Priorizar os modos de falhas por ação
Passo 9	Tomar ações para eliminar ou reduzir os modos de falhas de alto risco
Passo 10	Calcular o NPR resultante como modo de falha reduzido ou eliminado

Fonte: Traduzido de McDermott, Mikulak e Beauregard (2009)

No primeiro passo da DFMEA, o time da análise analisa os desenhos do projeto (*blueprint*) do produto a fim de garantir a todos o mesmo entendimento e familiarização. Na sequência, inicia-se a etapa de levantamento de modos de falhas potenciais que poderiam afetar o produto por meio de discussões e sessões de *brainstorming*. Recomenda-se conduzir diferentes sessões de *brainstorming* com foco em diferentes assuntos (materiais, equipamentos, pessoas e meio ambiente) devido à complexidade atual da maioria dos produtos (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Quando finalizado o levantamento dos modos de falhas, as informações são registradas na planilha de trabalho da DFMEA. Uma vez inseridos no documento, o time identifica efeitos potenciais caso as falhas ocorram no terceiro passo do processo. Essas informações irão alimentar as etapas subsequentes de atribuição de classificação de severidade, ocorrência e detecção (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Nos passos quatro a seis, são usadas escalas numéricas de um a dez, onde dez é o valor mais alto e um o mais baixo. Os critérios para cada escala são definidos pelo time de análise ou seguidos conforme recomendações de normas ou guias padrões para DFMEA (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009). Nas Tabelas 2, 3 e 4, apresenta-se exemplos de escalas para os três fatores de risco.

Tabela 2 – Avaliação de severidade na DFMEA

Severidade do efeito	S
Modo de falha potencial afeta segurança da operação ou exigências regulamentarias sem aviso	10
Modo de falha potencial afeta segurança da operação ou exigências regulamentarias com aviso	9
Perda da função primária	8
Degradação da função primária	7
Perda da função secundária	6
Degradação da função secundária	5
Item operante com incômodos notados por 75% dos clientes	4
Item operante com incômodos notados por 50% dos clientes	3
Item operante com incômodos notados por <25% dos clientes	2
Sem efeitos notáveis	1

Fonte: Adaptado de Instituto da Qualidade Automotiva (2008)

Tabela 3 – Avaliação de ocorrência na DFMEA

Ocorrência da causa	O
Nova tecnologia ou novo projeto sem histórico	10
Falhas inevitáveis com novo projeto, nova aplicação ou mudança nas condições operacionais	9
Falhas prováveis com novo projeto, nova aplicação ou mudança nas condições operacionais	8
Falhas incertas com novo projeto, nova aplicação ou mudança nas condições operacionais	7
Falhas frequentes associadas com projeto similar ou em teste	6
Falhas ocasionais associadas com projeto similar ou em teste	5
Falhas isoladas associadas com projeto similar ou em teste	4
Falhas isoladas associadas com projeto quase idêntico ou em teste	3
Sem falhas observáveis associadas com projeto quase idêntico ou em testes	2
Falha é eliminada através de controle preventivo	1

Fonte: Adaptado de Instituto da Qualidade Automotiva (2008)

Tabela 4 – Avaliação de detecção na DFMEA

Capacidade de detecção	D
Sem controles de projeto ou que possam identificar	10
Controles de projeto têm baixa capacidade de identificação	9
Verificação do produto após finalização do projeto e antes do lançamento com teste passa ou não passa	8
Verificação do produto após finalização do projeto e antes do lançamento com teste destrutivo	7
Verificação do produto após finalização do projeto e antes do lançamento com teste de degradação	6
Verificação do produto antes finalização do projeto com teste passa ou não passa	5
Verificação do produto antes finalização do projeto com teste destrutivo	4
Verificação do produto antes finalização do projeto com teste de degradação	3
Controles tem forte capacidade de detecção antes de finalizar o projeto	2
Causa da falha ou modo de falha não podem ocorrer pois são completamente prevenidos.	1

Fonte: Adaptado de Instituto da Qualidade Automotiva (2008)

Em seguida, calcula-se o NPR por meio da multiplicação das classificações dos fatores de risco associados no passo sete. Esse valor sozinho não tem

significado para a análise, entretanto o NPR pode servir de comparação e de priorização dos modos de falhas para ações corretivas. McDermott, Mikulak e Beauregard (2009) recomendam atender os 20% modos de falhas mais críticos (ordenados pelo NPR) com ações recomendadas a fim de eliminar ou reduzir riscos associados ao produto.

Por fim, uma vez que as ações foram tomadas para melhorar o produto, um novo NPR é calculado. Para os modos de falhas em que ações foram tomadas, se observará uma redução significativa do indicador. Caso isso não ocorra, evidencia-se que a ação não reduziu a severidade, a probabilidade de ocorrência ou melhorou a detecção do item (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

A FMEA é uma metodologia analítica utilizada para assegurar que os problemas potenciais sejam considerados ao longo de todo processo de desenvolvimento de produtos (Instituto da Qualidade Automotiva, 2008). Entretanto, a alta adesão da indústria não garante que esses métodos sejam empregados apropriadamente ou que forneçam seus autênticos benefícios (SANTANA; MASSARANI, 2005). Diversos problemas relacionados com sua aplicação e utilidade têm sido reportados na literatura e foram levantados no trabalho de Laurenti, Villari, Rozenfeld (2012).

Dessa forma, cabe-se a investigação de outras ferramentas análogas para contribuição do desenvolvimento de produtos, tal como a AFD. Essa ferramenta é introduzida na seção seguinte e as interfaces com a FMEA são comparadas na seção 2.4.

2.3 A DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHA (AFD)

Para compreensão do desenvolvimento da AFD, inicia-se a seção com uma breve abordagem conceitual e histórica da TRIZ. Em seguida, discute-se o uso da metodologia AFD para identificação e prevenção de falhas potenciais no desenvolvimento de produtos.

2.3.1 Histórico e desenvolvimento da TRIZ

A sigla TRIZ introduzida por Genrich Altshuller, na antiga URSS, carrega o acrônimo para Teoria da Solução Inventiva de Problemas (do russo *Teória Rechénia*

Izobretátelskih Zadátchi) (SARNO; KUMAR; LI, 2005). Desde o início, a abordagem diferiu dos métodos desenvolvidos no ocidente, tais como o *brainstorming*, o método morfológico e a análise de valor. De Carvalho e Hatekeyama (2003) justificam:

“Altshuller focalizou-se não no estudo do processo de solução de problemas ou nas personalidades criativas, mas, nos produtos do processo criativo: as patentes” (DE CARVALHO; HATEKEYAMA, 2003).

Dessa forma, o desenvolvimento da TRIZ por seu fundador, juntamente com seus associados, estudou uma vasta base de soluções tecnológicas, patentes e invenções (ALTSHULLER, 1984 *apud* SOUCHKOV, 2014).

Para Souchkov (2014), a TRIZ foi originada, na metade do século XX, para desenvolver um método que apoiasse o processo de geração inventiva de ideias e soluções de modo sistemático. Antes da mesma, não havia qualquer método sistemático para apoiar esse processo além do *brainstorming*, que é, basicamente, fundamentado em tentativa e erro.

O modelo hierárquico de Mann (2002) sugere que, em seu nível mais alto, a TRIZ possa ser vista como um estudo sistemático da excelência. O autor expressa essa visão por meio de uma pirâmide em quatro níveis, conforme Figura 3. Nela, a busca pela excelência é sustentada por uma filosofia, um método e um conjunto de ferramentas. Dessa forma, o uso das ferramentas integra o método, que alinhado à filosofia, atinge a excelência.



Figura 3 - Visão hierárquica da TRIZ
Fonte: Traduzido de Mann (2002)

Atualmente, existem muitos praticantes da TRIZ no mundo. Em 2015, mais de 80 associações e sociedades tornaram-se membros da associação internacional da teoria e a comunidade TRIZ estabeleceu-se em algumas multinacionais (SOUCHKOV, 2015). No entanto, nenhum ou muito pouco conhecimento da TRIZ foi transferido para outros países até a dissolução da União Soviética em 1991. (DE CARVALHO; HATEKEYAMA, 2003).

O histórico da teoria foi levantado por Souchkov (2015) em um estudo cujo foco foi demarcar os principais desenvolvimentos e eventos desde o nascimento até os recentes avanços da teoria. Essas informações foram apresentadas na Tabela 5 para facilitar compreensão e síntese dessa evolução.

Tabela 5 – Uma breve história da TRIZ em tópicos

Período	Principais acontecimentos histórico
Década de 40	1946: primeiras ideias da abordagem sistemática para criatividade técnica iniciadas por Gerinch Altshuller; Descoberta a sistemática da evolução tecnologia e o papel da eliminação das contradições no processo de soluções inventivas.
Década de 50	1956: primeira publicação oficial com fundamentos da TRIZ; 1956: introduzido o primeiro algoritmo para o processo de solução inventiva e os cinco primeiros princípios inventivos.
Década de 60	1963: o nome ARIZ foi introduzido para o algoritmo de solução inventiva; 1964: apresentada a primeira versão da Matriz para Resolução de Contradições Técnicas - ambas ferramentas passaram por constantes revisões ao longo da década; 1969: estabelecimento AZOITT e OLMI.
Década de 70	1970: introduzido a sigla TRIZ pela primeira vez em suas publicações para treinamentos; 1971: apresentação da versão do ARIZ-71, dos 40 Princípios Inventivos e da Matriz para Resolução de Contradições Técnicas com 39 parâmetros; 1974: a primeira escola de TRIZ foi fundada em Leningrado (atual São Petersburgo); 1975: introduzida uma nova abordagem para resolução de problemas pela modelamento de Su-Campo e versão ARIZ 75B; 1977: apresentado 18 Padrões Inventivos e a versão ARIZ 77; 1979: publicação do principal livro de Altshuller: Criatividade como uma Ciência Exata.
Década de 80	1982: atualização do ARIZ 82 e os Padrões Inventivos para 54; 1982: fundação da Escola Técnica de Kishinev; 1985: atualização do ARIZ 85C, a única atual versão reconhecida; 1985: atualização dos Padrões Inventivos para 76 divididos em cinco categorias que perduram até hoje;

Tabela 5 – Uma breve história da TRIZ em tópicos

Período	Principais acontecimentos histórico
Década de 80	1986: início da Teoria do Desenvolvimento da Personalidade Criativa; 1989: primeiro <i>software</i> da TRIZ: Invention Machine.
Década de 90	1991: lançamento de um novo software com um pacote de ferramentas em base TRIZ: Innovation Workbench pela Ideation International; 1996: lançamento do Online Triz Journal por Ellen Domb; 1997: registrada Associação Internacional de TRIZ; 1998: falecimento de Gerinch Altshuller.
Anos 2000	2003: novas organizações com conhecimento de TRIZ desenvolveram suas próprias variações após o falecimento de Altshuller (Ex. I-TRIZ, TRIZ+, xTRIZ, CreaTRIZ, OTSM-TRIZ); 2015: mais de 80 associações e sociedades são membros da Associação Internacional de TRIZ.

Fonte: Adaptado de Souchkov (2015)

Com o fim da TRIZ Clássica datado pelo falecimento de Altshuller em 1998, inicia-se a globalização do conhecimento da TRIZ (SOUCHKOV, 2015). Nesse contexto, a empresa Ideation International desenvolve a I-TRIZ, metodologia baseada na TRIZ Clássica e em avanços provenientes de experiências práticas e pesquisas, nos Estados Unidos. Por meio dela, estruturou-se a Determinação Antecipada de Falha (AFD) como uma aplicação com base na TRIZ para analisar, prever e eliminar falhas em produtos e processos (IDEATION, 2012).

2.3.2 Prevenção de falhas potenciais pela AFD

Para Kaplan *et al.* (2005), a AFD é uma metodologia que ajuda a revelar os potenciais modos de falhas em sistemas, processos de manufatura, produtos, entre outros, antes que os problemas apareçam com seus efeitos nocivos e indesejáveis. Para Clarke, Vishnepolschi e Zlotin (1999), essa metodologia é uma aplicação prática da I-TRIZ e um processo sistemático e estruturado que tem entre os propósitos revelar as causas de falhas e desenvolver modos simples e eficazes para eliminar os problemas associados.

Seu desenvolvimento foi intensificado com o agravamento da saúde de Altshuller, na segunda metade dos anos 80, que limitou sua habilidade de trabalhar e controlar o desenvolvimento da TRIZ. A política de reestruturação *Perestroika* da URSS, no mesmo período, permitiu que a TRIZ fosse aplicada comercialmente,

possibilitando que a Escola de Kishinev, fundada por Boris Zlotin e Alla Zusman em 1982, se especializasse em ensiná-la e aplicá-la para indústrias (IDEATION, 2012). Desse modo, as pesquisas e experiências práticas da Escola de Kishinev e da Ideation International (fundada com a migração da TRIZ para os Estados Unidos em 1992) estruturam a AFD (CLARKE; VISHNEPOLSKI; ZLOTIN, 1999).

Com as palavras de Ungvari (1999), apresenta-se o ideal da ferramenta:

“A Determinação Antecipada de Falha é baseada nos conceitos que eram chamados de “Análise de Subversão” nos antigos trabalhos da TRIZ por Altshuller, Zlotin, Zusman, e Filatov (1989) e Kaplan (1997). Esse termo refere a uma técnica base de usar TRIZ de modo reverso, ou seja, a TRIZ é usada para encontrar os modos de causar um projeto para falhar ou para subverter o propósito básico do projeto” (UNGVARI, 1999).

Dessa forma, o usuário assume um caráter subversivo no desenvolvimento do projeto e seus esforços buscam como sabotar o produto em desenvolvimento ao invés de concentrarem em identificar modos de falhas para cada componente. Segundo Ungvari (1999), com esse conhecimento de como prejudicar o projeto, o desenvolvedor sabe como fazê-lo melhor, então, as falhas não acontecem.

Para Hipple (2015), pode soar simplista que a AFD se estruture na inversão de uma pergunta básica de “O que pode falhar?” para “Como posso fazer isso falhar?”. Em suas palavras:

“Isso põe os cérebros das pessoas em diferentes quadrantes – elas são agora permitidas a serem vilãs e fazer coisas que geralmente não são permitidas – em nossa experiência com projetos tais como fraudes de bancos, contaminação alimentícia, liberação de químicos, esse processo tem produzido respostas não óbvias, aumentado significativamente as possibilidades ou melhorado respostas anteriores” (HIPPLE, 2015).

Livotov (2004) complementa que a ferramenta é utilizada para a busca de solução após identificadas as falhas potenciais:

“No método AFD as falhas são ‘inventadas’ de um modo subversivo, pelo qual é conhecido. Uma vez que a lista dos cenários de falhas inventados está completa, o problema precisa ser reinventado e as falhas precisam ser prevenidas para nunca acontecer” (LIVOTOV, 2004).

Embora esse processo de predição de falhas com base na TRIZ seja conhecido por outras nomenclaturas tais como Análise de Subversão, Análise

Subversiva, Identificação Antecipada de Falha (*Anticipatory Failure Identification* (AFI)) e Predição Antecipada de Falha (*Anticipatory Failure Prediction* (AFP)) visto que a AFD é o nome registrado pela Ideation International, sua essência é preservada. Ainda assim, quando comparadas as diferentes nomenclaturas, pequenas variações são notadas na forma da apresentação do método.

Livotov (2008) introduz a ferramenta por AFI em apenas quatro passos genéricos (inversão do problema, análise de funções, identificação de fontes de erros e recursos e reinvenção do cenário). Por sua vez, Regazzoni e Russo (2010) expõem o método como Análise de Subversão em oito passos. Já Thurnes *et al.* (2012) explanam a metodologia pela a AFP em oito passos em um modo mais condizente com a AFD.

O roteiro da Determinação Antecipada de Falha (AFD) da Ideation International prevê dez passos para predição de falha conforme proposto por Kaplan *et al.* (2005), que são:

- a. Formulação original do problema: explorar e limitar o cenário de análise. Segundo os autores, o resultado dessa etapa inclui o nome e o propósito do produto para qual se deseja encontrar todos os efeitos indesejáveis que possam ocorrer.
- b. Identificação do cenário de sucesso: definir qual é o resultado de sucesso esperado para todos os componentes do projeto do produto. Segundo Kaplan *et al.* (2005), “para compreender o cenário falho, o cenário ‘de sucesso’ ou ‘como foi planejado’ precisam ser claramente especificados”.

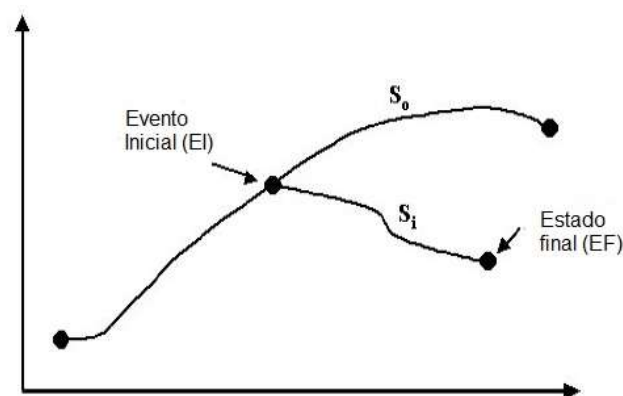


Figura 4 - Derivação de uma falha a partir do cenário de sucesso S_0
Fonte: Traduzido de Kaplan *et al.* (2005)

A AFD utiliza dos princípios da estruturação de cenários para elaborar o diagrama com os modos de falhas potenciais. A ferramenta emprega a sigla S_0 para especificar o cenário de sucesso nos diagramas de árvore de cenários. Qualquer situação falha (S_i) desviará, por meio de um evento inicial, em algum momento ao longo de S_0 , o percurso ideal de sucesso. Do novo percurso aparecerá ao menos um estado final potencial inesperado, ou seja, um modo de falha, conforme Figura 4.

- c. Formulação do problema invertido: reestruturar o problema de modo a orientar os meios que são necessários para criar todas as possíveis falhas.

Para Kaplan *et al.* (2005), enquanto que nos métodos tradicionais foca-se em identificar o que pode falhar, na AFD, a abordagem é de como fazer o produto falhar da forma mais efetiva caso o usuário queira. Ao invés de adivinhar sobre as possíveis falhas, a ferramenta estimula a produção de cenários nocivos ao produto para repensá-los. Segundo Weimar e Livotov (2001), este processo é inventivo e capaz prever mecanismos de falhas futuras.

- d. Identificação das falhas evidentes: levantar todos os modos óbvios para deteriorar o produto. Segundo Kaplan *et al.* (2005), explorar separadamente por eventos iniciais, estados nocivos finais e eventos intermediários auxilia no levantamento e estruturação da árvore de cenários.
- e. Identificação de recursos disponíveis: identificar os recursos disponíveis que possam ser úteis para criar uma falha por meio da lista de categorias de recursos, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Categorias para identificação de recursos

a. Recursos Substanciais	h. Recursos Diferenciais
b. Recursos de Campo	i. Recursos Inerentes
c. Recursos de Espaço	j. Recursos Organizacionais
d. Recursos de Tempo	l. Pequenos Distúrbios
e. Recursos de Função	m. Elementos Perigosos
f. Recursos de Sistemática	n. Equipamentos de Controle
g. Recursos de Mudança	o. Sistemas de Proteção

Fonte: Adaptado e traduzido de Kaplan *et al.* (2005)

Mann (2002) define recurso como “qualquer coisa presente no sistema que não está sendo utilizada até o seu máximo potencial”. Ungvari (2002) substitui o termo coisa e define recurso como “qualquer substância, energia ou espaço presente no sistema, em seu em torno ou no ambiente”. A busca de recursos na TRIZ exige que se observe tanto os recursos positivos quando os nocivos ao sistema.

“O solucionador de problemas da TRIZ irá mobilizar qualquer recurso do sistema ou do ambiente para auxiliar na resolução do problema. É somente quando todos os recursos foram esgotados ou são de uso impraticável que a consideração de um elemento adicional vem em discussão (UNGVARI, 2002).

Para Regazzoni e Russo (2010), “A inércia psicológica traria para os analistas considerar somente os recursos materiais ou os componentes do sistema” em uma análise por métodos tradicionais. Para Kaplan *et al.* (2005), se todos os recursos necessários para um evento inicial estiverem presentes, esse irá acontecer. Sendo assim:

“Adota-se o termo recursos para denotar qualquer substância, campo, configuração, tempo, intervalo no espaço, ou outro fator presente na situação. Para que cada falha ou contrapartida aconteça espontaneamente, todos os componentes necessários precisam estar presentes no sistema ou em seu entorno” (KAPLAN *et al.*, 2005).

Esse princípio dos Recursos refere-se à ênfase sem precedentes imposta pela TRIZ na maximização do uso de tudo que está disponível no sistema sob análise e no entorno dele.

- f. Utilização da base de conhecimento: identificar novas falhas potenciais a partir de uma lista de sugestões provenientes da base do conhecimento sobre o sistema, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Identificação de falhas potenciais por meio da base do conhecimento

a. Zonas típicas de fraqueza e perigo do sistema
b. Típicas falhas funcionais
c. Impactos nocivos típicos no sistema
d. Estágios do ciclo de vida típico do sistema tecnológico
e. Períodos típicos perigosos no funcionamento do sistema
f. Fontes típicas de grande perigo
g. Típicos distúrbios no fluxo de substâncias, energias e informação

Fonte: Adaptado e traduzido de Kaplan *et al.* (2005)

- g.** Invenção de novas soluções: aplicar o ARIZ adaptado para predição de falhas a fim de identificar outros caminhos para os cenários de falhas potenciais já identificados nas etapas anteriores conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Etapas do ARIZ adaptado para predição de falhas

a. Identificar o modo geral para produzir o efeito desejado
b. Identificar o problema secundário resultante
c. Identificar as condições ideais para realizar o efeito nocivo
d. Identificar as melhores formas conhecidas para produzir as condições ideais
e. Identificar os modos de mudança no sistema pelos métodos:
e.1. Limitações para providenciar condições ideais
e.2. Contradições: há um modo de produzir os efeitos nocivos, mas não pode ser realizado por algumas razões
e.3. De acordo com o princípio da separação, identificar como a contradição pode ser resolvida

Fonte: Adaptado e traduzido de Kaplan *et al.* (2005)

- h.** Intensificação e Camuflagem: identificar formas de como cada cenário potencial de falha pode ser intensificado ou camuflado até que se tornem apropriadamente severos.

Hipple (2006) complementa que o usar advérbios fortes nas frases (a exemplo de sempre, nunca, completamente, etc.) durante esse processo ajuda a piorar os cenários e tornar os problemas mais evidentes. Para Kaplan *et al.* (2005), as intensificações tornam o sistema mais vívido e estimulam o pensamento criativo.

- i.** Análise dos efeitos nocivos revelados: analisar e reorganizar o diagrama da árvore de cenários, de forma a facilitar entendimento.

- j. Prevenção e eliminação de falhas e efeitos nocivos: listar as soluções típicas encontradas para os modos de falhas evidentes e de baixa complexidade. Utilizar do acervo de ferramentas de base TRIZ para desenvolver e solucionar os demais casos.

Entre os objetivos principais da AFD não está somente revelar ou predizer os modos de falhas, mas eliminá-los de forma eficaz com uma demanda de tempo apropriada. Por esse motivo, prevenir e eliminar falhas identificadas compõem a etapa final do método. Nas palavras dos autores:

“O modo ideal de prevenir as falhas é eliminar as causas. Entretanto, há inúmeras causas pelas quais isso possa não ser possível – Isso pode ser muito caro, tarde, fora de suas responsabilidades, etc.” (KAPLAN *et al.*, 2005).

Qualquer que seja o caso, os autores recomendam buscar soluções a partir da solução mais ideal: eliminar a causa da falha, em seguida eliminar a falha e, em último caso, eliminar os efeitos da falha (KAPLAN *et al.*, 2005).

Localizar e prevenir falhas possíveis e futuras não é automatismo, mas um processo que requer, além de uma abordagem sistemática, muita criatividade e talento inventivo. A AFD encoraja a questionar ‘como’ as falhas podem acontecer enquanto outros métodos, tal como FMEA, focam em ‘o que’ pode falhar (THURNES *et al.*, 2012). Essa discussão entre as metodologias é desenvolvida e explorada em mais detalhes na seção seguinte.

2.4 UMA COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS AFD E FMEA

As ferramentas AFD e FMEA podem ser utilizadas durante o desenvolvimento do projeto do produto para identificação e prevenção de falhas potenciais. De acordo com Regazzoni e Russo (2010), ambas as metodologias apresentam paralelos estabelecidos entre si e a principal diferença está na orientação da AFD para uma abordagem mais proativa:

“Como consequência, sistemas projetados com essa abordagem são menos vulneráveis a falhas imprevistas. A lógica da Análise de Subversão está na determinação de todos os modos que destruam o sistema que está sendo projetado. Após essa tarefa, consegue-se mais facilmente projetar o sistema

em que aqueles modos de falhas são eliminados ou, ao menos, levados em conta quando implementar ações corretivas” (REGAZZONI; RUSSO, 2010).

Para Livotov (2008), o método com base na TRIZ (referenciado pelo autor como AFI) estrutura um processo efetivo e criativo que complementa outros métodos de prevenção de falhas e análise de risco. Conforme expõe-se na Tabela 9, isso ocorre por meio da ampliação do campo de busca e de aplicação. Em suas palavras:

“As mais importantes aplicações para esse método são as análises das falhas prévias que aconteceram sem motivo aparente assim como a predição de fontes escondidas de cenários de falhas potenciais ou danos” (LIVOTOV, 2008).

Tabela 9 – Visão geral dos métodos de prevenção de falhas e análise de riscos

Campo de busca	Campo de aplicação	Métodos para Prevenção de Falhas			
		Checklists	FTA	HAZOP/FMEA	AFI
Causas de falhas inexplicáveis e acidentes	Análise de falhas críticas e aleatórias				X
Modos de falhas por falta de experiência	Novos produtos e tecnologias		X	X	X
Modos de falhas sequenciais	Assegurar qualidade reforçada	X	X	X	X
Modos de falhas típicos	Assegurar qualidade padrão	X	X	X	X

Fonte: Traduzido de Livotov (2008)

Para Ungvari (1999), a principal diferença entre a AFD e os métodos tradicionais difundidos no ocidente, tal como FMEA é a perspectiva pela qual o sistema tem seus modos de falhas determinados.

“Nas técnicas tradicionais, o processo de predição de falha desenvolve-se linearmente da articulação das funções do sistema para o que pode ocorrer se há uma falha (ausência) na entrega dessas funções. Em outras palavras, a linha lógica da análise segue a intenção do projeto. É dada a falha potencial, o efeito da falha, a probabilidade de ocorrer e sua habilidade para ser determinada. Uma vez que esses parâmetros são quantificados, frequentemente muito subjetivamente, o cálculo do risco é feito. Se o risco determinado é inaceitavelmente alto, mudanças no projeto ou na capacidade de detecção são sugeridas” (UNGVARI, 1999).

A abordagem tradicional parece lógica, entretanto essa carrega fraquezas estruturais que podem comprometer a análise. Ungvari (1999) identifica três principais que são organizadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Fraquezas da abordagem tradicional de resolução de problemas

1. Processo de Identificação de Falhas	Essencialmente um exercício de <i>brainstorming</i> iniciado por sondagem de como o sistema pode falhar.
2. Caracterização da Falha	A abordagem define as falhas como ausência de uma função pretendida ou projetada.
3. Mecanismo de Solução	As ferramentas tradicionais não fazem disposições para solucionar os problemas de um modo inventivo.

Fonte: Adaptado de Ungvari (1999)

Na comparação com a AFD, o processo de identificação de falhas dos métodos tradicionais carrega a síndrome da Inércia Psicológica. As análises de identificação das falhas potenciais são realizadas no mesmo contexto mental em que o sistema foi criado (UNGVARI, 1999). É possível fazer uma analogia a um exemplo descrito por Mann (2002): “é como buscar diferentes tesouros simplesmente continuando a aprofundar no mesmo buraco”.

Para Proseanic, Tananko e Visnepolschi (2000), a metodologia AFD é capaz de superar essa inércia psicológica e, portanto, capaz de fornecer apoio necessário para identificação de entraves de produtos. O uso de métodos tradicionais, tais como a FMEA, depara-se com deficiência de informação e, conseqüentemente, esconde as soluções para os problemas. Livotov (2008) reitera que a AFD previne “bloqueios mentais” e motiva o usuário a encontrar soluções inventivas.

Na Tabela 10, sobre o segundo ponto de fraqueza, Ungvari (1999) afirma que as caracterizações de falhas não podem ser somente analisadas na perspectiva de ausência da função, mas também incluídas as condições insuficientes e excessivas da função. Ainda, as funções “proibidas” ou mal-intencionadas não consideradas como origem de falhas potenciais nos métodos tradicionais, levando a análise de acordo com o propósito original do projeto. Por fim, com o terceiro ponto, os mecanismos de solução propostos nas ferramentas tradicionais não focam na solução da causa raiz. Se o sistema avaliado está muito perigoso, correções são sugeridas com reengenharia e inserção de sistemas de segurança, barreiras ou melhoria de detecção (UNGVARI, 1999).

Ungvari (1999) afirma que essas deficiências apontadas foram superadas durante a elaboração da metodologia AFD. A identificação de falhas ocorre da forma inversa das utilizadas nos processos convencionais carregando o poder da

ferramenta. Essa perspectiva permite explorar por completo as fraquezas do sistema transformando o usuário para um modo ofensivo nas buscas de falhas.

Toda essa discussão acerca do potencial das metodologias para desenvolvimento de produto foi apresentada no âmbito da comparação teórica. Os autores revisaram e compararam as metodologias com base nas etapas previstas pelos guias e normas e nas expectativas de resultados dos métodos. Na revisão bibliográfica, não foram encontradas referências na literatura de trabalhos comparativos de casos práticos ou percepções dos usuários embasadas em aplicações similares.

Essa oportunidade orientou o desenvolvimento da metodologia do trabalho voltada para uma avaliação prática da AFD em relação a FMEA, conforme exposto no capítulo 3. O trabalho com alunos de engenharia possibilita essa comparação e discussão em exercício das ferramentas. Muito comum nas pesquisas de desenvolvimento de produto, inclusive para validações de métodos, a aplicação com alunos, ao invés de profissionais formados, é discutida na seção seguinte.

2.5 O USO DE GRADUANDOS EM PESQUISA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

No campo do desenvolvimento de projeto (*design process*), estudos experimentais são, frequentemente, feitos com pessoas. No entanto, os resultados derivados dessas pesquisas ficam sensíveis ao nível cognitivo dos participantes, já que o *design* é, essencialmente, criativo (YUAN *et al.*, 2014). Assim, muito discute-se acerca da tendência de envolver alunos de engenharia e seus impactos nos experimentos de pesquisa de PDP.

Para YUAN *et al.* (2014), os estudantes “agem como uma fonte conveniente, já que eles estão facilmente disponíveis nas universidades e podem ser considerados relevantes para a área de estudo de seus cursos de graduação”. Entretanto, quando comparados à profissionais da indústria ou especialistas, os alunos são mais suscetíveis a ter uma menor habilidade cognitiva na área de interesse dado que possuem experiências de treinamento e prática mais limitadas. Logo, os resultados gerados podem ser muito diferentes daqueles dos profissionais e diversos autores levantam essa questão (YUAN *et al.*, 2014).

Ball, Ormerod e Morley (2004) estudaram as analogias espontâneas de novatos e especialistas na engenharia de projeto (*design engineering*) durante o projeto conceitual. Para os autores, essas analogias exercem um grande papel no processo criativo de cognição e no desenvolvimento de especialidades. Portanto, comparar esses raciocínios experimentalmente ajudaria a entender as particularidades entre os dois grupos de participantes.

Dessa forma, Ball, Ormerod e Morley (2004) dividiram as analogias em duas: direcionadas a esquema (*schema-driven*) e direcionadas ao caso (*case-driven*). Na primeira, o termo denota o conhecimento estruturado, desenvolvido através do domínio extensivo e experimentado, podendo funcionar automaticamente em reconhecer padrões de problemas a fim de obter a adequada solução. Em contraste, as analogias direcionadas ao caso objetivam capturar a ideia de que a solução dos problemas pode ser mapeada no problema atual, sendo um processo mais aplicado e de conteúdo específico.

O estudo de Ball, Ormerod e Morley (2004) utilizou engenheiros com ampla experiência em projetos como especialistas e, como novatos, alunos de mestrado com experiência apenas acadêmica. O estudo concluiu que ambos grupos apresentaram analogias espontâneas como papel criativo na resolução de problemas, entretanto com distintas prevalências. Os especialistas foram mais direcionados ao esquema, enquanto os novatos, ao caso. Essa diferença tende a colocar os especialistas no automático, buscando padrões de soluções, em detrimento de focar nas informações do caso específico, como prevalece com os novatos (BALL; ORMEROD; MORLEY, 2004).

Para critérios adequados de comparação, o raciocínio prevalente dos participantes durante as aplicações de FMEA e AFD não pode influenciar em suas avaliações. O uso de especialistas dificilmente atenderia esse ponto visto que a FMEA é um processo amplamente conhecido na área, ao contrário da AFD. Dessa forma, os envolvidos tenderiam a utilizar mais esquemas durante a prática da FMEA enquanto que, na AFD, centralizariam mais especificamente ao caso. Essa particularidade, evidenciada no estudo de Ball, Ormerod e Morley (2004), reforça o envolvimento de alunos, dado que, pela falta de experiência, os processos cognitivos seriam similares na prática de ambas ferramentas.

Para Watkins, Spencer e Hammer (2014), pesquisas com jovens projetistas (*young designers*) têm focado, simplesmente, em aspectos mensuráveis de seus

comportamentos, tais como tempo de resolução do problema ou quantidade de critérios utilizados. Segundo os autores, esses pontos contrastam com as complexidades e os nuances do desenvolvimento de produto. Dessa forma, argumentam que as pesquisas comparativas não deveriam focar simplesmente nas quantidades como critérios de comparação entre especialistas e novatos.

“Contar o número de critérios mencionados não captura como os estudantes conectam as informações mencionadas com o contexto geral do problema que estão projetando” (WATKINS; SPENCER; HAMMER, 2014).

De acordo Watkins, Spencer e Hammer (2014), a utilização de critérios isolados representa uma análise simplista dos potenciais dos alunos. Precisa-se “considerar não apenas se os estudantes nomearam um critério particular ou ponderaram considerações diferentes, mas também se os estudantes estão fazendo aquelas coisas que fazem parte do processo de atingir a solução do projeto”. Portanto, os autores utilizaram alunos primários como objeto da pesquisa e evidenciaram que os processos utilizados no desenvolvimento do escopo de projeto são os mesmos usados por especialistas.

As conclusões dos estudos de Atman *et al.* (2007) embasam os argumentos de Watkins, Spencer e Hammer (2014). As principais diferenças entre os especialistas e novatos estão na forma como coletam informação e na exploração do escopo de projeto. Os especialistas gastam mais tempo na tarefa como um todo e em cada estágio individual do processo (*design engineering*). Ainda, comprometem-se nas mesmas atividades que os novatos, no entanto, de forma mais substancial (ATMAN *et al.*, 2007).

O conhecimento prévio é fundamental para os projetistas elaborarem, processarem e representarem as soluções de projeto. Logo, os especialistas são mais práticos, estruturados e têm mais controle do desenvolvimento. Entretanto, os novatos tendem a considerar maiores espaços de solução (YUAN *et al.*, 2014). Para YUAN *et al.* (2014):

“O uso de estudantes como participantes é suficiente para validar pesquisas no campo de métodos criativos e processos. Os métodos que forem benéficos para os estudantes serão benéficos para os especialistas embora os graus de benefícios não sejam necessariamente os mesmos” (YUAN *et al.*, 2014).

Outros trabalhos avançam em discussões mais específicas dos perfis. YUAN *et al.*, (2014) realizaram uma extensa revisão bibliográfica desses assuntos e compararam doze atributos para novatos e especialistas no processo cognitivo de projeto. As conclusões, além do que já foi citado, embasam o uso de graduandos no escopo deste trabalho, já que eles “olham para o contexto do problema extensivamente baseado nas especificidades do problema e geram soluções baseadas no intra-domínio”.

3 METODOLOGIA

Nas pesquisas de engenharia, segundo Borrego, Douglas e Amelink (2009), nenhum método deve ser privilegiado em detrimento de outro. Para os autores, a escolha do tipo da metodologia deve ser orientada pelos questionamentos da pesquisa. Portanto, neste trabalho, optou-se por utilizar de um método misto, ou seja, abrangendo coletas e análises de dados quantitativos e qualitativos, a fim de aprofundar-se nas conclusões por meio do uso concomitante dos métodos.

Dessa forma, define-se o método misto nas palavras de Creswell *et al.* (2003):

“Uma pesquisa com método misto envolve a coleta ou análise de dados quantitativos e qualitativos em um único estudo no qual os dados são coletados, concorrentemente ou sequencialmente, e priorizados envolvendo a integração dos dados em um ou mais estágios do processo de pesquisa” (CRESWELL *et al.*, 2003).

Baseado no processo de coleta de dados, priorização relativa dos dados e estágios de integração, os autores Creswell e Clark (2007) identificaram quatro tipos básico de métodos mistos. Neste trabalho, utilizou-se da triangulação, que é caracterizada pela coleta de dados quantitativos e qualitativos simultaneamente, pesos relativos iguais para cada formato de dados e integração durante as interpretações das análises. Para os autores, “os dados são coletados concorrentemente em uma fase e as interpretações envolvem comparações dos resultados para melhor entendimento das questões da pesquisa”.

Para obtenção dos objetivos propostos, o procedimento metodológico deste trabalho dividiu-se em três etapas: planejamento do minicurso, coleta de dados e análise de resultados. Dessa forma, os papéis assumidos pelo pesquisador em cada uma dessas etapas foram, respectivamente, especialista, facilitador e analisador, conforme as três seções deste capítulo.

3.1 PLANEJAMENTO DO MINICURSO

Nesta fase, estruturou-se o planejamento do minicurso de FMEA e AFD a ser realizado com alunos de engenharia a fim de proporcionar a coleta de dados da pesquisa. Esse processo englobou os seguintes pontos:

- a. Escopo e formato do minicurso: delinear o conteúdo e a forma como que os treinamentos ocorreriam.
- b. Material teórico do minicurso: elaborar apresentação do conteúdo em formato multimídia para ministrar aos alunos participantes dos minicursos.
- c. Casos práticos do minicurso: desenvolver os casos práticos para aplicações da AFD e FMEA durante as sessões práticas do minicurso bem como os formulários de apoio e materiais guias.
- d. Formulários de avaliação: elaborar o conjunto de formulários a ser aplicado aos alunos no término de cada sessão.
- e. Representação e amostragem dos participantes: determinar o perfil dos alunos requerido para o minicurso e a quantidade de participantes com base na precisão da estimativa e nível de confiança.
- f. Cronograma: definir as datas dos minicursos com as universidades participantes.

Nesta etapa, o conhecimento técnico acerca das metodologias exigiu do pesquisador o caráter especialista para a condução do método. Ao término do planejamento do minicurso, iniciou-se a coleta de dados com a execução do cronograma proposto. Esse processo é estruturado e apresentado na seção conseguinte.

3.2 COLETA DE DADOS

Nesta etapa, coletou-se os dados da pesquisa durante as sessões dos minicursos. Os alunos participantes preencheram os formulários de apoio e de avaliação e os entregaram ao facilitador ao longo das atividades. Essas informações foram compiladas e arquivadas para análise e discussão posteriores.

Os formulários (Apêndice C) são compostos dos diferentes formatos de dados: amostrais, qualitativos, quantitativos, categóricos e resultados práticos. Para cada formato, apresentou-se a aplicação e o padrão de coleta utilizado na pesquisa:

- a. Dados amostrais: denomina-se, nessa pesquisa, as informações que caracterizam os alunos e as composições das sessões do minicurso. São usadas perguntas abertas e pessoais.
- b. Dados qualitativos: aplica-se às avaliações qualitativas, opiniões e comentários dos participantes. São utilizadas perguntas abertas e descritivas.
- c. Dados quantitativos: aplica-se às avaliações quantitativas dadas pelos participantes. É utilizada a escala numérica de valores discretos de 0 a 5.
- d. Dados categóricos: define-se, nesse trabalho, as respostas em formato teste que envolve mais de duas alternativas (Laboratório de Epidemiologia e Estatística, [1996a]). É utilizado o formato de questão de múltipla escolha para o preenchimento.
- e. Resultados práticos: caracteriza-se às entregas realizadas pelos participantes nas atividades práticas. São utilizados os formatos abertos e descritivos.

O pesquisador, nesta etapa, ministrou o minicurso e auxiliou a coleta de dados conforme o planejamento da atividade, na posição de aplicador. Os diferentes formatos de dados possibilitaram análises diversificadas e complementares. Os processos utilizados para conduzi-las encontram-se expostos na próxima sessão.

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Nesta última fase, apresentou-se as análises pertinentes aos dados coletados na pesquisa. Essas visaram suportar as discussões e considerações acerca dos questionamentos levantados previamente no trabalho. Dessa forma, utilizou-se os seguintes processos para o compor o conjunto de análises:

- a. Análise de variância (ANOVA): aplica-se, nesta pesquisa, às amostras quantitativas a fim de testar hipótese entre turmas ou estratos de estudantes. Na prática, espera-se identificar se os dados de diferentes sessões de minicurso relacionam-se entre si.

- b. Análise exploratória: examina-se, neste trabalho, as respostas qualitativas para formulação de uma síntese. Dessa forma, deseja-se compreender e organizar o conjunto de informações qualitativas para responder aos questionamentos levantados.
- c. Análise estatística: aplica-se, nesta pesquisa, aos dados categóricos e quantitativos coletados. Dessa forma, evidencia-se como estão distribuídas e avaliadas as respostas gerais e por sessões do minicurso.
- d. Análise comparativa: utiliza-se as comparações dos dados e resultados práticos das diferentes metodologias para estabelecer relações e conclusões entre si.

Os resultados das análises exploratória e estatística para a AFD e FMEA formam a base para a análise comparativa dos dados coletados pelos formulários de avaliação. A análise exploratória fornece a síntese para ambas ferramentas em termos das principais anotações durante avaliações abertas e descritivas. Dessa forma, verifica-se como esses dados relacionam-se para cada ferramenta e entre elas.

Para os resultados práticos das aplicações de AFD e FMEA, estabeleceu-se dois indicadores para análise comparativa: quantidade de falhas potenciais identificadas e quantidade de causas identificadas. Dessa forma, averigua-se o desempenho de ambas ferramentas com base nas entregas dos alunos participantes. Ainda, a exposição dos resultados práticos reforça as anotações qualitativas presente na análise exploratória.

Nesta última etapa, o pesquisador assumiu o papel de analisador, concentrando-se em organizar, sintetizar e concluir acerca dos questionamentos por meio das análises dos dados. Embora integrem diferentes métodos de interpretação dos dados, todos os resultados e discussões estão expostos no capítulo 4. Ao término, apresentam-se as conclusões do trabalho no capítulo 5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresenta-se e discute-se os resultados obtidos conforme as seções da metodologia do trabalho. Destina-se a primeira seção à estrutura definida para o minicurso, seguida da exposição dos dados coletados na seção seguinte e, na terceira seção, dos resultados das análises comparativas.

4.1 MINICURSO DE FMEA E AFD

Para a coleta de dados desse trabalho, foi desenvolvido o minicurso “Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) e Determinação Antecipada de Falha (AFD) para Desenvolvimento de Produto”, direcionado a graduandos de engenharia. No escopo do treinamento, foi incluída uma abordagem introdutória acerca de desenvolvimento de produto, seguida da explanação da metodologia FMEA e, por último, da AFD, intercaladas aos exercícios de aplicação prática em grupos.

O formato do minicurso, portanto, consiste em um modelo teórico-prático com 8 horas de duração, conforme planejamento apresentado na Tabela 11. As inscrições foram limitadas a 25 alunos participantes e exigiam no mínimo graduandos cursando o sexto período, ou seja, priorizando-se as inscrições dos alunos mais avançados no curso de graduação. O material expositivo para as sessões de minicurso foi desenvolvido em formato multimídia (*slides*) no Microsoft PowerPoint. A apresentação na íntegra encontra-se Apêndice A deste trabalho (algumas informações estão sobrepostas devido aos efeitos de transição utilizados na apresentação pois os *slides* foram replicados sem nenhuma alteração para a seção).

Tabela 11 – Planejamento do minicurso em tópicos e durações estimadas

Tópico	Duração estimada
Introdução	30 min
Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA)	120 min
Caso Prático I: Aplicação da FMEA	90 min
Determinação Antecipada de Falha (AFD)	120 min
Caso Prático II: Aplicação da AFD	90 min
Discussão dos métodos	30 min
Abertura para dúvidas	Extra

Para as seções práticas de FMEA e AFD, cinco projetos de produtos foram selecionados para as atividades em grupos: uma frigideira, um caderno, uma tesoura escolar, um par de óculos e uma vassoura vegetal. Esses produtos foram escolhidos de forma a expressar em comum poucos componentes, baixa complexidade e, por se tratar de utensílios do cotidiano, familiaridade para os alunos participantes. Os grupos receberam casos alternados e diferentes para cada aplicação, cujos detalhes e orientações gerais estão apresentados no Apêndice B.

Formulários de viés técnicos, embasados pelas metodologias de Instituto da Qualidade Automotiva (2008) e Kaplan *et al.* (2005), foram desenvolvidos para amparar e complementar as atividades práticas dos métodos FMEA e AFD, respectivamente. Ao todo, foram elaborados seis formulários de apoio, conforme descritos na Tabela 12 e apresentados no Apêndice C.

Tabela 12 – Formulários de apoio para os casos práticos do minicurso

Formulário	Descrição
I. Guia DFMEA	Formulário com as instruções passo a passo para cada etapa da FMEA
II. Formulário DFMEA	Utilizado para realizar e registrar os resultados da aplicação prática da FMEA para desenvolvimento de produto
III. Complemento DFMEA: Tabela para critérios	Conjunto de tabelas utilizadas para classificação dos fatores de risco Severidade, Ocorrência e Detecção
IV. Guia AFD	Formulário com as instruções passo a passo para cada etapa da AFD
V. Formulário AFD	Utilizado para realizar e registrar os resultados da aplicação prática da AFD para desenvolvimento de produto
VI. Complemento AFD: <i>Checklist</i>	Instruções complementar para as duas etapas do processo de AFD

Fonte: Autoria própria

Norteados pelos questionamentos desta pesquisa, formulários de avaliações foram desenvolvidos para aplicação ao longo do minicurso com os alunos participantes. Eles destinaram-se ao encerramento de cada seção a fim de registrar as conclusões dos participantes, conforme descritos na Tabela 13 e apresentados no Apêndice D. O conjunto de respostas formou a base de dados (qualitativos e quantitativos) para análise e discussões posteriores neste trabalho.

Tabela 13 – Formulários de avaliação do minicurso

Formulário	Descrição
I. Apresentação e expectativa	Utilizado ao término da seção de introdução ao desenvolvimento de produto para registro dos dados amostrais dos estudantes. Obtém informações como período acadêmico, familiaridade com as metodologias FMEA e AFD, vivência de estágio, entre outras.
II. Avaliação FMEA	Formulário aplicado após a conclusão da seção de FMEA (teórica e prática). Avalia-se a efetividade do treinamento, facilitação e material didático.
III. Avaliação AFD	Formulário aplicado após a conclusão da seção de AFD (teórica e prática). Avalia-se a efetividade do treinamento, facilitação e material didático.
IV. Comparação FMEA e AFD	Aplica-se o formulário para fechamento do minicurso e discussão das ferramentas FMEA e AFD com os alunos. Avalia-se a robustez, facilidade e eficácia na identificação de modos de falhas, assim como considerações de recomendações de uso.

Fonte: Autoria própria

Coube também a etapa de planejamento do minicurso a definição da representatividade dos alunos participantes da pesquisa. Como discutido na seção 2.5, o uso de novatos para experimentos de desenvolvimento de projeto (*design*) é suficiente para validações de pesquisas de métodos criativos visto que os métodos que lhes forem benéficos, também serão aos profissionais, embora não necessariamente no mesmo grau. Ainda, Yuan *et al.* (2014) concluem que os engenheiros profissionais tendem a centralizar as inspirações para a resolução de problemas em seus cenários e experiências anteriores, o que, para o escopo dessa pesquisa, pode atrapalhar na imparcialidade da avaliação dos métodos.

Os trabalhos de Atman *et al.* (2008), Douglas *et al.* (2015) e de Song *et al.* (2016) expõem evoluções em termos de profundidade e qualidade entre os resultados de alunos avançados e de alunos novatos para atividades de engenharia de desenvolvimento de projeto. O perfil requerido nas inscrições dos minicursos foi de graduandos de engenharia (mecânica ou de produção) que estivessem cursando a partir do sexto semestre, ou seja, após a metade do curso (*upper division*). Dessa forma, buscou orientar a seleção de alunos mais maduros em seus cursos de graduação, para obter resultados mais consistentes.

Para o planejamento da quantidade de alunos participantes da pesquisa, foram realizados cálculos para definir o tamanho da amostragem. A definição levou em consideração o tipo de resposta desejada, a precisão absoluta e o nível de significância requeridos e a viabilidade de execução. Por meio do Laboratório de Epidemiologia e Estatística ([1996b]), utilizou-se o simulador para cálculos de tamanho da amostra cujos resultados estão expostos na Tabela 14.

Tabela 14 – Considerações e resultados para tamanho de amostra

Tipo de resposta		Categórica			
Proporção da população		50%			
Simulação 1		Simulação 2		Simulação 3	
Precisão absoluta	10%	Precisão absoluta	5%	Precisão absoluta	3%
Nível de significância	5%	Nível de significância	5%	Nível de significância	5%
Tamanho da amostra	96	Tamanho da amostra	384	Tamanho da amostra	1067

Fonte: Autoria própria

Este trabalho utilizou o tratamento estatístico para seleção do tamanho das amostras a fim de apoiar a análise quantitativa dos formulários. De acordo com Laboratório de Epidemiologia e Estatística ([1996a]), as respostas aos principais questionamentos dessa pesquisa, conforme formulário de avaliação IV, serão do tipo categórica pois “envolvem mais de duas respostas possíveis, alternativas mutuamente exclusivas”.

Observa-se nas simulações na Tabela 14 que o tamanho da amostra, ou seja, o número de estudantes necessários, aumenta significativamente na medida em que a precisão absoluta diminui. Segundo Lwanga e Lemeshow (1991) *apud* Laboratório de Epidemiologia e Estatística ([1996c]), a precisão absoluta “indica o quanto a estimativa deve se distanciar da verdadeira proporção e é dada pela diferença entre a proporção da população e a que se pretende estimar e pode ser expressa em pontos percentuais”.

Entretanto, o aumento significativo do tamanho da amostra implica na aplicação de muitas sessões de minicurso, visto que o planejamento da atividade se limita a 25 vagas por turma, dificultando e inviabilizando a atividade. Dessa forma, define-se como 96 o tamanho da amostra mínimo, pois mantém-se um nível padrão de significância (5%) utilizado em pesquisa estatísticas e uma margem de erro moderada. Ainda, essa amostra garante a viabilidade do planejamento de execução

dos minicursos em tempo hábil e fica acima da média das pesquisas com alunos de graduação revisadas na literatura (16, 74, 51, 21, 50, respectivamente, nos trabalhos de Ball, Ormerod e Morley (2004), Atman *et al.* (2008), Ochlberg e Agogino (2011), Douglas *et al.* (2015) e Song *et al.* (2016)).

Conforme o formato proposto para o minicurso, foi necessário elaborar o cronograma das sessões a fim de atender a participação estipulada na amostra. Embora aplicável a diversos contextos, limitou-se a seleção aos cursos de graduação de Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção pois estão diretamente relacionados ao programa e área de concentração do trabalho. Dessa forma, realizou-se o contato com as universidades que dispõem de tais cursos na cidade de Curitiba para a apresentação da atividade.

A priorização do agendamento aconteceu pela ordem de demonstração de interesse em formalizar a atividade com os alunos da instituição até atingir a quantidade da amostra mínima (96). As universidades e cursos de graduação participantes assim como as datas de realização estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Cronograma da realização dos minicursos

Universidade	Curso	Data de realização
UFPR	Engenharia Mecânica	9 e 8 de agosto de 2016
UTFPR	Engenharia Mecânica	20 de agosto de 2016
UP	Engenharia Produção	27 de agosto de 2016
UP	Engenharia Mecânica	28 de setembro de 2016
UTP	Engenharia Mecânica	8 de outubro de 2016
UniBrasil	Engenharia Mecânica	20 e 21 de outubro de 2016

Fonte: Autoria própria

Com o término do planejamento do minicurso, priorizou-se a coleta e a tabulação dos dados da pesquisa, conforme definido na segunda etapa da metodologia (capítulo 3). Os resultados dessa fase foram apresentados e discutidos na seção seguinte deste capítulo.

4.2 TABULAÇÃO DOS DADOS DA PESQUISA

Em concordância com o planejamento do minicurso (Tabela 11), as sessões de treinamento iniciaram-se com uma introdução focada em desenvolvimento de

produto. Ao término dessa abertura, foi solicitado aos participantes o preenchimento do primeiro formulário para a coleta dos dados amostrais, conforme exposto na Tabela 13. Assim, com o formulário I. Avaliação e expectativa, buscou-se identificar os dados pessoais, a familiaridade com as ferramentas FMEA e AFD e as expectativas dos estudantes envolvidos no evento conforme apresentado no Apêndice D.

As sessões foram realizadas de acordo com o cronograma planejado e contabilizaram, ao todo, 105 graduandos participantes. Com isso, tabulou-se os dados amostrais desse formulário para as discussões que se seguem e análises da seção seguinte deste capítulo conforme expostos na Tabela 16.

Tabela 16 – Composição acadêmica dos alunos participantes

Sessão	Universidade	Quantidade	Período Acadêmico				
			6º	7º	8º	9º	10º
Turma 1	UFPR	17 alunos	5	1	4	0	7
Turma 2	UTFPR	22 alunos	7	3	7	0	5
Turma 3	UP	19 alunos	17	2	0	0	0
Turma 4	UP	25 alunos	1	1	10	3	10
Turma 5	UTP	11 alunos	10	0	0	0	1
Turma 6	UniBrasil	11 alunos	11	0	0	0	0
Total			51	7	21	3	23

Fonte: Autoria própria

Mesmo priorizando as inscrições para alunos mais avançados no curso de graduação, houve uma concentração maior do número de participantes do sexto período, conforme Tabela 16. Essa ocorrência deu-se pelo fato de que algumas universidades não têm alunos além desse período acadêmico ou quórum muito pequeno, como foram os casos da UTP e UniBrasil, respectivamente. Na turma 3, embora tenha-se divulgado para todos os alunos a partir do 6º período do curso de engenharia de produção, as inscrições ocorreram quase em sua totalidade por alunos desse semestre. Esse resultado foi motivado pelo professor da disciplina de Desenvolvimento de Produto da Universidade Positivo.

O formulário I. Apresentação e expectativa, buscou-se avaliar a vivência dos participantes na indústria. Perguntados sobre a realização de estágio, 56% dos participantes já atuaram ou atuam em indústrias em paralelo ao curso de graduação conforme Figura 5. Desses, 28% atuaram ou atuam nas áreas de projeto ou

desenvolvimento de produtos aproximando, ainda mais o perfil do aluno ao do profissional no mercado.

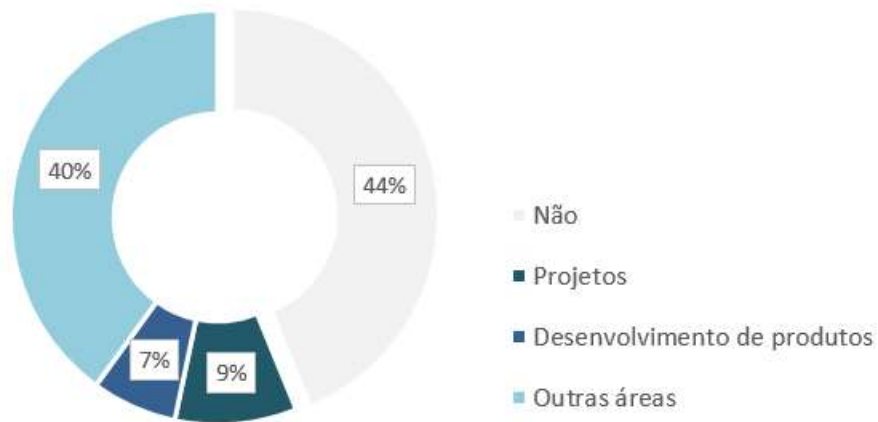


Figura 5 – Realização de estágio pelos participantes do minicurso
Fonte: Autoria própria

A familiaridade prévia dos estudantes com as ferramentas FMEA e AFD foi avaliada pela coleta de dados quantitativos e qualitativos no mesmo formulário. Os estudantes classificaram seus conhecimentos para ambas as metodologias na escala numérica de zero a cinco, respectivamente para os valores nulo e máximo da escala e, em seguida, comentaram suas experiências na aplicação das ferramentas.

Foi constatado que apenas 23% dos participantes afirmaram já ter aplicado ou participado de uma aplicação de FMEA ou AFD. Esse pouco contato com as ferramentas foi reforçado pelas propriedades estatísticas média e moda obtidas a partir das respostas dos participantes, conforme Tabela 17. Esse resultado é positivo e fortalece os critérios de comparação do trabalho, conforme discutidos na seção 2.5

Tabela 17 – Conhecimento prévio em FMEA e AFD dos participantes

Sessão	Universidade	Conhecimento de FMEA (0 a 5)		Conhecimento de AFD (0 a 5)		Aplicou/utilizou FMEA ou AFD	
		Média	Moda	Média	Moda	Sim	Não
Turma 1	UFPR	1,3	0,0	0,0	0,0	17,6%	82,4%
Turma 2	UTFPR	1,0	0,0	0,0	0,0	22,7%	77,3%
Turma 3	UP	0,9	0,0	0,2	0,0	15,8%	84,2%
Turma 4	UP	1,5	2,0	0,5	0,0	40,0%	60,0%
Turma 5	UTP	1,3	0,0	0,9	0,0	27,3%	72,7%
Turma 6	UniBrasil	0,8	0,0	0,6	0,0	0%	100%

Fonte: Autoria própria

De modo geral, em ambas as metodologias, destacou-se as principais respostas (moda) como sendo o conhecimento nulo (0,0) e médias de baixo ou nenhum conhecimento. As respostas quantitativas que compuseram essa tabulação foram organizadas por completo conforme Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Avaliação do conhecimento prévio dos participantes em FMEA (0 a 5)

Turma 1	Turma 2	Turma 3	Turma 4	Turma 5	Turma 6
UFPR	UTFPR	UP P	UP M	UTP	UniBrasil
3	0	0	1	4	3
0	4	0	1	0	1
0	0	2	2	1	0
0	2	1	0	3	1
3	0	0	1	1	2
0	0	0	0	0	1
1	2	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0
3	0	0	3	2	1
2	0	1	2	1	0
3	3	2	0	2	0
2	0	3	2	-	-
0	0	2	2	-	-
0	3	0	3	-	-
2	0	1	2	-	-
1	0	3	2	-	-
2	0	0	0	-	-
-	3	0	1	-	-
-	1	2	1	-	-
-	0	-	3	-	-
-	0	-	3	-	-
-	2	-	4	-	-
-	-	-	1	-	-
-	-	-	2	-	-
-	-	-	2	-	-

Fonte: Autoria própria

Tabela 19 – Avaliação do conhecimento prévio dos participantes em AFD (0 a 5)

Turma 1	Turma 2	Turma 3	Turma 4	Turma 5	Turma 6
UFPR	UTFPR	UP P	UP M	UTP	UniBrasil
0	0	0	1	2	0
0	0	0	1	0	2
0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	2	1
0	0	0	0	2	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	1
0	0	2	1	1	0
0	0	0	0	-	-
0	0	0	0	-	-
0	1	0	3	-	-
0	0	0	2	-	-
0	0	0	1	-	-
0	0	0	0	-	-
-	0	0	0	-	-
-	0	0	0	-	-
-	0	-	0	-	-
-	0	-	2	-	-
-	0	-	0	-	-
-	-	-	0	-	-
-	-	-	0	-	-
-	-	-	0	-	-

Fonte: Autoria própria

Cerca de 63% e 29% dos alunos complementaram suas avaliações quantitativas (0 a 5) com comentários sobre os conhecimentos prévios de FMEA e AFD, respectivamente. Para FMEA, as principais anotações centralizaram em informar algum conhecimento por conta do estágio ou trabalho (24%), contato em alguma disciplina da graduação (21%) ou afirmações de desconhecimento da ferramenta (18%). Por conta da grande maioria das respostas serem sido de conhecimento nulo para o conhecimento prévio de AFD, apenas cerca de 30% dos alunos complementaram suas respostas. Desses, 32% das avaliações afirmaram desconhecer a ferramenta e 25% terem tido contato apenas na universidade em alguma disciplina relacionada ao PDP.

Por fim, o primeiro formulário de avaliação levantou as expectativas e motivações dos estudantes em participar do minicurso. As respostas foram lidas e agrupadas por assuntos para as constatações quantitativas e considerações. Dessa forma, segundo os alunos, cerca de 65% afirmaram querer conhecer e aprender as metodologias como principal expectativa do minicurso, ressaltando e confirmando o perfil geral dos participantes de desconhecimento dos métodos. Outros 28% esperavam aprimorar o conhecimento prévio e cerca de 7% não responderam.

As motivações para as expectativas foram bastante diversas. Apesar de cerca de 30% não ter evidenciado a motivação em sua resposta, o restante dos participantes teve seus comentários agrupados em 5 principais grupos: oportunidade de ampliar o conhecimento (19%), por serem ferramentas bem conhecidas (9,5%), desenvolver um diferencial no histórico profissional (9,5%), aplicar no atual trabalho (9,5%) e por terem sido recomendados a fazer (7%).

Os dados conseguintes, de acordo com o planejamento do minicurso, foram coletados após a conclusão da seção de FMEA com o término da aplicação prática. Recolheu-se os formulários de apoio II. Formulário DFMEA, local onde os grupos registraram os resultados da aplicação prática, para as análises comparativas da seção seguinte deste capítulo e os formulários de avaliação II. Avaliação FMEA, conforme expostos no Apêndice D.

Conforme apresentado na Tabela 20, constatou-se que todas as turmas avaliaram acima da média a efetividade do minicurso para a capacitação em FMEA para a resolução do caso prático, a qualificação do ministrante para transmissão de informação e facilitação durante minicurso e o material didático utilizado.

Tabela 20 – Tabulação síntese do formulário de avaliação II. Avaliação FMEA

Sessão	Universidade	Efetividade do minicurso (0 a 5)		Qualificação do Ministrante (0 a 5)		Material didático (0 a 5)	
		Média	Moda	Média	Moda	Média	Moda
Turma 1	UFPR	4,0	4,0	4,7	5,0	4,5	4,0
Turma 2	UTFPR	4,2	4,0	4,8	5,0	4,6	5,0
Turma 3	UP	4,6	5,0	4,8	5,0	4,6	5,0
Turma 4	UP	4,5	5,0	4,8	5,0	4,8	5,0
Turma 5	UTP	4,2	4,0	5,0	5,0	4,5	5,0
Turma 6	UniBrasil	4,3	4,0	4,9	5,0	4,4	5,0

Fonte: A autoria própria

De modo geral, em todas as sessões de FMEA, os três questionamentos foram bem avaliados. A efetividade do minicurso para a realização do caso prático teve uma média geral de 4,3 entre os participantes, a avaliação do ministrante para FMEA 4,8 e a qualidade do material didático 4,6. Os dados quantitativos das avaliações foram organizados nas Tabelas 21, em que é possível observar todas repostas por cada turma.

Tabela 21 – Tabulação dos dados do formulário de avaliação II. Avaliação FMEA

Turma 1 UFPR	Efetividade do minicurso	4 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 4 - 4 - 5 - 4 - 5 - 3 - 4 - 4 - 3 - 3 - 2
	Ministrante e facilitação	4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 4
	Material didático	4 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 4 - 4 - 5 - 4 - 4 - 5 - 4
Turma 2 UTFPR	Efetividade do minicurso	5 - 4 - 5 - 3 - 3 - 4 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 3 - 4 - 4 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 4 - 4 - 4
	Ministrante e facilitação	5 - 4 - 5 - 4 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 5 - 5 - 5
	Material didático	5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 4 - 4 - 5
Turma 3 UP	Efetividade do minicurso	4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 4 - 4
	Ministrante e facilitação	5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 4
	Material didático	5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 3 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5
Turma 4 UP	Efetividade do minicurso	4 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 3 - 4 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5
	Ministrante e facilitação	5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5
	Material didático	5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 4 - 5 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5
Turma 5 UTP	Efetividade do minicurso	4 - 4 - 5 - 4 - 3 - 5 - 5 - 4 - 4 - 4 - 4
	Ministrante e facilitação	5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5
	Material didático	4 - 3 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4
Turma 6 UniBrasil	Efetividade do minicurso	4 - 4 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 4 - 4
	Ministrante e facilitação	4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5
	Material didático	4 - 4 - 3 - 4 - 5 - 5 - 3 - 5 - 5 - 5 - 5

Fonte: Autoria própria

Essas avaliações puderam ser complementadas com comentários abertos, que foram lidos e agrupados por assuntos para elaboração de constatações. Cerca de 64% dos alunos complementaram, com alguma anotação, a nota de avaliação para a efetividade da capacitação em FMEA para a realização do caso prático. Para a avaliação do ministrante e do material didático, 50% e 41% dos alunos,

respectivamente, expressaram-se também por respostas discursivas, a fim de complementar a avaliação numérica (0 a 5).

As respostas para a efetividade do minicurso concentraram-se em 5 principais agrupamentos: 21% das respostas comentam a efetividade do treinamento, principalmente, por se sentirem preparados para replicar em outras oportunidades; 19% elogiaram o formato teórico-prático do treinamento; 16% ressaltaram que é necessário mais prática para aprimorar os conhecimentos adquiridos; 13% expressaram satisfação pelo atendimento das expectativas para o curso introdutório; 13% elogiaram as entregas possíveis de uma análise FMEA. Os comentários reforçam as boas avaliações numéricas que essa seção do minicurso apresentou.

Para as anotações referente ao ministrante, cerca 38% das respostas ressaltaram o bom conhecimento e vivência na ferramenta, 23% elogiaram a didática durante as explicações e 19% afirmaram a clareza e segurança na transmissão de informações. Para o material do minicurso, os principais grupos de anotações foram positivos: material bom (16%), material explicativo (14%), material excelente (12%), material didático (12%), organizado (9%) e coerente com necessidades (7%). Não foram relatados comentários negativos para as avaliações do ministrante; no entanto, para o material didático, notas pontuais foram relatadas: 4% queriam mais conteúdo e 2% queriam mais exemplos.

Na sequência, o minicurso realizou a capacitação e o caso prático de AFD. Os dados foram coletados de forma análoga à seção anterior após a conclusão da seção, ou seja, recolheu-se os formulários de apoio V. Formulário AFD, em que os grupos registraram os resultados da aplicação prática para as análises comparativas da seção seguinte deste capítulo, e os formulários de avaliação III. Avaliação AFD, conforme expostos no Apêndice D.

Conforme apresentado na Tabela 22, constatou-se que todas as turmas também avaliaram acima da média a efetividade do minicurso para a capacitação em AFD para a resolução do caso prático, a qualificação do ministrante para transmissão de informação e a facilitação durante o minicurso e o material didático utilizado.

Tabela 22 – Tabulação síntese do formulário de avaliação III. Avaliação AFD

Sessão	Universidade	Efetividade do minicurso (0 a 5)		Qualificação do Ministrante (0 a 5)		Material didático (0 a 5)	
		Média	Moda	Média	Moda	Média	Moda
Turma 1	UFPR	3,5	4,0	4,5	5,0	4,0	4,0
Turma 2	UTFPR	3,9	5,0	4,6	5,0	4,3	5,0
Turma 3	UP	4,1	4,0	4,7	5,0	4,4	5,0
Turma 4	UP	4,4	5,0	4,8	5,0	4,6	5,0
Turma 5	UTP	4,0	4,0	4,8	5,0	4,5	5,0
Turma 6	UniBrasil	4,4	4,0	5,0	5,0	4,3	5,0

Fonte: Autoria própria

De modo geral, os três questionamentos foram bem avaliados em todas as sessões de AFD. Os dados quantitativos dessas avaliações foram organizados na Tabela 23, em que é possível observar todas as notas.

Tabela 23 – Tabulação dos dados do formulário de avaliação III. Avaliação AFD

Turma 1 UFPR	Efetividade do minicurso	2 - 5 - 4 - 4 - 4 - 4 - 3 - 3 - 4 - 4 - 4 - 2 - 4 - 4 - 3 - 3 - 2
	Ministrante e facilitação	4 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 3 - 5 - 5 - 4 - 5 - 4
	Material didático	4 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 3 - 5 - 5 - 4 - 5 - 4
Turma 2 UTFPR	Efetividade do minicurso	5 - 4 - 5 - 3 - 4 - 2 - 4 - 3 - 5 - 5 - 5 - 3 - 4 - 3 - 5 - 4 - 4 - 5 - 5 1 - 3 - 4
	Ministrante e facilitação	5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 3 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 4 - 4 - 5
	Material didático	5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 3 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 4 - 4 - 5
Turma 3 UP	Efetividade do minicurso	3 - 3 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 4 - 5 - 4 - 3 - 5 - 5 - 3 - 5 - 4 - 4 - 3
	Ministrante e facilitação	5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4
	Material didático	5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4
Turma 4 UP	Efetividade do minicurso	5 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 - 4 - 3 - 4 - 4 - 3 - 4 - 5 - 3 - 4 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5
	Ministrante e facilitação	5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5
	Material didático	5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4 - 5 - 5 - 4 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5
Turma 5 UTP	Efetividade do minicurso	4 - 3 - 5 - 4 - 3 - 5 - 5 - 4 - 4 - 4 - 3
	Ministrante e facilitação	4 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4
	Material didático	3 - 3 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 4
Turma 6 UniBrasil	Efetividade do minicurso	4 - 4 - 4 - 5 - 5 - 5 - 4 - 4 - 5 - 4 - 5
	Ministrante e facilitação	5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5 - 5
	Material didático	4 - 5 - 3 - 4 - 5 - 5 - 5 - 3 - 4 - 5 - 4

Fonte: Autoria própria

A efetividade do minicurso para a realização do caso prático teve uma média geral de 4,0 entre os participantes, a avaliação do ministrante para FMEA recebeu 4,7 e a qualidade do material didático 4,4, valores muito próximos na comparação com a seção anterior de FMEA.

Seguindo o mesmo procedimento, no formulário de avaliação da FMEA, os participantes puderam relatar comentários a fim de complementar as avaliações quantitativas (0 a 5) no formulário de avaliação da AFD. Entretanto, apenas 44% dos alunos, aproximadamente, complementaram essa avaliação em relação à efetividade da capacitação em AFD para a realização do caso prático. Dessas respostas, 35% afirmaram ter adquirido o entendimento acerca da ferramenta e ressaltaram o primeiro contato com a ferramenta; 19% das respostas relataram que o método é confuso ou que apresentaram dúvidas durante a aplicação; 15% avaliaram a sessão como boa ou muito boa; 11% ressaltaram que é necessário mais prática para aprimorar os conhecimentos e outros 7% expressaram vontade de aplicá-la em outras oportunidades.

Para as avaliações do ministrante e do material didático, apenas 38% e 36% dos alunos, respectivamente, complementaram as avaliações quantitativas (0 a 5) com alguma anotação. Para as anotações referente ao ministrante, cerca 38% ressaltaram ser bem qualificado para a seção de AFD, 25% afirmaram ter domínio do tema e 22% ressaltaram a didática na transmissão e facilitação do treinamento. Para o material do minicurso, os principais grupos de anotações foram: material didático, claro ou dinâmico (29%), material bom (26%) e coerente com necessidades (8%). Não foram relatados comentários negativos para as avaliações do ministrante. No entanto, para o material didático, notas pontuais foram relatadas: 13% gostariam de mais exemplos práticos e 10% fizeram sugestões quanto a disponibilização de apostilas ou outros recursos.

Por último, na seção de Discussão dos métodos, conforme planejamento do minicurso (Tabela 11), solicitou-se que os alunos preenchessem individualmente o formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD, conforme exposto no Apêndice D. Capacitados e tendo praticado as duas metodologias, os estudantes puderam se posicionar acerca de tópicos oportunos para os questionamentos dessa pesquisa e fazer as considerações finais. Após esse preenchimento, os dados foram recolhidos e uma discussão aberta foi realizada com os alunos a fim de evidenciar entre eles o posicionamento geral da turma.

As proporções das respostas categóricas obtidas pelos questionamentos de múltipla escolha desse formulário foram organizadas nas Tabelas 24, 25, 26 e 27. A fim de confirmar uma tendência geral, destacou-se em negrito a principal resposta fornecidas pelos estudantes em cada sessão do minicurso. As respostas por completo estão tabuladas no Apêndice E, sendo possível verificar a opção escolhida e as considerações de cada estudante.

Tabela 24 – Tabulação das proporções para a robustez das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD

Sessão	Universidade	Ambas	FMEA	AFD	Outra
Turma 1	UFPR	5,8%	17,6%	64,7%	11,7%
Turma 2	UTFPR	22,7%	18,2%	50,0%	9,1%
Turma 3	UP	36,8%	10,5%	47,4%	5,3%
Turma 4	UP	40,0%	12,0%	36,0%	12,0%
Turma 5	UTP	54,5%	9,1%	36,4%	0,0%
Turma 6	UniBrasil	9,1%	0,0%	72,7%	18,2%

Fonte: Autoria própria

Tabela 25 – Tabulação das proporções para o processo de identificação de falhas potenciais das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD

Sessão	Universidade	Ambas	FMEA	AFD	Outra
Turma 1	UFPR	5,8%	52,9%	29,4%	11,7%
Turma 2	UTFPR	13,6%	50,0%	36,4%	0,0%
Turma 3	UP	15,8%	31,6%	47,4%	5,3%
Turma 4	UP	12,0%	28,0%	48,0%	12,0%
Turma 5	UTP	27,3%	27,3%	36,4%	9,1%
Turma 6	UniBrasil	0,0%	72,7%	27,3%	0,0%

Fonte: Autoria própria

Tabela 26 – Tabulação das proporções para a facilidade das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD

Sessão	Universidade	Ambas	FMEA	AFD	Outra
Turma 1	UFPR	11,7%	82,3%	5,8%	0,0%
Turma 2	UTFPR	0,0%	68,2%	13,6%	18,2%
Turma 3	UP	5,3%	73,7%	15,8%	5,3%
Turma 4	UP	4,0%	48,0%	20,0%	28,0%
Turma 5	UTP	9,1%	27,3%	45,5%	18,2%
Turma 6	UniBrasil	18,2%	45,5%	0,0%	36,4%

Fonte: Autoria própria

Tabela 27 – Tabulação das proporções para as recomendações de casos complexos e de desenvolvimento de produto do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD

Sessão	Universidade	Casos complexos			Desenvolvimento de produto		
		FMEA	AFD	Não teria preferência	FMEA	AFD	Não teria preferência
Turma 1	UFPR	58,8%	35,3%	5,8%	35,3%	52,9%	11,7%
Turma 2	UTFPR	72,7%	13,6%	13,6%	27,3%	68,2%	4,5%
Turma 3	UP	31,6%	42,1%	26,3%	21,1%	52,6%	26,3%
Turma 4	UP	80,0%	12,0%	8,0%	24,0%	64,0%	12,0%
Turma 5	UTP	45,4%	45,4%	9,1%	9,1%	54,5%	36,4%
Turma 6	UniBrasil	63,6%	27,3%	9,1%	36,4%	54,5%	9,1%

Fonte: Autoria própria

De modo geral, observou-se que não há uma tendência de exclusão total de uma ferramenta em detrimento da outra. Ambas as metodologias sobressaíram em critérios diferentes conforme as tabulações para os cinco questionamentos do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD. Com esses dados, foi possível realizar as análises de resultados na seção seguinte deste capítulo.

O formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD possibilitou aos estudantes a justificativa da escolha da resposta para cada tópico explorado. Da mesma forma que foi realizado para os demais formulários, as respostas foram lidas e agrupadas pelas ideias centrais a fim de elaborar as constatações. A participação dos alunos em justificar seus posicionamentos foi alta, atingindo uma média de aproximadamente 85% dos casos. Todas as respostas dos formulários encontram-se, na íntegra, no Apêndice E.

Na avaliação da robustez das metodologias, a AFD foi o método mais selecionado. As principais justificativas para escolha foram: possibilitar mais oportunidades para identificar falhas (59%), possibilitar identificar mais falhas inusitadas (17%) e ser mais visual (13%). A segunda resposta mais escolhida foi “Ambas”, seguida de “FMEA” e, por fim, “Outra”. Para essas respostas, as principais justificativas foram: abordagens diferentes com resultados similares (62%), método mais fácil (50%) e FMEA é melhor para prevenir enquanto AFD para a identificar falhas (40%), respectivamente.

Para o processo de identificação de falhas, especificamente, as avaliações das metodologias foram muito parecidas: 42% destacaram a FMEA enquanto que 39% a AFD. As principais justificativas para essas escolhas foram que FMEA é uma metodologia mais direta (22%), mais organizada (27%), mais linear (14%) e mais fácil (8%) enquanto os que optaram pela AFD justificaram que a ferramenta possibilita maior abrangência na identificação dos modos de falhas (30%), evidencia melhor visualmente (18%) e estimula a identificação de falhas mais inusitadas (18%). As duas respostas menos selecionadas foram “Ambas” e “Outra”, cujas principais justificativas obtidas, respectivamente, foram que ambas ajudam a identificar falhas potenciais por meios diferentes (46% e 57%).

Na sequência, avaliou-se a facilidade das metodologias. Para 60% dos graduandos, a FMEA se sobressaiu. As principais justificativas anotadas pelos estudantes que justificaram essa escolha foram que a sistemática da FMEA é mais clara e definida (25%), mais linear (19%) e mais fácil ou prática (15%). A segunda resposta mais escolhida foi “Ambas II”, seguida de “AFD” e, por último, “Ambas I”, cujas justificativas centrais foram, respectivamente, ter tido problemas em ambas as aplicações (35%), ser menos burocrática e mais livre (46%) e mesmo grau de facilidade (50%).

As duas perguntas seguintes exploraram a recomendação das ferramentas para duas situações específicas: solução de casos complexos e desenvolvimento de produto. Para 61% dos estudantes, FMEA é metodologia mais recomendada para a aplicação aos casos de maior complexidade, justificado, principalmente, por ser mais organizada (27%), de entendimento mais fácil (14%), menos complexa que AFD (14%) e mais objetiva (12%). Em contrapartida, para 59% dos alunos, AFD é ferramenta mais recomendada para o desenvolvimento de produto. Os principais motivos que levaram a essa conclusão foram a capacidade de ampliar a gama de

modos de falhas identificados (44%), identificar fatores mais inusitados (18%), ser mais visual ou livre (11%) e ser mais fácil que a FMEA (9%).

Por último, catalogou-se as informações das aplicações práticas da AFD e FMEA nas Tabelas 28 e 29. As informações de quais casos práticos foram utilizados e a quantificação dos efeitos falhos e causais identificados em cada sessão do minicurso estão dispostas, respectivamente, nessas tabelas. Com isso, é possível comparar as entregas para as diferentes ferramentas em um mesmo caso prático.

Tabela 28 – Casos práticos aplicados para FMEA e AFD por sessão de minicurso

Sessão	Universidade	Grupos	Casos práticos realizados				
Turma 1	UFPR	4	Óculos	Tesoura	Frigideira	Vassoura	-
Turma 2	UTFPR	5	Óculos	Tesoura	Frigideira	Vassoura	Caderno
Turma 3	UP	4	Óculos	Tesoura	Frigideira	Vassoura	-
Turma 4	UP	5	Óculos	Tesoura	Frigideira	Vassoura	Caderno
Turma 5	UTP	3	Óculos	Tesoura	Frigideira	-	-
Turma 6	UniBrasil	3	Óculos	Tesoura	-	Vassoura	-

Fonte: Autoria própria

Tabela 29 – Quantidade de falhas e causas identificadas por sessão e caso prático

	Turma 1		Turma 2		Turma 3		Turma 4		Turma 5		Turma 6	
	FMEA	AFD	FMEA	AFD	FMEA	AFD	FMEA	AFD	FMEA	AFD	FMEA	AFD
Óculos												
Falhas potenciais	3	7	3	10	9	5	4	12	5	6	6	10
Causas potenciais	6	8	3	8	4	8	5	11	3	7	9	6
Tesoura												
Falhas potenciais	4	6	3	3	5	7	6	5	6	6	5	9
Causas potenciais	4	5	8	11	4	10	8	12	5	10	-	10
Frigideira												
Falhas potenciais	2	5	2	7	5	8	5	7	4	7	-	-
Causas potenciais	5	11	3	11	4	12	-	7	4	7	-	-
Vassoura												
Falhas potenciais	3	6	4	9	5	7	5	5	-	-	3	4
Causas potenciais	2	5	7	6	7	8	5	8	-	-	3	6
Caderno												
Falhas potenciais	-	-	5	8	-	-	5	8	-	-	-	-
Causas potenciais	-	-	6	10	-	-	4	8	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria

Com o término da tabulação dos dados, iniciou-se as análises de resultados para as conclusões sobre os questionamentos da pesquisa. Algumas das constatações tornaram-se evidentes com a própria tabulação prévia, enquanto que, para outras, foi necessário conduzir análises mais direcionadas conforme os processos expostos na metodologia desse trabalho.

4.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

As diversas sessões do minicurso realizadas objetivaram não somente atender ao número amostral planejado, mas também contribuir para a validade da pesquisa por meio da triangulação de dados. Essa técnica consiste em olhar para o mesmo processo, ou questão de pesquisa, a partir de mais de uma fonte de dados. Assim, a técnica limita os vieses pessoais e metodológicos e aumenta a generalização de um estudo (AZEVEDO *et al.*, 2013).

Para Azevedo *et al.* (2013), a triangulação de dados possibilita coletar dados de fontes distintas, de modo a obter uma descrição mais rica e detalhada dos fenômenos. Conforme proposto por Denzin e Lincoln (2000), as questões do trabalho foram estudadas em locais e indivíduos diferentes, representado pelas diferentes universidades, mantendo-se os mesmos requisitos dos participantes, a fim de efetuar a técnica.

O uso de múltiplos métodos de coleta de dados para obtenção dos dados mais completos e detalhados sobre o fenômeno, caracteriza outro tipo de triangulação: a triangulação metodológica (AZEVEDO *et al.*, 2013). Essa foi aplicada neste trabalho, na coleta de dados, a fim de compreender e complementar diferentes aspectos na medida que se utiliza de coleta quantitativa, discursiva e aplicação prática. Todo esforço no uso dessas tipologias da triangulação foi motivado pela preocupação com o rigor metodológico e com a validade dos achados da pesquisa. Segundo Cho e Trent (2006), a técnica conduz a um retrato mais consistente e mais objetivo da realidade.

As seis turmas do minicurso foram suficientes para ultrapassar a quantidade de participantes necessários estipulados no planejamento do minicurso. A fim de atender a uma precisão de 10% e um nível de significância de 5%, estimou-se 96 participantes. No entanto, 105 estudantes realizaram a atividade. Esse excedente de estudantes contribui para a melhora da precisão absoluta das proporções obtidas

nas análises que passou a 9,5%, mantendo-se a mesma significância de 5%, conforme simulado no servidor do Laboratório de Epidemiologia e Estatística ([1996b]).

A fim de orientar as respostas para os questionamentos, os dados tabulados no formulário de avaliação IV foram reagrupados, eliminando as divisões de turmas e compondo a população total de 105 participantes, conforme Tabelas 30 e 31.

Tabela 30 – Proporções para a robustez, a identificação de falhas potenciais e a facilidade das metodologias do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD

Robustez			Identificação			Facilidade		
Resposta	%	Alunos	Resposta	%	Alunos	Resposta	%	Alunos
Ambas	28,5%	30	Ambas	12,4%	13	Ambas I	6,7%	7
FMEA	12,4%	13	FMEA	41,9%	44	FMEA	60,0%	63
AFD	49,5%	52	AFD	39,1%	41	AFD	16,2%	17
Outra	9,5%	10	Outra	6,7%	7	Ambas II	17,2%	18

Fonte: Autoria própria

Tabela 31 – Proporções compiladas para indicação em casos complexos e em desenvolvimento de produto do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD

Casos complexos			Desenvolvimento de produtos		
Resposta	%	Alunos	Resposta	%	Alunos
FMEA	60,9%	64	FMEA	25,7%	27
AFD	17,2%	28	AFD	59,0%	62
Não teria preferência	26,7%	13	Não teria preferência	15,2%	16

Fonte: Autoria própria

Embasado pelos dados coletados, utilizou-se dos processos de análises de resultados expostos na metodologia para formular as conclusões sobre os questionamentos da pesquisa. Ao todo, as questões principais levantadas na introdução desse trabalho foram desenvolvidas neste capítulo. Por fim, sintetizou-se as considerações finais no último capítulo do trabalho.

A fim de confirmar algumas hipóteses, análises de variância (ANOVA) foram conduzidas antes da discussão dos questionamentos da pesquisa. Segundo Laboratório de Epidemiologia e Estatística ([1996c]), a ANOVA avalia a igualdade

entre médias, admitindo normalidade e independência entre si e permite testar se a variabilidade dentro dos grupos é maior que a existente entre grupos. Essas análises permitiram avaliar se as médias das avaliações quantitativas dos formulários de avaliação das sessões de FMEA e de AFD (II e III) apresentaram variações significativas entre si.

As análises foram realizadas no *software* Microsoft Excel para as avaliações da efetividade do treinamento, do ministrante e facilitação e do material didático. Observou-se que, com um nível de significância de 5%, não foi possível rejeitar a hipótese nula ($p = 0,115$), ou seja, que as médias da avaliação dadas pela população (105 estudantes) para o ministrante e a facilitação da FMEA e AFD são iguais. Isso pode ser interpretado que, estatisticamente, não se pode afirmar que houve variação significativa na forma da transmissão do minicurso entre as sessões de FMEA e AFD.

Entretanto, as análises ANOVA foram estatisticamente significantes para rejeitar as hipóteses de que as médias das avaliações da efetividade e do material didático das sessões da FMEA e AFD foram as mesmas. Com nível de significância de 5%, as probabilidades obtidas (valores-p) obtidas comparando a população de 105 avaliações quantitativas foram, respectivamente, 0,0085 e 0,0092, ou seja, ambas inferiores ao nível de significância (0,05), não sendo possível aceitar a hipótese nula. Esse resultado reitera as anotações e médias das avaliações dos participantes de que o método FMEA é mais simples, linear e fácil de se executar.

A ferramenta AFD foi, claramente, uma novidade para ampla maioria dos alunos participantes do minicurso. As análises estatísticas indicaram uma moda zero para conhecimento prévio da população e uma média próxima a zero e a análise exploratória dos comentários indicaram o não conhecimento da metodologia. Logo, as percepções dos usuários para o uso da AFD no processo de desenvolvimento de produto, primeiro questionamento da pesquisa, foram desenvolvidas durante a capacitação e prática do minicurso.

Para esse tópico, dispôs-se das avaliações quantitativas e respostas categóricas (comparativas a FMEA) coletadas junto aos participantes para a elaboração das considerações. Pela Tabela 29, é possível observar a predominância da AFD como recomendação de ferramenta para identificação de falhas potenciais em desenvolvimento de produto. A ferramenta representou 59% das respostas de todos os participantes e, mesmo considerando a precisão de 9,5%, a AFD

estabeleceria a preferência dos graduandos. Além disso, essa recomendação foi a escolha primeira em todas as sessões do minicurso quando observadas isoladamente, conforme exposto na Tabela 27.

As anotações dos participantes reforçaram a robustez do método, 49,5% afirmaram ser mais robusta que a FMEA, na medida que, além de identificar mais falhas potenciais, possibilita visualizar fatores inusitados. Em contrapartida, para 60% dos participantes, a ferramenta é mais difícil que a FMEA, pois é menos linear, mais criativa e mais livre. Dessa forma, conclui-se que a percepção geral da AFD para os estudantes é de um método robusto, mais complexo, tão efetivo quanto a FMEA na identificação de falhas potenciais e mais direcionado para o desenvolvimento de produto.

Essa conclusão foi confrontada às potencialidades prometidas na literatura da metodologia AFD a fim de avaliá-las e desenvolvê-las segundo o questionamento da pesquisa. Para Hipple (2006), sempre é possível que um engenheiro extrapole o raciocínio com ideias não convencionais (pensamento “fora da caixa”). No entanto, as ferramentas tradicionais não estimulam naturalmente esse processo no desenvolvimento de projeto. Logo, a percepção dos estudantes reforça a afirmação do autor, visto que a ferramenta da TRIZ foi relacionada à criatividade, à liberdade de raciocínio e ao potencial maior na identificação de falhas.

Nesse mesmo sentido, Livotov (2008) reitera o posicionamento, na medida que lista as potencialidades da AFI, como também é conhecida a ferramenta baseada na TRIZ. Entre essas estão o aumento da criatividade e inventividade dos times de engenheiros e projetos, o incentivo ao pensamento sistemático na busca de respostas menos triviais, a eliminação da cegueira habitual e a transformação do processo inventivo de inspiração pura.

Para Thurnes *et al.* (2012), ambas as ferramentas têm suas vantagens. Segundo os autores, a FMEA caracteriza-se por um processo mais linear, padronizado e bem aceito, indo de encontro com as principais anotações dos participantes do formulário de avaliação IV: método mais organizado (27%), mais claro e definido (25%), mais linear (19%). As respostas acerca das potencialidades da AFD também encontraram o posicionamento dos autores, visto que afirmam ser um método mais inventivo.

Ainda na literatura de métodos de identificações de falhas potenciais, o estudo de Ungvari (1999) comparou, por meio de tabulação, as diferenças entre as

metodologias AFD e FMEA. Observou-se que, embora o escopo de aplicação seja o mesmo, a AFD apresenta mais ferramentas analíticas e mais profundidade na análise. Esses pontos também foram confirmados nas respostas dos estudantes, visto que quase metade (49,5%) dos estudantes identificaram a AFD como ferramenta mais robusta.

As contrapartidas relatadas para o método AFD também estabeleceram paralelos da literatura. Para Masin e Jirman (2012), as ferramentas com base na TRIZ não são fáceis de aprender com hábitos rotineiros de pensamento e exigem mais desenvoltura. Isso confirmou-se com 60% dos participantes escolhendo a FMEA como ferramenta mais fácil e quase 20% dos relatos dos estudantes de que a AFD é mais confusa ou que gera mais dúvidas durante sua aplicação. De acordo com Thurnes *et al.* (2012), o padrão de aplicação para FMEA é bem estruturado, diferindo do pouco conhecido e mais abrangente AFD.

Com essa análise, evidenciou-se uma correspondência entre as tabulações dos dados coletados com as potencialidades teóricas da AFD dispostas na literatura. Ainda, essa discussão integrava o terceiro questionamento desta pesquisa que buscava relacionar as vantagens e desvantagens da AFD comparada à FMEA. Os relatos dos estudantes vão de encontro à afirmação de Hiltmann (2015) na qual a FMEA é um método estruturado e muito utilizado na indústria que, no entanto, não fornece um processo mais rudimentar de exploração de falhas potenciais.

Por fim, o último questionamento da pesquisa trouxe um viés prático para o trabalho, na medida em que busca analisar os resultados das aplicações da FMEA e da AFD. Isso foi possível com a tabulação dos exercícios práticos realizados pelos estudantes, coletados ao término da sessão do minicurso e agrupados por caso de aplicação, conforme as Tabelas 28 e 29. Dependendo da quantidade de participantes do minicurso, as turmas eram divididas em grupos para receber os casos de aplicação e, quando o número de grupo era inferior à quantidade de casos práticos disponíveis, as aplicações utilizadas eram escolhidas aleatoriamente.

A fim de elaborar parâmetros de comparação entre as diferentes aplicações, determinou-se os efeitos de falhas potenciais e as causas potenciais como quantificadores para a análise. Em cada sessão do minicurso, o tempo disponível para realização dos casos práticos da FMEA e AFD foram os mesmos (uma hora e meia) e os grupos alternavam os casos ao trocar de aplicação. Ao todo foram 24 aplicações práticas de FMEA e AFD, em que foram identificadas mais falhas e mais

causas potenciais em 71% delas e maior ou igual número de falhas e maior ou igual número de causas identificadas em 83% delas (Tabela 29).

Em contrapartida, os diagramas de árvore de falhas da AFD tornaram-se mais limitados para o entendimento imediato devido a organização livre e mais conectada. Comparadas com as entregas da FMEA, estruturadas no formulário de apoio II, em forma de planilha, os diagramas ficaram mais poluídos visualmente. A fim de visualizar as entregas de dois casos de aplicação pelos estudantes, as Figuras 6 a 11 exemplificam os resultados da FMEA e AFD para mesmos produtos.

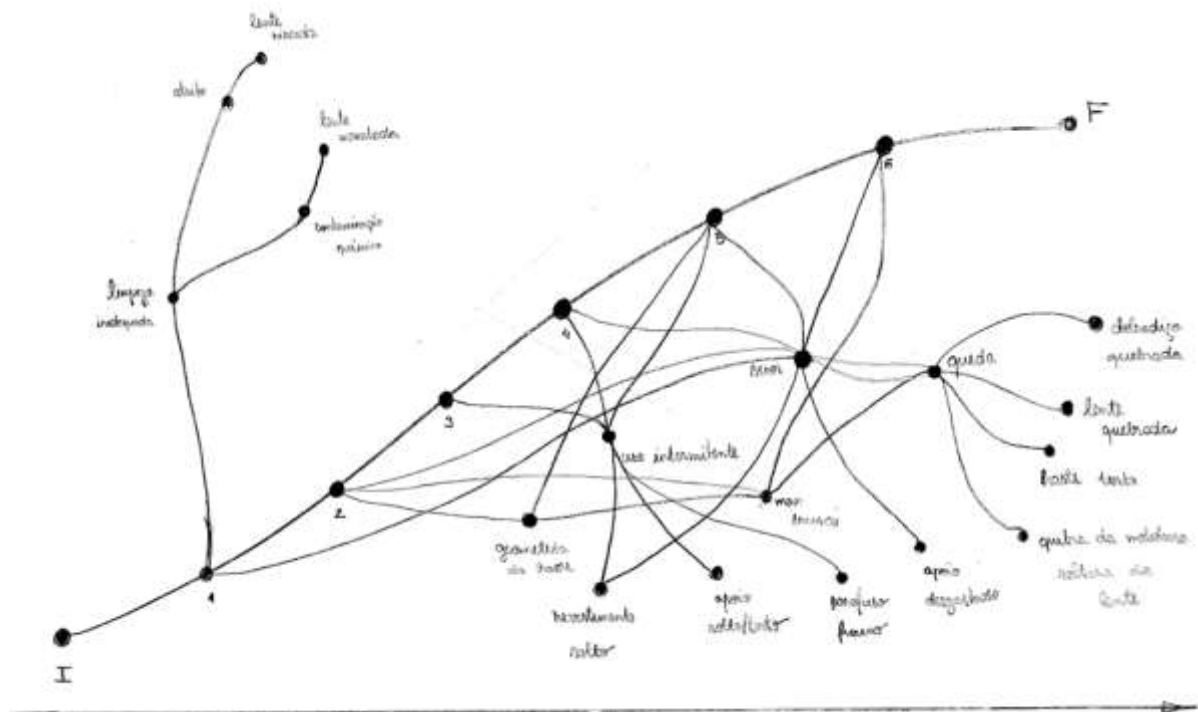


Figura 6 – Exemplo de resultado da aplicação AFD para o caso prático “óculos”

Fonte: Autoria própria

Análise de Modos e Efeitos de Falha											
FMEA - Failure Mode and Effects Analysis										FMEA Tipo: DMFA	
Facilitador FMEA: Eng. Roman Frazão										Data e horário início: 24/07/16	
Equipe FMEA: Roberto S. L., Cleonice Pereira, André Pedrosa, Bruno A. Mariano S.										Data e horário final: 27/07/16	
Outros Envolvidos:										Número do Grupo: 148	
Descrição do Item: Vassoura										Universidade: UFPA - BELÉM	
Outros Detalhes:											
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	vi	Causa de Falha Potencial	o	Controle Atual Preventivo	Controle Atual Detectivo	a	RPN	Ação Recomendada
Cabo da mediana	Sistema de apoio do usuário para manter a cabeça da mediana confortável	modo flexão do cabo	Sistema desconfortável	4	Forma do cabo não adequada à flexibilidade	1	Testes de flexão do cabo	Teste de flexão	1	4	
		modo não confortável	Causa de irritação no usuário	4	Superfície do cabo não adequada à flexibilidade	5	Revisão do projeto	Teste de flexão	3	60	Teste de flexão
Primeira	Uma das cerdas de apoio da mediana para o usuário	não unir as cerdas do cabo	Soltas nas cerdas do cabo	8	ma. flexão das cerdas do cabo	5		Teste de desgaste	10	400	
Cerdas	Força de limpeza eficiente	não unir as cerdas eficientemente	desfalhas residuais	7	Quantidade ou posição insuficiente	1	Revisão do projeto	Teste de limpeza	1	7	
Cerdas	Agrupar as cerdas para limpeza	não agrupar as cerdas eficientemente	Deterioração das cerdas	8	Desgaste das cerdas	5	Revisão do projeto	Teste de desgaste	10	400	

Figura 11 – Exemplo de resultado da aplicação FMEA para o caso prático “vassoura”

Fonte: Autoria própria

Todas as análises de resultados realizadas nessa sessão deram suporte para as considerações dos principais questionamentos da pesquisa. Com isso, foi possível explorar o potencial da AFD para o desenvolvimento de produto, comparada com uma ferramenta tradicional, tal como a FMEA, e com paralelos da literatura. O trabalho, portanto, trouxe uma metodologia que auxiliou no entendimento e confirmações acerca da ferramenta de base TRIZ e expõe as considerações finais no capítulo seguinte.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo a exploração do uso da Determinação Antecipada de Falha (AFD) durante o desenvolvimento de projeto de produto para identificação de falhas potenciais. A ferramenta baseada na TRIZ, embora pouco conhecida, apresenta muitos benefícios na literatura quando comparada aos métodos tradicionais, tal qual a FMEA. No entanto as discussões revisadas apresentaram-se majoritariamente no âmbito da teoria. Essa pesquisa, portanto, diferenciou-se pela comparação, tanto subjetiva quanto objetiva, da metodologia AFD e da FMEA por meio de aplicações práticas.

Para tal, o desenvolvimento de um minicurso sobre as duas ferramentas de identificação de falhas foi o principal instrumento de pesquisa. As coletas de dados foram realizadas após a capacitação e aplicação de casos práticos com alunos de graduação em engenharia avançados no cumprimento do curso por meio de formulários de apoio e práticos. Com uma série de tabulações e análises de resultados, foi possível elaborar as considerações para os principais questionamentos da pesquisa.

Predominantemente, participaram estudantes que desconheciam ambas as ferramentas, possibilitando uma análise e participação mais adequada para imparcialidade. As percepções dos usuários, para o uso em desenvolvimento de produto, para a AFD foram positivas, sendo mais recomendada do que a FMEA quando comparadas a essa finalidade. Com um nível de significância de 5% e precisão de 9,5%, 59% dos participantes recomendariam a AFD para o uso de desenvolvimento de produto, em detrimento da FMEA, recomendada por 25,7%. Outros 15,2% não teriam preferência entre as metodologias.

Em termos do processo de identificação de falhas potenciais, mantendo-se os mesmos níveis de significância e precisão, as proporções entre os métodos encontraram-se parelhas. Aproximadamente 42% e 39% dos participantes, respectivamente, afirmaram que a FMEA e a AFD são mais eficientes no processo. Embora, a AFD tenha um processo mais robusto de identificação de falhas potenciais, segundo 49,5% dos participantes, a FMEA foi a principal recomendação para 61% dos usuários para casos complexos e destaque na facilidade entre os métodos para 60%.

Análises exploratórias dos dados qualitativos por meio da catalogação das anotações presentes nos formulários complementaram o entendimento das proporções obtidas nos resultados quantitativos. De modo geral, os participantes classificaram a metodologia FMEA como linear, mais simples e mais organizada, destacando também a praticidade da classificação de risco já inclusa no formulário, por meio do RPN. Para a AFD, os pontos fortes vieram pelo seu método criativo, mais livre e com maior potencial exploratório.

As anotações também apontaram pontos fracos para ambos os métodos. Na FMEA, a dificuldade veio nos conceitos necessários para desenvolver o formulário de análise, sendo classificado como um método mais burocrático. Para a AFD, os estudantes apontaram dificuldades em conduzir um método mais livre e em elaborar o diagrama de cenários de falha mais conectado, que, por vezes, torna-se confuso de interpretar. Essas considerações foram de encontro a alguns estudos presentes na literatura.

Portanto, concluiu-se que a AFD tem um grande, e pouco explorado, potencial na identificação de falhas antecipadas durante o ciclo de PDP. A ferramenta teve um desempenho satisfatório durante as aplicações práticas e boas avaliações por parte dos estudantes participantes. Tal como para a FMEA, um método bastante difundido, existem potencialidades e contrapartidas no uso da metodologia que podem ser exploradas e contornadas com a prática e aplicações mais direcionadas.

Como oportunidades para trabalhos futuros, existe um recente escopo de estudos que buscam identificar e qualificar as potencialidades e aplicações de métodos híbridos. Uma vez combinadas as potencialidades de cada ferramenta, pode-se avaliar se a nova estrutura é capaz de suprir deficiências encontradas nas metodologias individuais. Embora recente, já é possível encontrar alguns estudos iniciais na área de desenvolvimento de produto, os quais ajudaram a embasar as discussões comparativas entre as metodologias FMEA e AFD.

No mesmo contexto deste trabalho, outra recomendação para trabalhos posteriores é no uso de especialistas em ambas as ferramentas metodologias. Essa possibilidade viabilizaria o uso de casos mais complexos e direcionados ao ambiente industrial.

Também buscou-se identificar recomendações para melhorias nesta metodologia por meio das contribuições dos alunos participantes no formulário de avaliação IV. Na última pergunta, solicitou-se aos estudantes anotar as dificuldades

e limitações encontradas durante a sessão do minicurso, cujas respostas seriam catalogadas para as considerações finais. Sendo assim, elenca-se as oportunidades para futuras aplicações:

- a) Capacitação mais longa em ambas as ferramentas para execução e prática: alguns alunos reportaram dificuldades com conceitos e execução de ambas as metodologias e o redesenho do minicurso pode apresentar resultados mais efetivos.
- b) Uso de plataformas digitais: o uso de *softwares* simples ou formulários eletrônicos podem auxiliar durante a execução das atividades práticas. Alguns participantes indicaram dificuldades na execução da ferramenta em formulário impresso.

Por fim, com as considerações deste trabalho, resultados mais concretos acerca da AFD no processo de identificação de falhas potenciais em projetos de produtos foram concluídos. A abordagem sustentada, não apenas qualitativamente, mas também quantitativamente, evidenciou o potencial exploratório da ferramenta que é praticamente desconhecida na indústria. Em comparação à FMEA, a AFD mostrou-se mais robusta ao mesmo tempo que identifica mais falhas e mais fatores inusitados.

Dessa forma, espera-se que este trabalho contribua para impulsionar e difundir a exploração de novas metodologias, não somente para desenvolvimento de produto, mas também de aplicações com base na TRIZ, tornando os processos cada vez mais construtivos e ricos.

REFERÊNCIAS

ADESANYA, Adeleke O. **Strengths and Weaknesses of Anticipatory Failure Determination in Identifying Black Swan Type of Events**. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia) – University of Stavanger, Norway, 2014. Disponível em: <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/223615/Adesanya_Adeleke.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016, 19:21.

ALTSHULLER, Genrich; ZLOTIN, Boris; ZUSMAN, Alla; FILATOV, V. I. **Searching for New Ideas: From Insight to Technology**. 1. ed. Kishinev: Kartya Moldovenyaska Publishing House, 1989.

ALTSHULLER, Genrich. **Creativity as an Exact Science: The Theory of The Solution of Inventive Problems**. 1. ed. New York: Gordon and Breach, 1984.

ATMAN, Cynthia J.; YASUHARA, Ken; ADAMS, Robin S.; BARKER, Theresa J.; TURNS, Jennifer; RHONE, Eddie. Breadth in Problem Scoping: a Comparison of Freshman and Senior Engineering Students. *International Journal of Engineering Education*, vol. 24., n. 2, p. 234-245, 2008. Disponível em: <http://www.ijee.ie/articles/HMUDD/Vol24-2/s6_ijee2038.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016, 21:15.

ATMAN, Cynthia J; ADAMS, Robin S.; CARDELLA, Monica E.; TURNS, Jennifer; SALEEM, Jason. Engineering Design Processes: A Comparison of Students and Expert Practioners. *Journal of Engineering Education*, vol. 96, n. 4, p.359-379, out. 2007. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.2007.tb00945.x/pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 20:17.

AZEVEDO, Carlos E. F.; OLIVEIRA, Leonel G. L.; GONZALEZ, Rafael K.; ABDALLA, Márcio M. A Estratégia da Triângulação: Objetivos, Possibilidades, Limitações e Proximidades com o Pragmatismo. In: ENCONTRO DE ENSINO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE, 4., 2013, Brasília. **Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração**. Rio de Janeiro: ANPAD, 2013 Disponível em: <http://www.anpad.org.br/diversos/trabalhos/EnEPQ/enepq_2013/2013_EnEPQ5.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016, 19:49.

BALL, Linden J.; ORMEROD, Thomas C.; MORLEY, Nicola J. Spontaneous Analogising in Engineering Design: A Comparative Analysis of Experts and Novices. *Design Studies*, vol. 25, n. 5, p. 495-508, set. 2004, Expertise in Design. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X04000353>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 20:13.

BORREGO, Maura; DOUGLAS, Elliot P.; AMELINK, Catherine. T. Quantitative, Qualitative, and Mixed Research Methods in Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, v.98, n.1, p.53-66, jan. 2009. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2168-9830.2009.tb01005.x/full>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 19:43.

BRUCH, Christine. Handling Undesired Functions During Conceptual Design – A State – and State – Transition – Based Approach. In: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE, 8., 2004, Croatia. Disponível em: <https://www.designsociety.org/download-publication/19843/handling_undesired_functions_during_conceptual_design-a_state-and_state-transition-based_approach>. Acesso em: 04 dez. 2016, 21:02.

CARLSON, Carl S. Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTENABILITY SYMPOSIUM, Colorado, 2014. Disponível em: <http://www.reliasoft.com/pubs/2014_RAMs_fundamentals_of_fmeas.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016, 19:31.

CHO, Jeasik; TRENT, Allen. Validity in Qualitative Research Revisited, *Qualitative Research Journal*. v.6, n.3, p. 319-340, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258182425_Validity_in_Qualitative_Research_Revisited>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:46.

CLARKE, Dana W.; VISHNEPOLSKI, Svetlana; ZLOTIN, Boris. Case Study: Application of AFD – Failure Analysis for the Analysis of Power Transfer Between a Transmission Sun Gear and Associated Satellites. Ideation International Inc., 1999. Disponível em: <<http://www.ideationtriz.com/new/materials/WalkingBearingCaseStudy.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:39.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. P.; GUTMANN, Michelle L.; HANSON, William E. **Advanced Mixed Methods Research Designs**. In *Handbook of Mixed Methods in Social and Behavioral Research*, ed. TASHAKKORI, Abbas and TEDDLIE, Charles, 209-239. Thousand Oaks: Sage Publications, 2003.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. P. **Designing and conducting Mixed Methods Research**. Thousand Oaks: Sage Publications, 2007.

DE CARVALHO, Marco A.; HATEKEYAMA, Kazuo. Solução Inventiva de Problemas e Engenharia Automotiva: A Abordagem da TRIZ. **Revista Engenharia Automotiva e Aeroespacial**, SAE BRASIL, v. 3, n. 13, p. 34-37, 2003. Disponível em: <<http://www.aditivaconsultoria.com/artigoengautomotivaeaeroespacial-marcoekazuo.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 19:34.

DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. **Handbook of Qualitative Research**. 2. ed. USA: SAGE Publications, 2000.

Department of Defense. **Military Standard (MIL-STD-1629A)**: Procedure for Performing a Failure Mode Effect and Criticality Analysis. Washington: Department of Defense, 1980.

DOUGLAS, Kerrie A.; EPPS, Amy S. V.; MIHALEC-ADKINS, Brittany; FOSMIRE, Michael; PURZER, Senay. A Comparison of Beginning and Advanced Engineering Students' Description of Information Skills. *Evidence Based Library and Information Practice*, vol. 10, n. 2, p. 127-143, 2015. Disponível em:

<<https://ejournals.library.ualberta.ca/index.php/EBLIP/article/view/23835/18424>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 19:57.

DYM, Clive L.; LITTLE, Patrick; ORWIN, Elizabeth J.; SPJUT, Erick. **Engineering Design: A Project Based Introduction**. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.

FELICIA, Banciu; DRAGHICI, George. A New Functional Approach to Support FMEA Method in Product Conceptual Design. In: MODTECH INTERNATIONAL CONFERENCE, may. 2012. Modern Technologies, Quality and Innovation – New face of TMCR, Romania, 2012. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/253341577_A_NEW_FUNCTIONAL_APPROACH_TO_SUPPORT_FMEA_METHOD_IN_PRODUCT_CONCEPTUAL_DESIGN>. Acesso em: 04 dez. 2016, 20:58.

FOSMIRE, Michael; RADCLIFFE, David. **Integrating Information Into Engineering Design Process**. West Lafayette: Purdue University Press, 2014.

HAWKINS, Peter G.; WOOLLONS, David J. Failure modes and effects analysis of complex engineering systems using functional models. *Artificial Intelligence in Engineering*, v.12, p.375-397, 1998. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0954181097100115>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 20:07.

HILTMANN, Kai. Predicting Unknown Failures. *Triz Future Conference*, vol. 132, p. 840-849, 2015. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815042769>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 21:20.

HIPPLE, Jack. Predictive Failure Analysis™: How to Use TRIZ in “Reverse”. TRIZ Journal, 2006. Disponível em: <<https://triz-journal.com/predictive-failure-analysis-use-triz-reverse/>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:29.

_____. Predictive Failure Analysis™: Planning For Your Worst Business Nightmare by Figuring Out What It Is. New & Improved White Paper Archive, 2015. Disponível em: <<http://newandimproved.biz/newsletter/2015.php>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 22:32.

IDEATION. **History of TRIZ & I-TRIZ**, 2012. Disponível em: <<http://www.ideationtriz.com/history.asp>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:26.

Instituto da Qualidade Automotiva. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA): Manual de Referência**. 4. ed. São Paulo: Instituto da Qualidade Automotiva, 2008.

JENKINS, Bruce. Automating FMEA: Next-Generation Failure Analysis From NANEVA. ORARESEARCH, 2013. Disponível em: <http://oraresearch.com/wp-content/uploads/2014/11/Ora_FMEA_130812.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:28.

KAPLAN, Stan; VISNEPOLSCHI, Svetlana; ZLOTIN, Boris; ZUSMAN, Alla. **New Tools for Failure and Risk Analysis: Anticipatory Failure Determination (AFD) and Theory of Scenario Structuring**. USA: Ideation International Inc., 2005.

KAPLAN, Stan. **Finding Failures Before They Find Us: An Introduction to the Theory of Scenario Structuring and the Method of Anticipatory Failure Determination**. In: SYMPOSIUM ON QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT, 9, 1997. Disponível em: <<https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN024141576/Finding-Failures-before-They-find-Us-An-Introduction/>>. Acesso em 05 dez. 2016, 20:10.

KARA-ZAITRI, Chakib; KELLER, Alfred Z.; BARODY, Imre; FLEMING, Paulo V. **An Improved FMEA Methodology**. Reliability and Maintainability Symposium, IEEE press., p. 248-252, 1991. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/3521212_An_improved_FMEA_methodology>. Acesso em: 05 dez. 2016, 20:13.

KLAUS, Ehrlenspiel. **Integrierte Produktentwicklung**. 2. ed. Munchen: Carl Hanser Verlag Munchen, 2003.

KOHNHAUSER, Veit. Use of TRIZ in the Development Process: Zero-Defect-Development for Customer Centered Innovative Products. TRIZ Journal, 1999. Disponível em: <<https://triz->

journal.com/use-triz-development-process-zero-defect-development-customer-centered-innovative-products/>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:33.

LAURENTI, Rafael; VILLARI, Bruno D.; ROZENFELD, Henrique. Problemas e Melhorias do método FMEA: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **P&D em Engenharia de Produção**, v. 10, n.1 p. 59-70, 2012. Disponível em: <<http://www.revista-ped.unifei.edu.br/documentos/V10N01/06-1211-V10-N1-2012.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:31.

Laboratório de Epidemiologia e Estatística. Tipo de Resposta, [1996a]. Disponível em: <http://www.lee.dante.br/pesquisa/amostragem/calculo_amostra.html>. Acesso em: 05 dez. 2016, 20:24.

_____. Estimação de Uma Proporção, [1996b]. Disponível em: <http://www.lee.dante.br/pesquisa/amostragem/calculo_amostra.html>. Acesso em: 05 dez. 2016, 20:24.

_____. Glossário de Termos, [1996c]. Disponível em: <<http://www.lee.dante.br/pesquisa/amostragem/glossario.html#prec-ab>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 20:32.

LIVOTOV, Pavel. Innovative Product Development and Theory of Inventive Problem Solving. TRIZ and Innovation Management, **Innovator**, ago. 2008. Disponível em: <http://www.triz.it/triz_papers/2008%20TRIZ%20and%20Innovation%20Management.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016, 22:41.

_____. The Undervalued Innovation Potential: Industrial Application of TRIZ Delivers More Breakthroughs to Less Cost – If the Right Tools Are Applied at the Right Time and Place. Research Gate, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237686175_The_undervalued_innovation_potential_industrial_application_of_TRIZ_delivers_more_breakthroughs_to_less_cost_-_if_the_right_tools_are_applied_at_the_right_time_and_place>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:40.

LWANGA, Stephen. K.; LEMESHOW, Stanley. **Sample Size Determination in Health Studies**: a Practical Manual. Geneva: World Health Organization, 1991.

MANN, Darrell. **Hands-on Systematic Innovation**. Belgium: CREAX Press, 2002.

MASIN, Ivan.; JIRMAN, Pavel. Production Problems Solving Based on Negative Effect and Non-Desirable Component Identification. **Triz Future Conference**, Lisboa, out. 2012.

MCDERMOTT, Robin. E.; MIKULAK, Raymond. J.; BEAUREGARD, Michael. R. **The Basics of FMEA**. 3. ed. New York: CRC Press, 2009.

OCHLBERG, Lora; AGOGINO, Alice. Undergraduate Conceptions of the Engineering Design Process: Assessing the Impact of a Human-Centered Design Course. Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, 2011. Disponível em: <http://bid.berkeley.edu/files/papers/ASEE_ME110_final_authors.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016, 20:10.

PAHL, Gehard; BEITZ, Wolfgang. **Engineering Design: A Systematic Approach**. London: Springer, 2001.

PROSEANIC, Vladimir; TANANKO, Dmitry; VISNEPOLSCHI, Svetlana. The Experience of the Anticipatory Failure Determination (AFD) Method Applied to an Engine Concern. TRIZ Journal, 2000. Disponível em: <<https://triz-journal.com/experience-anticipatory-failure-determination-afd-method-applied-engine-concern/>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:42.

REGAZZONI, Daniele; RUSSO, Davide. TRIZ Tools to Enhance Risk Management. TRIZ Future Conference, vol. 9, p. 40-51, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811001160>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 21:28.

SANTANA, Alessandro.; MASSARANI, Massarani. Engenharia do Valor Associada ao DFMEA no Desenvolvimento de Produto. Society of Automotive Engineers, Inc, p.1-12, 2005. Disponível em: <<http://www.mecanica-poliusp.org.br/05pesq/cont/pdf/712.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 20:06.

SARNO, Emilio; KUMAR, Vipin; LI, Wei. A hybrid methodology for enhancing reliability of large systems in conceptual design and its application to the design of a multiphase flow station. Engineering Design, p. 27-41, 2005. Disponível em: <<http://faculty.washington.edu/vkumar/microcel/linkfiles/labpapers/15.pdf>>. Em acesso: 04 dez. 2016, 22:53.

SONG, Ting; BECKER, Kurt; GERO, John; DEBEARD, Scott; LAWANTO, Oenardi; REEVE, Edward. Problem Decomposition and Recomposition in Engineering Design: a Comparison of Design Behavior Between Professional Engineers, Engineering Seniors, and Engineering

Freshmen. *Journal of Technology Education*, Vol. 27. n. 2, 2016. Disponível em: <<https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JTE/v27n2/song.html>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 20:02.

SOUCHKOV, Valeri. *Breakthrough Thinking With TRIZ for Business and Management: na Overview*. ICG Training & Consulting, 2014. Disponível em: <<http://www.xtriz.com/TRIZforBusinessAndManagement.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:22.

_____. **A Brief History of TRIZ**. *TRIZ Journal*, 2015. Disponível em: <<https://triz-journal.com/a-brief-history-of-triz/>>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:43.

SOUZA, Rodrigo Q.; ALVARES, Alberto. J. A. FMEA and FTA Analysis for Application of the Reliability Centered Maintenance Methodology: Case Study on Hydraulic Turbines. *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, vol. 3, p. 803-812, 2008. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/symposium-series/SSM_Vol3/Section_VII_Emerging_Technologies_and_Applications/SSM3_VII_10.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2016, 19:36.

STONE, Robert; TUMER, Irem; STOCK, Michael. **Linking product functionality to historic failures to improve failure analysis in design**. *Research in Engineering Design*, v.16, n.1, p.96-108, 2005. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00163-005-0005-z>>. Acesso em: 06 dez. 2016, 18:30.

THURNES, Christian M.; ZEIHSEL, Frank; VISNEPOLSHI, Svetlana; HALLFELL, Frank. Using TRIZ to Invent Failures: Concept and application to go beyond traditional FMEA. *TRIZ Future Conference*, vol. 131. p. 426-450, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815043313>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 22:37.

UNGVARI, Steven F. *The Anticipatory Failure Determination Fact Sheet*. *TRIZ Journal*, 1999. Disponível em: <<https://triz-journal.com/anticipatory-failure-determination-fact-sheet/>>. Acesso em: 06 dez. 2016, 18:31.

_____. **TRIZ**. In: *Manufacturing Handbook of Best Practices: An Innovation, Productivity and Quality Focus* ed. REVELLE, Jack B. USA: St. Lucie Press, 2002.

WATKINS, Jessica; SPENCER, Kathleen; HAMMER David. Examining Young Students' Problem Scoping in Engineering Design. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, vol. 4, n. 1, p. 43-53, 2014. Disponível em: <<http://docs.lib.purdue.edu/jpeer/vol4/iss1/5/>>. Acesso em: 04 dez. 2016, 21:06.

WEIMAR, Gerhard; LIVOTOV, Pavel. Thinking the Unthinkable: Advanced Identification of Faults for the Purpose of Determining Potential Plant and Equipment Breakdowns. **TRIZ Future Conference**, Bath, p. 79-84, nov. 2001.

YUAN, James T. J.; KONG, Kuan Y.; PARVEEN, Hashma; ZHIXIANG, Huang; RAJASEKARAN, Ganeshkumar; BEHERA, Jitendra K.; SANAEI, Roozbeh; OTTO, Kevin N.; HOLTTA-OTTO, Katja. An Overview of Design Cognition Between Experts and Novices. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED DESIGN RESEARCH AND EDUCATION, jul. 2014. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Hashina_Parveen/publication/264545745_An_Overview_of_Design_Cognition_between_Experts_and_Novices/links/53e4702b0cf21cc29fc8f781.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016, 21:12.

APÊNDICE A – MATERIAL EXPOSITIVO DO MINICURSO

Neste apêndice, apresenta-se o material didático, em formato de *slides*, utilizado nas sessões do minicurso “Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) e Determinação Antecipada de Falha (AFD) para Desenvolvimento de Produto”.

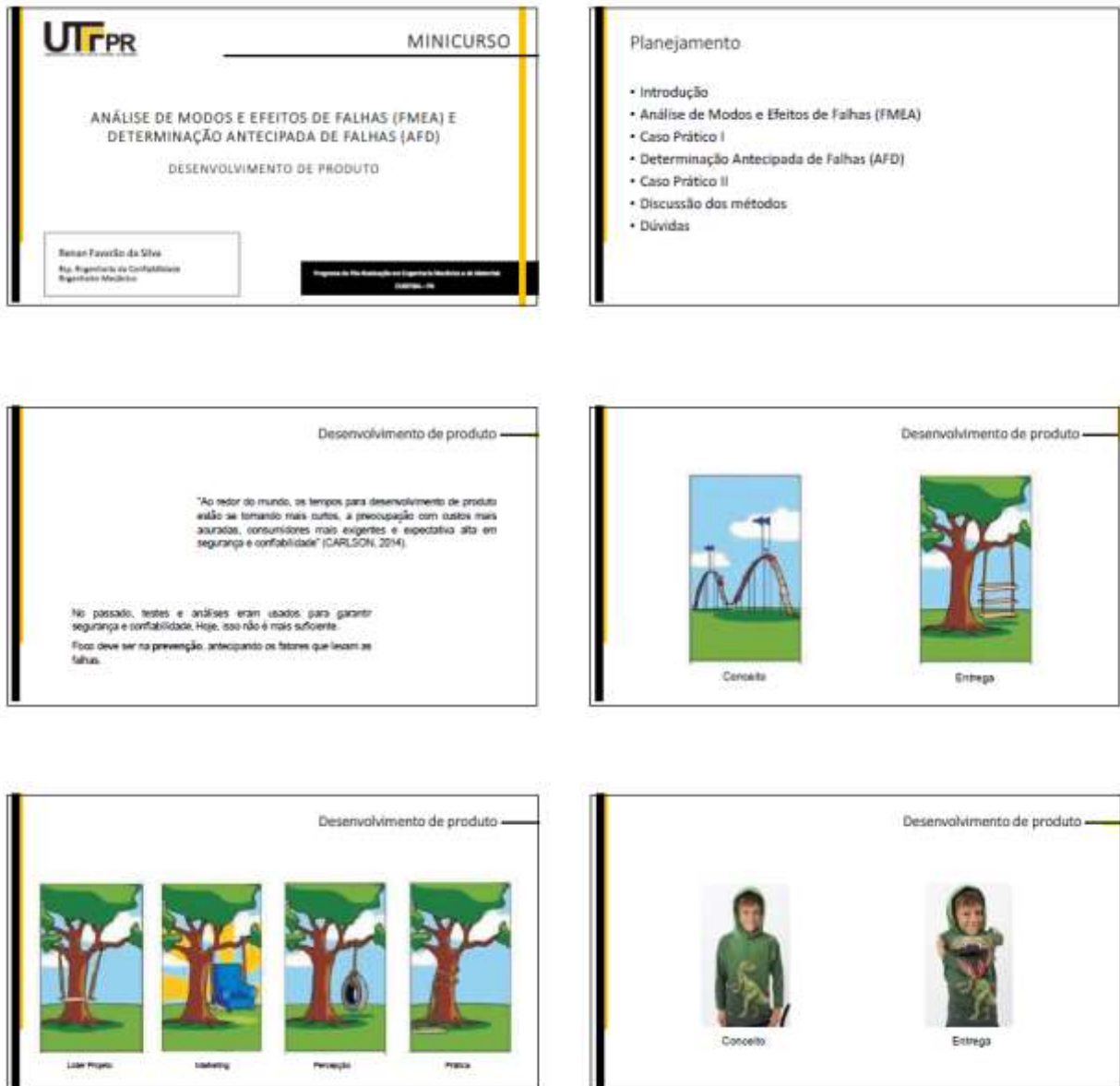


Figura 12 – Material expositivo do minicurso: *slides* 1 a 6

Fonte: Autoria própria

Expectativas

"As ferramentas de identificação dos modos de falhas podem antecipar e prevenir problemas, reduzir custos, diminuir tempo de desenvolvimento e alcançar padrões de segurança e confiabilidade a produtos" (CARLSON, 2014).

E para o minicurso? Quais são as suas?

Formato:
 Palavras-chave: FMEA, AFD, Identificação Modos de Falhas, Confiabilidade, Desenvolvimento de Produtos, Processo, etc.

Apresentações

Renan Faveiro
 Técnico em Lubrificação (Vale)
 Engenheiro Mecânico (UNESP)
 Especialista em Engenharia Confiabilidade (UNESP)
 Mestrado em Engenharia Mecânica (UNESP)
 2 anos e meio de experiência profissional em engenharia de manutenção e confiabilidade por duas multinacionais.

Expectativas:

1. Compartilhar suas técnicas importantes no conteúdo ministrado para identificação de falhas potenciais.
2. Fumar leve de sabão para desinfectação de material.
3. Trazer experiência e vivência profissional.

FMEA

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMÉA) E DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS (AFD)

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Breve histórico

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

30% implementação efetiva em indústrias brasileiras

MICHAEL STANBARI
 Mestrado em Engenharia Mecânica
 Especialista em Engenharia Confiabilidade (UNESP)

Normas

Há diversas padrões e guias publicados que orientam a adoção e um procedimento genérico para realizar FMEA.

FMEA

- SAE J1739 – DFMEA e PFMEA (2006)
- AIMS (2006)
- MI-STD-1629A (2006)
- SAE ARP1587 (2005)
- ISO 9001 (2004)

Definição e propósito

É um análise de engenharia realizada no estágio inicial do desenvolvimento do produto por um time multifuncional com foco no projeto do produto (design) ou o processo de manufatura.

FMEA

- Identificar e avaliar falhas potenciais
- Avaliar risco associado aos modos de falhas
- Identificar ações corretivas

O FMEA é uma guia o desenvolvimento de um conjunto de ações que irá reduzir o risco associado ao sistema, subsistema e componente ou etapa do processo de manufatura.

Risco e perigo

Perigo
 O que pode causar prejuízo, perda, sofrimento, etc.;
 Situação em que está ameaçada a existência ou integridade.

Risco
 Possibilidade de perigo, que ameaça as pessoas ou o meio ambiente.
 Abrange probabilidade, condições de controle e outras fatores.

Momento adequado para FMEA

FMEA deverá ser realizado **antecipadamente** no processo de desenvolvimento do produto, quando as modificações podem ser facilmente implantadas.

Tradução: Requisitos, Desenvolvimento, Qualificação, Lançamento

Atua para melhorar produtos e processos

FMEA Conceito, FMEA Sistema, FMEA Projeto, FMEA Processo

Figura 13 – Material expositivo do minicurso: slides 7 a 14
 Fonte: Autoria própria

CASO PRÁTICO I FMEA

**ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA) E
DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS (AFD)**

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Preparação FMEA

Toda preparação é essencial para o projeto do FMEA ser bem sucedido e ser realizado no momento adequado do desenvolvimento do produto. Realizar ataques na preparação do FMEA significa comprometer o projeto como um todo.

Selecionando o projeto FMEA

FMEA leva tempo e custa para empresas e deveria ser aplicado para certo nível de risco. Novos produtos podem conter centenas de subsistemas e componentes. Poucas empresas tem recursos adequados para realizar as análises em tudo.

Exemplos de critérios para selecionar o FMEA:

- Nova tecnologia;
- Questão de segurança;
- Histórico de problemas;
- Fomecimento;
- Legislações.

Subsistema	Análise de Risco				TOTAL
	1	2	3	4	
A	1	1		2	2
B	2	1		2	3
C	2	2		2	6
D					
E	1	2		1	4

Caso prático I

Orientações gerais:

- i. Atividade realizada em grupo;
- ii. Cada grupo recebe um caso para aplicação de FMEA;
- iii. Utilizar o guia de FMEA conforme orientação das etapas durante treinamento;
- iv. O facilitador do processo atende as necessidades de cada grupo quando necessário;
- v. O desenvolvimento de cada grupo deve ser individual e sem interferência dos demais;
- vi. Os resultados serão reunidos para discussão final no encerramento do treinamento;
- vii. Registrar todos os campos dos formulários.

Considerações FMEA

"Prevenir problemas de processo e produto antes que eles ocorram é o propósito do FMEA. Usado nos processos de projeto e de manufatura, ele substancialmente reduz custos identificando falhas antecipadamente no processo de desenvolvimento quando as mudanças ainda são relativamente baratas para fazer" (MCDERMOTT, 2008).

Formulário 4.
Considerações gerais do treinamento e atividades.

AFD

**ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA) E
DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS (AFD)**

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Breve histórico

Anticipatory Failure Determination (AFD)

TRIZ

"O desenvolvimento da TRIZ por seu fundador, juntamente com seus associados, estudou uma vasta base de soluções tecnológicas, patentes e invenções" (SOUCHKOV, 2014).

Sergey Altshuler
1926 - 1988

Teoria Resolva Problemas (TRIZ)
Theory Inventive Problem Solving
Teoria da Solução Inventiva de Problemas

Figura 16 – Material expositivo do minicurso: slides 31 a 38

Fonte: Autoria própria

TRIZ

A TRIZ foi originada na metade do século XX (1946) na existência da URSS para desenvolver um método que apoiasse a geração inventiva de ideias e soluções de modo sistemático.

X
🏆
X
X
X

Como se avalia?

Altshuler foi o primeiro que aplicou uma abordagem científica e empírica para entender como são resolvidos os problemas que exigem pensamentos criativos.

Foi possível para ele entender que a inovação não é um processo aleatório, dependente de fatores incontroláveis. Pelo contrário, os avanços tecnológicos têm tendências objetivas que podem ser aprendidas.

Breve histórico

1946 - 1948 TRIZ (TRIZ) - JARZ - Principais membros - AMCI de Comunicações - Suécia

Anticipatory Failure Determination (AFD)

TRIZ

★

PERES

TRÓIKA

Definição e propósito

Uma metodologia que ajuda a revelar os potenciais modos de falhas em sistemas, processos de manufatura, serviços, entre outros, antes que os problemas apareçam com seus efeitos nocivos e indesejáveis (KAPLAN et al., 2002).

AFD

Revelar as causas de falhas ou erros

Eliminar os problemas associados

A Determinação Antecipada de Falhas é uma aplicação da TRIZ para análise de risco baseada nos conceitos da Teoria de Estruturação de Cenários que eram chamados de "Análise de Subversão" nos antigos trabalhos da TRIZ.

Análise de Risco

A Análise de Risco é uma prática formalizada há mais de 40 anos que, durante esse período, teve sua popularidade crescente. Ela é aplicada onde é que tenha riscos, ou seja, todo lugar.

Os analistas, mais recentemente, enfatizam que as análises precisam incluir não só a identificação da taxa, mas a quantificação do evento, dando origem a análise quantitativa.

I. O que pode dar errado;

II. Probabilidade de acontecer;

III. Consequência do incidente.

A determinação de II e III, pode ser entendida como quantitativa, enquanto que I, qualitativa. O interesse desse minicurso refere-se a parte qualitativa, a qual a AFD tem sua contribuição.

Nomenclaturas

Outras nomenclaturas para o processo de predição de falhas de base TRIZ.

AFD

Análise de subversão

Análise Subversiva

Identificação Antecipada de Falhas (IAF)

Predição Antecipada de Falhas (PAF)

Determinação Antecipada de Falhas (DAF)

Introdução AFD

O princípio dos métodos de predição de falhas da base TRIZ se refere a uma técnica fundamental de usar TRIZ de modo reverso, ou seja, para encontrar os modos de como causar um projeto a falhar.

Como falhar?

Introdução AFD

O princípio dos métodos de predição de falhas da base TRIZ se refere a uma técnica fundamental de usar TRIZ de modo reverso, ou seja, para encontrar os modos de como causar um projeto a falhar.

Teoria da Estruturação de Cenários

"Pode-se dizer que o processo de identificação e estruturação de cenários de forças e parte plácida e parte árdua, frequentemente requerendo imaginação criativa consistente para visualizar todos os possíveis cenários" (KAPLAN et al., 2002).

Princípios da Estruturação de Cenários:

- O cenário ideal (SI)

Figura de força inicial, outros cenários emergem

De todos os cenários, necessitamos para um mesmo falha inicial estabelecer um cenário, onde a falha não acontece.

Subseqüentes cenários, com o mesmo cenário de força e posição de auto falha presente na situação.

Para se ter um cenário de falha

Figura 17 – Material expositivo do minicurso: slides 39 a 46
 Fonte: Autoria própria

Etapa VI

VI. Utilização da base de conhecimento: identificar novas falhas potenciais a partir de uma lista de sugestões provenientes da base do conhecimento sobre o sistema.
Incluir modos de falhas na árvore de eventos caso sejam identificados durante a aplicação da base de conhecimento.

Identificação de falhas potenciais por meio da base de conhecimento:

4. "Como tipicamente falham os parâmetros de controle?"	<p>a. Qual região é mais vulnerável para menor estorço em charnecas?</p> <p>Zona de concentração de fluxo; Zona sujeita a alta intensidade de tensão; Zonas de conflito; Zonas de junções; Zonas de potencial de energia.</p>
5. "Tipicas falhas funcionais?"	
7. "Tipicas falhas típicas no sistema?"	
8. "Etapas do ciclo de vida típicas de erro humano?"	
9. "Tipicas falhas, perigos ou falhas de projeto de sistema?"	
1. "Tipicas falhas de projeto antigo?"	

2. "Tipicas falhas no caso de substituição, upgrade e manutenção?"

Etapa VI

VI. Utilização da base de conhecimento: identificar novas falhas potenciais a partir de uma lista de sugestões provenientes da base do conhecimento sobre o sistema.
Incluir modos de falhas na árvore de eventos caso sejam identificados durante a aplicação da base de conhecimento.

a. Qual região é mais vulnerável para menor estorço em charnecas? b. Quais são as falhas funcionais típicas?

Zona de concentração de fluxo; Zona de estagnação - *desenvolvimento*; força mecânica processo;
Zona sujeita a alta intensidade de tensão; Zona de estagnação; *desenvolvimento*;
Zonas de conflito; Aplicação de alto torque para *desenvolvimento*;
Zonas de junções; União com componentes antigos; *desenvolvimento* de materiais;
Zonas de potencial de energia; Parâmetros de energia interna antigos.

Etapa VII

VII. Identificação e caracterização de efeitos: identificar formas de como cada modo de falha pode ser interpretado ou caracterizado, de modo que se tornem apropriadamente severos.
Usar atributos fortes nos falhas (a exemplo de tempo, nunca, completamente, etc.) durante esse processo ajuda a priorizar as falhas e tornar os problemas mais evidentes.

(Possíveis eventos locais detectados): Estagnação/ reversão (E1), processo ruim (E2), sobretensão/deficiência (E3) ...
(Possíveis falhas detectadas): Anomalia do modo de produção (EF1), relaxamento (EF2), redução das ventosas (EF3) ...

(Possíveis eventos locais detectados): Torção (E1), alta tensão (E2), Paralisação (E3) ...
(Efeitos finais detectados): Falha; quebra (EF1), Paralisação; quebra (EF2), Paralisação "segunda" (EF3) ...

I. Como eu posso priorizar esse estado final (EFA)?

II. Como eu posso caracterizar esse estado final (EFA)?

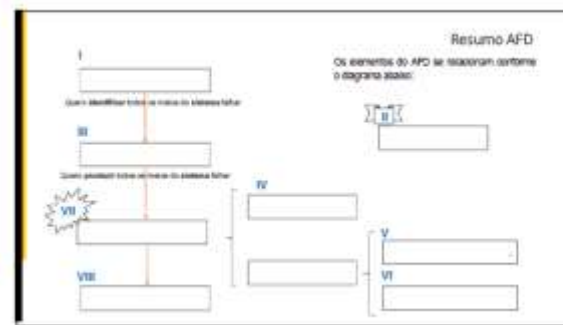
Etapa VIII

VIII. Prevenção e eliminação de falhas e efeitos nocivos: listar as soluções típicas encontradas para os modos de falhas evidentes e de baixa complexidade.
Utilizar os dados de falhas de base TQC para desenvolver e solucionar os demais casos.

"O caminho ideal para prevenir um inconveniente ou falha e eliminar suas causas, há muitas razões, contudo, pois, quais pode não ser possível, isso pode ser muito caro, muito demorado, fora da sua área de responsabilidade, etc." (HARLAN et al., 2005).

Prevenção e eliminação de falhas e efeitos nocivos:
Estratégias de prevenção e eliminação de falhas e efeitos nocivos:

- 1. **Eliminar os modos de falhas detectados:** Prevenir o problema de ocorrência;
- 2. **Eliminar os problemas atuais:** Prevenir os efeitos de problemas;
- 3. **Eliminar os efeitos:** Prevenir as consequências.



CASO PRÁTICO II
AFD

ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA) E DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS (AFD)

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Caso prático II

Orientações gerais:

1. Atividade realizada em grupo;
2. Cada grupo receberá um caso para aplicação de AFD;
3. Utilizar o guia de AFD conforme orientação das etapas durante treinamento;
4. O facilitador do processo atenderá as necessidades de cada grupo quando necessário;
5. O desenvolvimento de cada grupo deve ser intuitivo e sem interferência dos demais;
6. Os resultados serão reconhecidos para discussão final no encerramento do minicurso;
7. Registrar horário de início e término.

Material de apoio:

- Formulário AFD;
- Guia de orientação das etapas AFD;
- Compromisso para identificação dos efeitos;
- Caso de estudo.

Considerações AFD

"Uma observação interessante sobre o AFD é que parece atacar de todas as direções de uma vez. É uma abordagem particular e compreensiva assim como pensativa. Além disso, como é relativamente nova, ela tem muito potencial para crescimento e se tornar mais poderosa e útil" (HARLAN, 2005).

Formulário II.
Considerações gerais do treinamento e atividades.

Figura 19 – Material expositivo do minicurso: slides 55 a 62

Fonte: Autoria própria

The figure displays three presentation slides from a course. The top-left slide is titled 'DISCUSSÃO DOS MÉTODOS' and discusses 'ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA) E DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS (AFD)' in the context of 'DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO'. The top-right slide, titled 'Considerações Finais', summarizes the course's goal of introducing failure identification tools and asks for audience impressions. The bottom-left slide, titled 'Referências', lists two books: 'Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs' by Chris S. Carbone (2014) and 'New Tools for Failure and Risk Analysis: Anticipatory Failure Determination (AFD) and Theory of Scenario Structuring' by Man Kaplan, Yaroslav Voropelich, Boris Zolov, Alla Zolova, Ibadulla, 2012.

DISCUSSÃO DOS MÉTODOS
ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA) E
DETERMINAÇÃO ANTECIPADA DE FALHAS (AFD)
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Considerações Finais
O assunto geral desse minicurso objetivou a introdução de ferramentas de identificação de falhas potenciais para desenvolvimento de produtos. As metodologias FMEA e AFD e suas particularidades foram apresentadas por meio da explanação teórica e aplicação de casos de estudo.
Quais foram suas impressões sobre os métodos?
Parabéns!
Considerações sobre as aplicações e comparação aos métodos.

Referências
Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs
Chris S. Carbone, 2014
New Tools for Failure and Risk Analysis: Anticipatory Failure Determination (AFD) and Theory of Scenario Structuring
Man Kaplan, Yaroslav Voropelich, Boris Zolov, Alla Zolova, Ibadulla, 2012

Figura 20 – Material expositivo do minicurso: *slides 63 a 65*

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B – CASOS PRÁTICOS DO MINICURSO

São apresentados, neste apêndice, os casos práticos utilizados durante as etapas de aplicação prática do minicurso “Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) e Determinação Antecipada de Falha (AFD) para Desenvolvimento de Produto”. Cada grupo recebe um dos casos para o desenvolvimento da aplicação prática da FMEA e outro para a AFD, conforme planejamento da atividade exposto na Tabela 11. Ao final do minicurso, os resultados pelas duas ferramentas são discutidos com todos os participantes.

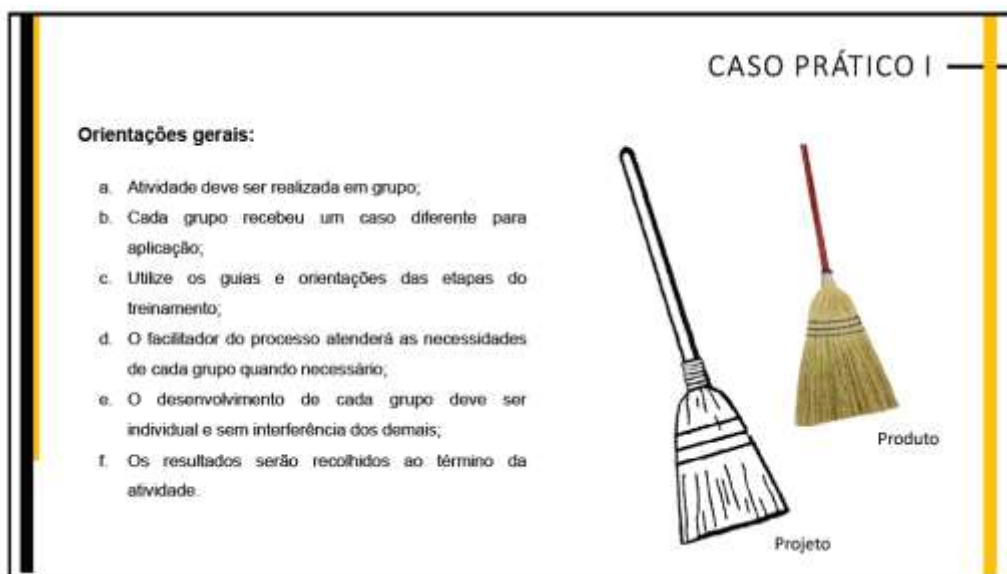


Figura 21 – Caso prático 1: Projeto de vassoura

Fonte: Autoria própria



Figura 22 – Caso prático 2 e 3: Projetos de frigideira e de óculos

Fonte: Autoria própria



Figura 23 – Caso prático 4 e 5: Projetos de tesoura e de caderno

Fonte: Autoria própria

Acompanhados das orientações gerais para os casos práticos, conforme Figuras 21, 22 e 23, os participantes recebem formulários de apoios para a aplicação de cada ferramenta. Esses documentos complementam a atividade prática com orientações específicas para a FMEA e a AFD, como exposto na Tabela 12 e Apêndice C. Com os documentos em mãos, inicia-se a atividade com a facilitação do ministrante do minicurso.

APÊNDICE C – FORMULÁRIOS DE APOIO PARA OS CASOS PRÁTICOS

Os formulários foram utilizados nos casos práticos do minicurso “Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) e Determinação Antecipada de Falha (AFD) para Desenvolvimento de Produto”, conforme exposto na Tabela 12 e desenvolvidos com base no Instituto da Qualidade Automotiva (2008) e Kaplan *et al.* (2005).

FMEA: Guia de orientação das etapas	
<p>I. Item: É o foco da aplicação do FMEA. Ex. Para o FMEA de Projeto, o item pode ser o subsistema ou componente que está em análise (pode ser mais de um).</p>	<p>VII. Ocorrência (O): É um <i>ranking</i> numérico associado a probabilidade do modo de falha e sua causa associada estarem presentes no item analisado. Para FMEA de projeto, considera-se a probabilidade de ocorrência durante o desenvolvimento do produto.</p>
<p>II. Função: É o propósito pelo qual o item ou processo foram projetados. As funções são descritas por termo combinando verbo + substantivos seguido do padrão de performance (complemento). Ex. Projeto freio de mão: fornecer o correto nível de fricção entre a pastilha de freio e o aro para parar bicicleta na distância requerida.</p>	<p>VIII. Controles: São métodos ou ações atualmente planejadas, ou já implantadas, para reduzir ou eliminar o risco associado a cada causa potencial. Durante a fase de desenvolvimento do produto, controles podem ser de prevenção ou de detecção. Em ambos os casos pode-se associar mais de um controle a uma única causa.</p>
<p>III. Modo de Falha Potencial: É a maneira pela qual o item potencialmente falha em entregar as funções e/ou requisitos associados. Pelo dicionário, falha é o ato de interromper a função ou estado de funcionalidade, enquanto que modo é a maneira que algo acontece. Ex. Modo de falha potencial freio de mão: atrito insuficiente entregue pelo freio de mão entre pastilha e aro.</p>	<p>IX. Detecção (D): é um valor numérico associado ao controle de detecção da causa ou modo de falha com base em uma escala de detecção. Ele considera a probabilidade de identifica-los durante o desenvolvimento do projeto.</p>
<p>IV. Efeito de Falha Potencial: É a consequência da falha no sistema ou usuário final. Pode ser mais de um efeito levantado.</p>	<p>X. Número de Prioridade de Risco (NPR): é um ranking numérico de risco para cada modo de falha ou causa, calculado pelo produto dos três fatores de risco: severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). $NPR = Severidade (S) \times Ocorrência (O) \times Detecção (D)$.</p>
<p>V. Severidade (S): É um número baseado em uma escala de severidade associado a criticidade de cada efeito identificado para modos de falha. Comumente utiliza-se escalas diferentes para os diferentes propósitos do FMEA.</p>	<p>XI. Ações recomendadas: são tarefas recomendadas pelo time do FMEA para reduzir ou eliminar o risco associado com a potencial causa das falhas. Deve-se considerar a existência de atuais controles, priorização por NPR e efetividade da ação proposta. Na prática, deve-se utilizar mais de uma ação para as causas potenciais de maior risco.</p>
<p>VI. Causa da Falha Potencial: A causa é a razão específica pela qual a falha acontece. Para FMEA de projeto, a causa aponta deficiências de projeto e pode-se ter muitas para cada modo falha, identificadas pelo <i>brainstorming</i>.</p>	

Figura 24 – Guia de orientações FMEA

Fonte: Autoria própria

Tabela de critérios para DFMEA			
	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO
1	Sem efeito Sem efeitos notáveis	Muito Baixa A falha é eliminada através de controles preventivos	Prevenção de Falha A causa de falha ou modo de falha não podem acontecer porque está completamente impedido através de soluções de projeto (prevenido)
2	Aborrecimento Item operante com incômodos notados por <25% dos clientes	Baixa Falhas associadas não observadas com projetos quase idênticos ou em simulação de projeto e testes	Análise Virtual - Correlacionada Os controles de detecção/análise de projeto têm uma forte capacidade de detecção antes de finalizar o projeto
3	Aborrecimento Item operante com incômodos notados por 50% dos clientes	Baixa Somente falhas isoladas associadas com projetos quase idênticos ou em simulação de projeto e testes	Finalizar Projeto a Priorie A validação do produto (teste) antes de finalizar o projeto utilizando testes de degradação
4	Aborrecimento Item operante com incômodos notados por >75% dos clientes	Moderado Falhas isoladas associadas a projetos similares ou em simulação de projeto e testes.	Finalizar Projeto a Priorie A validação de produto (testes) antes de finalizar o projeto, usando testes para falhar (destrutivos)
5	Degradação da Função Secundária Degradação de função secundária	Moderado Falhas ocasionais associadas com projetos similares ou em simulação de projeto e testes	Finalizar Projeto a Priorie A validação de produto (testes) antes de finalizar o projeto utilizando testes passará (falhas)
6	Perda da Função Secundária Perda de função secundária	Moderado Falhas frequentes associadas com projetos similares ou em simulação de projeto e testes	Finalizado o Projeto e Lançar a Priorie A verificação/validação do produto depois de finalizar o projeto e antes de lançar com teste de degradação
7	Degradação da Função Primária Degradação de função primária	Alto Falhas são incertas com novo projeto, nova aplicação, ou mudança no ciclo de condições operacionais.	Finalizado o Projeto e Lançar a Priorie A verificação/validação do produto depois de finalizar o projeto e antes de lançar com teste de destrutivo
8	Perda da Função Primária Perda de função primária	Alto Falhas são prováveis com novos projetos, novas aplicações, ou mudanças no ciclo de condições operacionais.	Finalizado o Projeto e Lançar a Priorie A verificação/validação do produto depois de finalizar o projeto e antes de lançar com teste passará
9	Complacência de Segurança e/ou Regulatória O modo de falha potencial afeta operação segura o e/ou envolve descumprimento de normas de agências reguladoras do governo (com aviso)	Alto A falha é inevitável com novos projetos, novas aplicações, ou mudança no ciclo de condições operacionais.	Dificuldade para Detectar Os controles de análise/detecção do projeto têm uma fraca capacidade de detecção.
10	Complacência de Segurança e/ou Regulatória O modo de falha potencial afeta operação segura o e/ou envolve descumprimento de normas de agências reguladoras do governo (sem aviso)	Muito Alto Novas tecnologias/novos projetos com nenhum histórico.	Incerteza Absoluta Nenhum controle atual de projeto; Não pode detectar ou não é analisado.

Figura 26 - Tabela para critérios DFMEA
Fonte: Autoria própria

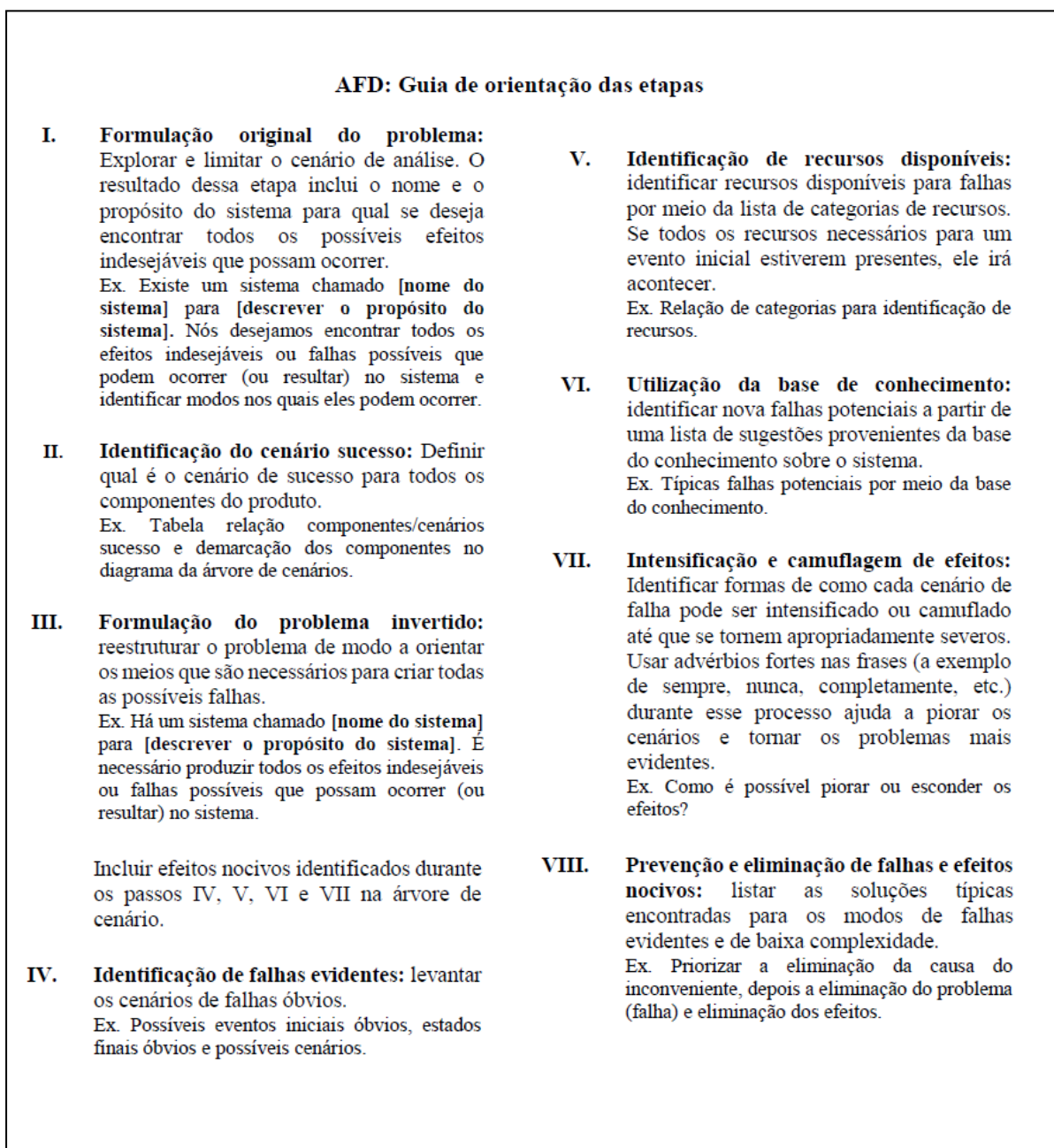


Figura 27 – Guia de orientações AFD

Fonte: Autoria própria

Determinação Antecipada de Falhas

AFD - Anticipatory Failure Determination	
Facilitador AFD: Eng. Renan Favareto	Data e horário inicial:
Equipe Titular:	Data e horário final:
Descrição do Item:	Número do Grupo:
Outros Detalhes:	Universidade:

Diagrama da árvore de cenários

Identificação de cenário de sucesso

Prevenção e eliminação de falhas e efeitos nocivos
(Listar os efeitos nocivos identificados no diagrama e propor as soluções para cada caso)

Figura 28 – Formulário AFD
Fonte: Autoria própria

AFD: Checklist

Etapa V. Identificação de recursos disponíveis:

O termo é utilizado para denotar qualquer substância, campo, configuração, intervalos de tempo ou espaço ou outro fator presente na situação. O guia de AFD da Ideation classifica em:

Recursos substanciais: provenientes de itens materiais, palpáveis. Ex. componentes do produto, outros itens gerais que estejam próximo ou em contato com o produto;

Recursos de campo: englobam os campos da física. Ex. campo térmico;

Recursos de espaço: aproveitam das grandezas espaciais. Ex. geometrias, vazios;

Recursos de tempo: provêm dos efeitos decorrentes de variações temporais;

Recursos de função: associam a funcionalidade dos itens;

Recursos de sistemática: provenientes do sistema em que está incorporado. Ex. rotinas de uso;

Recursos de mudança: provêm de alterações envolvidas;

Recursos diferenciais: englobam particularidades;

Recursos inerentes: aproveitam das características dos itens ou meio;

Recursos organizacionais: provenientes da rotina e estrutura organizacional;

Pequenos distúrbios e Elementos perigosos: englobam ações nocivas ou condições de risco;

Equipamentos de controle e Sistemas de proteção: associam as condições de segurança e controle.

O guia de novação sistemática reduz as categorias em: recursos presentes no ambiente, recursos de baixo custo ou abundante, recursos de manufatura, recursos de materiais, transformar/modificar substâncias, recursos associados com humanos.

Etapa VI. Utilização da base de conhecimento:

A etapa sugere iniciar a busca por falhas com base nas categorias mais conhecidas para problemas. As categorias seguem com alguns exemplos:

Zonas típicas de fraqueza e perigo do sistema: zonas de concentração de fluxos, zonas sujeitas a alta intensidade de campo, zonas de conflito, zonas de junções, zonas de potencial de energia.

Típicas falhas funcionais: de dispositivos, de componentes, de tecnologia, de materiais, de objetos da natureza.

Impactos nocivos típicos no sistema: mecânicos, térmicos, químicos, elétricos, magnéticos, biológicos, eletromagnéticos, psicológico e emocional.

Estágios do ciclo de vida típico do sistema tecnológico: deteriorações, falhas decorrentes de primeiros usos.

Periodos típicos perigosos no funcionamento do sistema: ao ligar, ao desligar, ao conectar.

Fontes típicas de grande perigo: combustíveis, inflamáveis, pontas.

Típicos distúrbios no fluxo de substâncias, energias e informações: mal contato, transmissões, transferências ruins.

Nem todas as categorias acima aplicam-se a todos os produtos, cabendo ao time da análise verificar a aplicabilidade.

Figura 29 – Checklist AFD

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE D – FORMULÁRIOS DE AVALIAÇÃO DO MINICURSO

Apresenta-se, neste apêndice, o conjunto de formulários de avaliação utilizados na conclusão das sessões do minicurso “Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) e Determinação Antecipada de Falha (AFD) para Desenvolvimento de Produto”, conforme Tabela 13.

Minicurso FMEA e AFD - Formulário I

Apresentação e expectativa

Nome: _____ Curso/Universidade: _____

Semestre: _____ Data do treinamento: _____

Já realizou/realiza estágio? () SIM () NÃO Área: _____

Utilize a escala de 0 a 5 (onde 0 é nenhum e 5 é muito bem) para responder as informações. Em seguida, complemente relatando, em poucas palavras, a sua experiência (vivência) com o tópico.

1. Qual seu conhecimento em Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)? ()

Experiência:

2. Qual seu conhecimento em Determinação Antecipada de Falhas (AFD)? ()

Experiência:

3. Já aplicou/utilizou alguma vez alguma das ferramentas? () SIM () NÃO

Experiência:

4. Quais as suas expectativas para o minicurso? O que motivou a inscrição?

Figura 30 – Formulário de avaliação I: Apresentação e Expectativa
Fonte: Autoria própria

Minicurso FMEA e AFD – Formulário II

Nome (opcional): _____ Curso/Universidade: _____
Semestre: _____ Data do treinamento: _____

Utilize a escala de 0 a 5 (onde 0 é pior avaliação e 5 é a melhor) para responder as perguntas 1 a 3. Em seguida, complemente relatando com sua avaliação por escrito.

1. Com base no seu conhecimento prévio de FMEA e experiências anteriores, como você avalia a efetividade do treinamento para capacitá-lo em desenvolver o caso prático do treinamento?
Nota: ()

Comentários:

2. Como você avalia a qualificação do ministrante para transmitir as informações e orientações durante facilitação de FMEA?
Nota: ()

Comentários:

3. Como você avalia a qualidade do material técnico de FMEA (.ppt, formulários, guias, orientações)?
Nota: ()

Comentários:

4. Com base nessa atividade, quais são suas considerações finais sobre o método e expectativas para o FMEA?

Figura 31 – Formulário de avaliação II: Avaliação FMEA

Fonte: Autoria própria

Minicurso FMEA e AFD – Formulário III

Nome (opcional): _____ Curso/Universidade: _____
Semestre: _____ Data do treinamento: _____

Utilize a escala de 0 a 5 (onde 0 é pior avaliação e 5 é a melhor) para responder as perguntas 1 a 3. Em seguida, complemente relatando com sua avaliação por escrito.

1. Com base no seu conhecimento prévio de AFD e experiências anteriores, como você avalia a efetividade do treinamento para capacitá-lo em desenvolver o caso prático do treinamento?
Nota: ()

Comentários:

2. Como você avalia a qualificação do ministrante para transmitir as informações e orientações durante facilitação de AFD?
Nota: ()

Comentários:

3. Como você avalia a qualidade do material técnico de AFD (.ppt, formulários, guias, orientações)?
Nota: ()

Comentários:

4. Com base nessa atividade, quais são suas considerações finais sobre o método e expectativas para o AFD?

Figura 32 – Formulário de avaliação III: Avaliação AFD
Fonte: Autoria própria

Minicurso FMEA e AFD - Formulário IV

Nome (opcional):

Curso/Universidade:

Semestre:

Data do treinamento:

1. Com base no seu conhecimento e aplicação dos dois métodos, como você avalia a **robustez** das ferramentas entre si:

() Ambas apresentam mesmas oportunidades na identificação e prevenção de modos de falhas

() FMEA apresenta mais oportunidades na identificação e prevenção de modos de falhas

() AFD apresenta mais oportunidades na identificação e prevenção de modos de falhas

() Outra:

Comente as evidências que levaram a essa conclusão:

2. Com base no seu conhecimento e aplicação dos dois métodos, como você avalia o **processo de identificação de falhas** potenciais especificamente:

() Ambas as ferramentas possuem métodos idênticos

() FMEA apresenta método mais eficiente para apoiar o processo

() AFD apresenta método mais eficiente para apoiar o processo

() Outra:

Comente as evidências que levaram a essa conclusão:

3. Com base no seu conhecimento e aplicação dos dois métodos, como você avalia a **facilidade** das ferramentas entre si:

() Ambas as ferramentas tiveram a mesma facilidade de compreensão e execução

() FMEA teve mais facilidade durante todo o processo quando comparada com AFD

() AFD teve mais facilidade durante todo o processo quando comparada com FMEA

() Ambas ferramentas tiveram oscilações no grau de facilidade

Comente as evidências que levaram a essa conclusão:

Figura 33 – Formulário de avaliação IV: Comparação FMEA e AFD I
Fonte: Autoria própria

Para as questões abaixo, selecione apenas uma alternativa:

4. Qual ferramenta você recomendaria para resolução de casos complexos?
() FMEA () AFD () Não teria preferência

Comente os motivos que levaram a essa conclusão:

5. Qual ferramenta você recomendaria para desenvolvimento de produtos?
() FMEA () AFD () Não teria preferência

Comente os motivos que levaram a essa conclusão:

Para finalizar:

6. Quais as limitações/dificuldades que estiveram presentes durante as aplicações dos métodos?

Figura 34 – Formulário de avaliação IV: Comparação FMEA e AFD II

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE E – TABULAÇÃO COMPLETA DO FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO IV. COMPARAÇÃO FMEA E AFD

As sessões do minicurso “Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) e Determinação Antecipada de Falha (AFD) para Desenvolvimento de Produto” coletaram muitos dados por meio dos formulários de avaliação. Embora as análises utilizem os dados agrupados para identificar tendências e considerações, neste apêndice, apresenta-se as respostas coletadas do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD na íntegra para consulta. Essa é a principal base de dados para as conclusões de questionamentos exploratórios da pesquisa.

Nas tabulações, os nomes dos alunos não foram apresentados para preservar as identidades dos participantes. Entretanto, para rastrear as respostas para os diferentes questionamentos, os alunos foram numerados (1 a 105), possibilitando, assim, cruzar respostas de diferentes formulários para o mesmo participante.

Tabela 32 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Robustez

Aluno	Resposta	Anotação
1	FMEA	FMEA conseguimos elencar mais elementos e modo de raciocínio é linear.
2	AFD	Apesar de apresentar mais oportunidades, vejo o AFD com menor probabilidade na indústria.
3	AFD	-
4	AMBAS	FMEA consegue quantificar.
5	AFD	O apelo visual do AFD facilita, e muito, a localização das falhas e as principais.
6	FMEA	-
7	AFD	-
8	AFD	AFD é mais amplo.
9	AFD	O AFD permite que você considere o efeito de outros intermediários nos componentes, permitindo uma visão mais abrangente da análise.
10	AFD	O método permite uma análise mais idealista contemplando coisas que o FMEA não alcança.
11	AFD	O método AFD possui maior abrangência e maior liberdade para definir os modos de falhas.
12	FMEA	FMEA se mostra mais eficaz em identificar problemas mais reais.
13	AFD	No AFD fica melhor evidenciado o modo de falha do conjunto completo podendo ter uma visão do todo e a relação entre eles.
14	AFD	AFD te leva a pensar de maneira mais clara e concreta em como fazer falhar o sistema/componente.
15	AFD	O AFD não classifica as falhas em ordem de prioridade, porém identifica a maioria das falhas e iterações entre elas.
16	OUTRA	FMEA apresenta uma melhor prevenção de falhas e AFD a identificação de falhas.
17	OUTRA	AFD apresenta mais oportunidades na identificação e FMEA na prevenção.

Tabela 32 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Robustez

Aluno	Resposta	Anotação
18	FMEA	Ambas apresentam meios satisfatórios de identificação de problemas, mas FMEA facilita qualificação dos problemas e meios de solução.
19	OUTRA	FMEA apresenta uma melhor prevenção de falhas e AFD a identificação de falhas.
20	AMBAS	Cada um aplicado mediante solicitação.
21	FMEA	Acredito que o FMEA, quando bem feito, abrange todos os aspectos do produto, e o AFD acaba ficando redundante, apresentado os caminhos que levam ao mesmo lugar.
22	AMBAS	Apesar de abordagens diferentes, acredito que ambas possibilitem chegar no mesmo resultado.
23	AFD	Por ser uma ferramenta mais livre, oferece mais oportunidades na identificação.
24	AFD	Pois possui mais abstração de como as falhas podem ocorrer, FMEA foca mais na prevenção.
25	AMBAS	A facilidade na identificação dos modos de falha foi a mesma nas duas ferramentas, apesar de a AFD interligar mais os fatores.
26	AFD	Pois o AFD exige uma maior imaginação o que leva a uma maior gama de possibilidade de falhas.
27	FMEA	Por preferência pessoal acho mais fácil aplicar uma solução mais sistemática como o FMEA.
28	AMBAS	As duas ferramentas apresentam as mesmas oportunidades, com diferença de metodologias nos que conseguem para um mesmo fim.
29	AFD	O AFD permite você trazer mais problemas por serem resolvidos devido a sua maior liberdade.
30	AFD	Permite de certa forma um pensamento mais fora da caixa. Considerando causa que passaram em branco no FMEA.
31	FMEA	Mais específico e rápido.
32	AFD	O AFD permite criar situações inusitadas que não são levadas em consideração no FMEA.
33	AFD	O AFD leva mais encontro as operações do usuário, aumentando a possibilidade de falhas.
34	AFD	Com o AFD, é possível atrelar mais consequências ou causas de falhas não óbvias, através da correlação dos tópicos, exigindo maior criatividade e consequentemente maior inovação.
35	AFD	Na execução do AFD, foi possível se chegar a causas interligadas a vários modos de falhas, o que torna mais possível prevenir tais falhas.
36	AFD	Para usuários menos experientes, o AFD possibilitou atingir uma quantidade maior de falhas em um menor espaço de tempo.
37	AMBAS	A facilidade na identificação dos modos de falha foi a mesma nas duas ferramentas, apesar de a AFD interligar mais os fatores.
38	OUTRA	O FMEA é muito melhor quando já se tem conhecimento sobre o produto (processo), mas quando é um desenvolvimento novo, o AFD se torna melhor.
39	AFD	AFD é um método mais amplo que consegue separar cada causa e os efeitos.
40	AMBAS	Isso pode acontecer com quem está aplicando o grau de conhecimento.
41	AFD	No AFD procura-se várias causas para cada falha apresentada.

Tabela 32 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Robustez

Aluno	Resposta	Anotação
42	AMBAS	Ambas apresentam ótimas oportunidades, porém como observação o AFD possibilita a correção antes mesmo que ela ocorra, tornando uma ferramenta talvez mais eficaz que o FMEA.
43	OUTRA	Ambas apresentam oportunidade de identificação, porém de maneiras diferentes. FMEA identifica problemas mais evidentes, já AFD identifica problemas talvez não tão claros ao usuário.
44	AFD	O método AFD faz com que sejam exploradas ideias e ângulos diferentes que podem levar a uma falha.
45	AFD	A AFD te faz realmente forçar a sua mente a identificar uma possível causa.
46	AFD	Por pensarmos principalmente no que pode falhar.
47	AFD	-
48	FMEA	A ferramenta apresenta melhor robustez para aplicações.
49	AMBAS	Ambas são eficientes levam a identificação e prevenção das falhas. A meu ver, o FMEA pareceu mais completo, porém o AFD por ser mais visual permite interligar fatores. Ambas trazem sucesso esperado.
50	AMBAS	Ambas apresentam as mesmas oportunidades, porém a FMEA considera mais direta.
51	AMBAS	São ferramentas com os mesmos objetivos, mas no final seguem caminhos distintos.
52	AMBAS	-
53	FMEA	Com a prática vi que o FMEA para solucionar é mais eficiente.
54	AFD	Mais maneiras de detectar problemas.
55	AMBAS	Ambas revelam causas de falhas e possíveis ações para contê-las e priorizá-las.
56	AFD	-
57	AFD	O AFD é uma ferramenta que busca aprofundar a resolução de problemas.
58	AFD	O AFD permite análises que normalmente no FMEA ficam ocultas.
59	AFD	AFD é mais direto e simula melhor as falhas para o desenvolvimento de produto.
60	OUTRA	AFD apresenta mais oportunidades na identificação e o FMEA é mais completo na maneira de prevenção.
61	AFD	-
62	OUTRA	Ambas apresentam ótimos resultados, mas o FMEA pode ser feito em uma planilha comum do Excel, o AFD sem o software aplicado acaba sendo muito mais trabalho, acaba não demonstrando todos os resultados com tanta clareza.
63	AMBAS	Pois na FMEA os resultados são apresentados de formas mais claras, no AFD é algo mais abstrato, porém se consegue retirar ótimos resultados.
64	OUTRA	Acredito que o AFD não apresenta mais oportunidade na identificação, mas torna mais claro em pequenos projetos.
65	AMBAS	Pode se observar que as duas ferramentas chegam nos mesmo resultados, porém de maneiras diferentes.
66	AFD	Várias formas de conectar as falhas.
67	AFD	AFD tem uma visão mais periférica das causas de falhas.
68	AMBAS	Há muita diferença em como os dados são apresentados, porém as duas conseguem abranger muito bem os pontos citados.
69	AMBAS	Elas se equalizam com seus pontos positivos e negativos.

Tabela 32 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Robustez

Aluno	Resposta	Anotação
70	AFD	-
71	AFD	Acredito que o método de identificação de falhas do AFD seja melhor, mas o gráfico é muito poluído, é fácil esquecer algo.
72	AMBAS	Apesar da diferenças, vantagens e desvantagens, as duas se mostraram eficientes.
73	AMBAS	Em ambas se analisa potenciais falhas, causas e efeitos, cada uma com seus métodos.
74	AMBAS	-
75	FMEA	Ferramenta mais simples para ser implantado e analisado em empresa.
76	AFD	Porém, FMEA é mais apresentável pois pode-se incluir o risco para uma melhor avaliação.
77	FMEA	A FMEA em minha opinião possui uma forma mais clara no que diz respeito a evidenciar a situação como um todo.
78	FMEA	Pelo gráfico do AFD ser muito poluído, pode levar ao esquecimento de alguma informação.
79	AFD	AFD dá margem a maior número de falhas identificadas.
80	AMBAS	O parecer final obtido.
81	AFD	AFD devemos pensar como eu posso fazer o produto falhar. Acredito que isso faça com que observemos mais possibilidade do que no FMEA.
82	AMBAS	-
83	AMBAS	Uma ferramenta complementa a outra, ou com o surreal ou na identificação novas falhas.
84	FMEA	Para processo FMEA foi mais fácil de identificar as falhas, assim esse tipo foi mais robusto e eficaz.
85	AFD	O AFD dá a oportunidade de uma análise e visões de modos de falhas.
86	AMBAS	Acredito que AFD é mais complexa, mas ambas chegam ao mesmo resultado.
87	AMBAS	As duas ferramentas mostram o caminho lógico para levantar e identificar as falhas.
88	AMBAS	-
89	AFD	AFD te proporciona mais liberdade para pensar e agir.
90	AFD	Existe maior liberdade nas identificações das falhas e com isso melhor aplicabilidade.
91	AFD	Acredito que a AFD por ser mais empírico e abrir mais discussões facilita na apresentação de um maior número de falhas.
92	AMBAS	Ambas apresentem mesmas oportunidade, depende de a pessoa escolher qual aplicar, qual sabe usar de forma mais adequada.
93	AMBAS	Ambas são ótimas ferramentas, mas acredito que o AFD seja mais visual e prático para aplicação.
94	AMBAS	A ferramenta FMEA limita as observações de falha, pois não incentiva a observar novos problemas.
95	AFD	Melhor visualização do problema.
96	AFD	O AFD engloba mais recursos externos.
97	AFD	AFD apresenta uma correlação maior de oportunidades.
98	AFD	Maior árvore de problemas.
99	OUTRA	Ambas apresentam, porém existe o fator de levar ao extremo no método AFD. Força a falha, induz mais conclusões, não desmerece o FMEA.
100	AFD	AFD apresenta mais oportunidades para identificação e prevenção de falhas, porém é mais difícil.

Tabela 32 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Robustez

Aluno	Resposta	Anotação
101	OUTRA	O FMEA parte dos princípios conhecidos e/ou já estabelecidos para avaliar as falhas. A AFD por sua vez foca na prevenção de como a falha poderá ocorrer.
102	AFD	Com a AFD você tem uma visualização melhor, o que possibilita prever mais problemas para recursos iguais.
103	AFD	FMEA se torna mais fácil quando o número de itens é maior.
104	AFD	Mais métodos de identificação.
105	AMBAS	Levantamento escrito das falhas que podem ocorrer e no fim uma tomada de decisão.

Fonte: Autoria própria

Tabela 33 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Identificação de falhas potenciais

Aluno	Resposta	Anotação
1	FMEA	Método mais linear.
2	FMEA	Mais eficiente por ser linear e não demanda tanto tempo e identifica as falhas mais crítica do produto.
3	AFD	-
4	FMEA	-
5	AMBAS	O pensamento para localização das falhas acabou sendo o mesmo.
6	FMEA	-
7	FMEA	-
8	FMEA	Justamente pelo AFD ser mais amplo, fica difícil restringir e identificar coisas realmente relevantes.
9	AFD	Não há muita diferença na identificação das falhas em si, mas o AFD permite que através de intermediário você encontre menos falhas.
10	AFD	Por ser um processo mais detalhado, abrange maior possibilidades.
11	FMEA	O FMEA quantifica o risco da falha, assim com sua consequência.
12	AFD	AFD abrange mais áreas.
13	AFD	No AFD fica evidente o possível acúmulo de falhas ou uma falha que gera um mesmo estado final em vários componentes.
14	FMEA	A estrutura organizacional do método proporciona maior clareza na linha de raciocínio.
15	OUTRA	São métodos diferentes. O AFD é melhor em identificar as falhas, mas o FMEA é melhor em qualificados e quantificar as falhas.
16	OUTRA	Acredito que os métodos podem ser complementares, o AFD identifica melhor as falhas, porém o FMEA esquematiza e avalia melhor a importância das falhas e suas prevenções. Ainda posteriormente comparar alguma solução/atitude com o seu estado inicial.
17	FMEA	-
18	AMBAS	AFD ajuda a "viajar" mais, mas não significa que as ideias a mais sejam tão relevantes. Portanto ambas são de grau de identificação semelhantes ao final.
19	AFD	AFD é um método mais visual e que incentiva ao pensamento nos modos de falhas.
20	FMEA	FMEA é mais sistemático permite um entendimento do produto aplicado.
21	FMEA	FMEA apresenta opções mais técnicas.

Tabela 33 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Identificação de falhas potenciais

Aluno	Resposta	Anotação
22	FMEA	Acho que o FMEA pensa mais no produto em si e em suas características. Acho mais fácil pensar como cada parte poderia falhar do que tentar fazer ele falhar.
23	FMEA	Por ser menos livre, o FMEA leva a pontos mais importantes.
24	AFD	Mesmo motivo do anterior.
25	AMBAS	Idem ao item 1.
26	FMEA	Por ser mais direto ele ataca os principais problemas.
27	AFD	Por ter mais liberdade na hora de realizar e pensar nos recursos, o AFD é mais eficiente para isso.
28	AFD	Acredito que visualmente o AFD seja mais eficiente, pois permite uma identificação mais rápida dos itens envolvidos.
29	FMEA	Por ser mais direto, o FMEA te direciona melhor para a solução dos potenciais de falhas.
30	FMEA	Da maneira que utilizamos o FMEA teve a vantagem de ser mais organizado, facilitando a visualização e ter mais detalhes.
31	FMEA	Mais direto.
32	AFD	O AFD consegue prever falhas potenciais pois é mais aberto à novas ideias e situações inusitadas.
33	FMEA	O AFD parece ser mais visual, entretanto o FMEA parece deixar mais claro o que deve ser resolvido.
34	AFD	No AFD a raiz do problema é a falha, sendo mais direta. Já a FMEA procura-se primeiramente as possíveis causas para só então analisar as consequências.
35	AFD	Como AFD foca no processo reverso, a identificação das falhas acaba sendo facilitada
36	AFD	O AFD estimula o usuário a pensar em as possibilidades de maneira aberta, sem uma sequência linear.
37	AMBAS	Idem ao item 1.
38	FMEA	Por ser quantitativo o FMEA traz um resultado mais palpável.
39	FMEA	Aparenta ser um método mais direto.
40	AFD	A AFD faz com que se procure possíveis falhas não comuns.
41	FMEA	Mais direto e de fácil visualização.
42	AFD	Pois ele dá possíveis recursos no qual talvez na realização do FMEA não fica facilmente evidente.
43	OUTRA	FMEA utiliza um método mais específico mais detalhado, analisando também o risco, ao contrário do AFD.
44	AFD	-
45	AMBAS	Ambas têm essa função. Não sei qual é a melhor nesse tópico.
46	FMEA	Possui uma lógica de organização na resolução da implantação do produto.
47	FMEA	-
48	FMEA	Através de FMEA se tem uma previsão de possíveis falhas, agilizando no processo de identificação quando a mesma ocorrer.
49	AFD	Tive essa conclusão pelo fato do AFD permitir interligar os fatores.
50	FMEA	-
51	AMBAS	-
52	AFD	-
53	AFD	Por ele ser mais complexo, acredito que para um processo seja mais eficiente.

Tabela 33 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Identificação de falhas potenciais

Aluno	Resposta	Anotação
54	FMEA	O FMEA é mais organizado nesse ponto.
55	AFD	O AFD e seus recursos instigam o usuário, além de definir falhas ocorrentes óbvias (como no FMEA) a definir também falhas não óbvias de diversas áreas que podem ocorrer no processo ou em contrapartida, o FMEA analisa, na maioria das vezes, falhas que já ocorreram no passado.
56	AFD	-
57	AFD	Maior profundidade, encontra mais casos.
58	AMBAS	Acredito que em ambos os métodos, a análise é a mesma para a identificação de falhas potenciais.
59	FMEA	Para apoiar e processo o FMEA não é tão poluído e de certa forma pode ser melhor entendido.
60	AFD	AFD é mais fácil a identificação de falhas pois se relaciona muito mais visual.
61	AFD	-
62	AFD	Utilizar o pensamento de como posso fazer tal coisa parar de funcionar com determinado fator é mais fácil do que apontar as possíveis causas.
63	FMEA	Em um processo o FMEA é mais fácil de ser aplicado.
64	AFD	Como não tenho vivência em indústrias, muitas vezes não sei quando um componente pode falhar. O AFD apresenta um resultado melhor no meu ponto de vista.
65	FMEA	É uma ferramenta mais organizada, porém leva mais tempo para elaboração.
66	OUTRA	Ambos possuem métodos eficientes, porém depende muito da aplicação.
67	FMEA	Por ser mais linear, o FMEA se torna mais simples e, portanto, mais eficiente para sua construção.
68	AFD	Pois estimula a pessoa a criar cenários até exagerados, porém possíveis, mas que podem resultar em uma falha.
69	AFD	Facilitar visualmente e identificação de falhas.
70	AMBAS	-
71	AFD	-
72	AFD	AFD deixa mais evidente por meio do gráfico as possíveis falhas.
73	AMBAS	São idênticos na identificação, mas não na apresentação e visualização dos resultados.
74	AFD	-
75	AMBAS	AS duas possuem qualidades para identificar com metodologias diferentes. O FMEA aparenta ser mais quadrado não dando muita possibilidade de ir além, porém mais simples. Já o AFD o contrário.
76	AFD	Processo inverso comparado com o FMEA.
77	FMEA	FMEA é um método mais organizado, logo é mais fácil estruturar o processo.
78	OUTRA	Ambas podem identificar falhas, porém os métodos são diferentes.
79	AFD	Identifica mais falhas que o FMEA.
80	AFD	Abre uma visão maior sobre os problemas.
81	OUTRA	Ambas possuem métodos parecidos - Cada um mostra um caminho diferente para identificar falhas.
82	FMEA	-
83	FMEA	-
84	FMEA	FMEA foi mais fácil de identificar as falhas com maior potencial.
85	AFD	A AFD resulta de forma geral as falhas, seus modos e suas causas.

Tabela 33 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Identificação de falhas potenciais

Aluno	Resposta	Anotação
86	FMEA	Achei o FMEA mais prático para identificar falhas.
87	AMBAS	As duas ferramentas dão conceito básico para podermos avaliar as situações.
88	AFD	Faz pensar mais à vontade colocando sua própria criatividade.
89	OUTRA	Ambas de formas diferentes. Ambas as ferramentas podem ser usadas na identificação de falhas basta saber em que situação cada uma melhor se encaixa.
90	AFD	-
91	AMBAS	As duas tem métodos eficientes, apenas a FMEA há necessidade de maiores estudos e análises pois ele é bastante burocrático, isso dificulta quando se depara com ela inicialmente.
92	AMBAS	Ambas, porém a FMEA é mais prática e talvez mais eficiente quando se trata de um componente mais complexo, por ser organizado com uma tabela, deixando algo mais visual.
93	AFD	Pois é uma ferramenta mais visual e prática, onde você pode através de uma rápida análise verificar os pontos de falha de tal processo.
94	FMEA	O FMEA é mais estruturado.
95	FMEA	FMEA melhor para quantificar o grau da falha.
96	FMEA	Se torna mais eficiente por ser mais direto e específico.
97	FMEA	Existem tabelas com parâmetros abrangentes.
98	FMEA	Possui visualização mais fácil e prática.
99	FMEA	Forma de tabela e linear leva a uma resolução mais rápida.
100	AFD	AFD é mais profundo.
101	FMEA	Mais fácil visualização.
102	FMEA	Parecer ser mais direto ao ponto do que o AFD.
103	AFD	AFD é mais fácil pois é bastante visual.
104	FMEA	Uma seção própria para isso.
105	AFD	Ao listar o item e suas possíveis falhas se conecta com outro item com a mesma falha sendo melhor a visualização de como corrigir o problema.

Fonte: Autoria própria

Tabela 34 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Facilidade

Aluno	Resposta	Anotação
1	FMEA	-
2	FMEA	Conforme as duas respostas anteriores.
3	FMEA	-
4	FMEA	-
5	FMEA	FMEA possui um pensamento mais linear.
6	FMEA	-
7	FMEA	-
8	AMBAS	Ambas têm etapas simples e complexas. FMEA: Controle e AFD: Levantamento de problemas.
9	FMEA	O FMEA é mais linear, o AFD exige mais brainstorming e subjetividade.

Tabela 34 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Facilidade

Aluno	Resposta	Anotação
10	FMEA	FMEA é bem mais intuitivo e AFD demanda muito mais tempo.
11	FMEA	O método FMEA é mais linear, mecânico.
12	FMEA	AFD se mostra um pouco confuso para avaliar.
13	FMEA	Neste quesito o FMEA possui as informações mais organizadas.
14	FMEA	A compreensão se deu mais facilmente pela linearidade de raciocínio na execução do método.
15	AFD	-
16	FMEA	-
17	AMBAS	-
18	FMEA	FMEA é mais técnico, tem um passo a passo a seguir que facilita. AFD precisa ser mais criativo.
19	AFD	-
20	FMEA	Mais sistemático, didático.
21	FMEA	Sistemática do FMEA é muito clara e fácil de seguir.
22	FMEA	FMEA é mais sistêmico.
23	FMEA	AFD se mostrou mais confuso e menos sistemático.
24	FMEA	FMEA é mais claro quanto ao método a ser adotado, facilitando um pouco a aplicação.
25	FMEA	FMEA pareceu mais claro e prático em sua realização e para leitura dos resultados. FMEA traz como resultado ações preventivas não identificadas na AFD.
26	AMBAS II	Talvez por falta de experiência minha, mas algumas partes do FMEA foram difíceis de preencher, assim como a questão da imaginação no AFD.
27	FMEA	Por ser menos sistemática, o AFD deixa livre a execução a ponto de se tornar mais complexo.
28	AFD	O AFD teve um desenvolvimento mais rápido. Acredito que seja pela metodologia mais direta.
29	FMEA	FMEA tem um direcionamento mais direto e metódico, ajudando quem tem esse perfil.
30	FMEA	A tabelas do FMEA faz com que o método seja mais intuitivo.
31	FMEA	O método restringe mais a ação do analista, facilitando e agilizando o processo.
32	FMEA	Pela linearidade e sistemática, o FMEA é mais fácil de ser usado.
33	AFD	Existem algumas definições, termos, que não são muito claros no FMEA. O entendimento não é obvio.
34	FMEA	O AFD é mais complexo devido à criatividade em achar falhas no processo, já o FMEA é mais previsível, pois tem como base alguma falha já existente para análise.
35	FMEA	O fato de a FMEA seguir uma sistemática mais linearizada facilita sua aplicação.
36	AMBAS II	Tive dificuldade para compreender alguns conceitos em ambos os casos. No entanto, após compreender o conceito, o AFD teve uma execução simplificada, já que não apresentou etapa muito diferentes comparadas ao FMEA (severidade, ocorrência ...).
37	FMEA	FMEA parecem mais claro e prático em sua realização e para leitura dos resultados. FMEA traz como resultado ações preventivas não identificadas na AFD.
38	AMBAS II	Com um conhecimento prévio sobre o produto o FMEA se torna mais fácil por ser sistemático. AFD é mais fácil quando se trabalha com produtos novos.
39	AMBAS II	Ambas causaram algumas confusões.
40	FMEA	Devido ao uso comum de planilhas e familiaridade do sistema.
41	FMEA	-

Tabela 34 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Facilidade

Aluno	Resposta	Anotação
42	FMEA	Praticidade no desenvolvimento da ferramenta.
43	FMEA	Maior na execução.
44	FMEA	O método FMEA é mais direto que o AFD, faz "pensar menos" o que o torna mais fácil de ser finalizado.
45	FMEA	Extremamente mais fácil.
46	FMEA	Devido a forma linear do FMEA.
47	FMEA	-
48	AFD	Se teve maior facilidade pelo fato de instigar o como, ou melhor, quais as possibilidades de provocar a falha.
49	AFD	Ambas as ferramentas são simples e permitem a execução sem grandes dificuldades. Apenas achei a AFD um método mais rápido.
50	AFD	-
51	FMEA	-
52	FMEA	-
53	AMBAS I	A única coisa que queira analisar é um software para ver como se entrega os resultados de um AFD.
54	FMEA	FMEA é mais linear, facilitando o entendimento.
55	FMEA	Por se tratar de uma ferramenta linear, o FMEA segue uma lógica mais fácil de coleta de dados.
56	FMEA	-
57	FMEA	O AFD é mais difícil de ser aplicado.
58	AMBAS II	O FMEA é mais fácil em alguns momentos envolve o óbvio, já o AFD dificulta quando tem análises não tão óbvias.
59	AMBAS II	Os métodos são totalmente diferentes.
60	AFD	AFD é mais fácil pois necessita de menos embasamento teórico.
61	AFD	-
62	AMBAS II	Mas para demonstrar os resultados finais o AFD perde por ser praticamente necessário do uso de um software específico para esclarecer seus resultados
63	FMEA	FMEA é mais limpo os resultados, o AFD é abstrato, porém mais objetivo.
64	AMBAS I	FMEA é mais simples de se entender, mas o AFD é mais dinâmico.
65	FMEA	Eu me identifiquei mais com o FMEA, pela questão da organização, que obtém uma maior facilidade.
66	FMEA	Apresentação em tabela.
67	FMEA	O método FMEA é de simples uso e tem objetivo/tabelas claras e de fácil compreensão. Sua metodologia não é extensa.
68	AFD	Apesar da análise final não muito precisa, o método flui de maneira mais fácil.
69	AFD	O FMEA tem mais conceitos a serem fixados.
70	FMEA	-
71	AMBAS II	Ambas têm seus prós e contras.
72	FMEA	Os campos parecem especificar melhor as informações que devem ser levantadas.
73	AMBAS II	O FMEA é confuso na hora de diferentes modo e causa, o AFD é confuso no momento de separar falha e caminho de falha.
74	FMEA	-
75	AMBAS II	-
76	FMEA	FMEA é uma ferramenta mais difundida nessa região.

Tabela 34 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Facilidade

Aluno	Resposta	Anotação
77	FMEA	AFD foi um pouco confuso, principalmente no que diz respeito ao gráfico.
78	FMEA	Porque já tem um padrão que deve ser seguido passo a passo.
79	FMEA	FMEA é mais simples de ser aplicado.
80	AFD	Facilidade em montar a ferramenta.
81	AMBAS II	AFD é simples, porém, ao mesmo tempo confusa pelo modo que o gráfico fica. FMEA é um pouco mais delimitado.
82	FMEA	-
83	AMBAS II	FMEA achar o problema em comum. AFD visualmente embaralhado.
84	AFD	Pois não tem uma regra o contexto é mais livre.
85	AFD	Por não ser tão burocrático, a AFD dá a liberdade de uma extensão do pensamento. Consegue-se incluir as anotações de forma mais distribuídas.
86	FMEA	FMEA é mais prático.
87	AMBAS I	Ferramentas que possibilitam amplia a visão e nela pensar nas possibilidades que podem ocorrer.
88	AMBAS II	As duas oscila de acordo com etapas.
89	AFD	FMEA exige uma atenção a mais por ser mais burocrática. Após o entendimento de seu conceito fica mais fácil.
90	AFD	O conceito do FMEA é mais complexo.
91	AFD	Por permitir um conhecimento empírico a AFD apresenta maior facilidade.
92	FMEA	Acredito que o FMEA teve mais facilidade, pois muito se deve pelo fato de que já tive contato na empresa que trabalho.
93	AMBAS II	O AFD teve uma facilidade maior e um preenchimento rápido dos pontos a serem analisados, pois são colocados em forma de árvore.
94	FMEA	Talvez se fosse mostrado o software seria mais visual o recurso AFD.
95	AMBAS I	Um método é melhor para identifica, mas o outro é melhor para solucionar.
96	FMEA	O FMEA é mais específico e por isso a facilidade em sua replicação é maior.
97	FMEA	Gostei e achei mais objetiva.
98	AMBAS II	Ambas apresentam diferenças em seus métodos de análise causando oscilação.
99	AMBAS II	AFD deve-se fazer muitas conclusões.
100	FMEA	Mais fácil.
101	AMBAS II	A FMEA abre um leque grande de possibilidades o AFD tem difícil visualização.
102	FMEA	-
103	AMBAS II	AFD é mais fácil por ser mais visual, porém se torna confusa quando o número de itens e grande.
104	FMEA	Mais visível.
105	AMBAS I	O método da duas são simples de entender.

Fonte: Autoria própria

Tabela 35 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Casos complexos

Aluno	Resposta	Anotação
1	AFD	AFD tem maior dinâmica.
2	FMEA	O FMEA é capaz de resolver casos complexos. Casos mais específicos, eu recomendaria o AFD.
3	AFD	É mais abrangente.
4	FMEA	É mais objetivo.
5	AFD	Por ser visual é muito mais fácil achar a causar raiz dos problemas.
6	FMEA	-
7	FMEA	-
8	FMEA	É uma abordagem que pode focar em certos aspectos.
9	FMEA	É uma ferramenta mais simples e engloba também análise de risco (NPR).
10	AFD	Análise mais profunda e mais detalhada.
11	FMEA	O AFD é fácil de se pender. Para casos complexos ficaria muito complexo.
12	FMEA	Possibilidade mais palpáveis.
13	AFD	Em casos complexos é preciso ver a ligação e as consequências de todo o processo.
14	FMEA	Acredito que seria mais fácil a compressão da ferramenta.
15	AFD	Pois identifica mais falhas.
16	FMEA	-
17	NTP	Várias coisas devem ser avaliadas, tempo para aplicar método, se é um produto já conhecido, já temos ideias de modo de falha, se é um produto inovador, etc.
18	FMEA	Mais simples e coeso na identificação, explicação e busca pelas soluções do problema.
19	FMEA	FMEA apresenta mais robusto na prevenção e resolução dos modos de falhas.
20	FMEA	O FMEA permite uma análise sistemática de cada parte do item em avaliação, mais didático, permite melhoramento.
21	FMEA	O FMEA te encaminha para conclusões mais claras e bem definidas.
22	FMEA	Sistêmico, mais organizado e mais claro. Julgo ser melhor para resolução de casos.
23	NTP	Dependeria muito do processo.
24	FMEA	Pois foca mais na prevenção das falhas.
25	NTP	Dependência do contexto.
26	FMEA	Esse método tem uma solução mais limpa.
27	FMEA	Por ser sistemático, facilita o processo.
28	FMEA	Acredito que o FMEA possibilita um maior adensamento de informações, que pode ser útil em casos complexos.
29	FMEA	A liberdade do AFD poderia trazer complicações na hora de avaliar os inúmeros cenários possíveis de falhas.
30	FMEA	Gosto de trabalhar com tabelas, pela questão da organização e praticidade.
31	FMEA	Me pareceu mais direto e profissional, mais conciso e rápido.
32	FMEA	Casos complexos são usualmente situações bem definidas logo o FMEA, pela sistematicidade, é o mais recomendado.
33	AFD	É mais visual, gera mais opções de falhas.
34	AFD	É mais completo e possibilita uma variedade de opções inovadoras.
35	AFD	Casos complexos devem ter muitas causas interligadas e essas redes ficam mais claras com AFD.

Tabela 35 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Casos complexos

Aluno	Resposta	Anotação
36	NTP	AFD - etapas de desenvolvimento do produto. FMEA – processos.
37	FMEA	Pude compreender melhor.
38	FMEA	É mais sistemático e com software mais usual (Excel).
39	FMEA	Por ser um método mais objetivo, direciona melhor para encontrar os modos de falha.
40	AFD	Problemas complexos necessitam de ferramentas complexas.
41	AFD	Analisaria várias possibilidades.
42	FMEA	Pois uma ferramenta que abrange os riscos mais prováveis e fácil compreensão.
43	NTP	Acredito que depende do caso a ser avaliado, qual o conhecimento prévio sobre a falha.
44	FMEA	O método é mais direto em relação ao objetivo da resolução de um caso de possível falha.
45	AFD	Mais robusta.
46	AFD	-
47	FMEA	A visualização é mais fácil dos acontecimentos.
48	AFD	Aprofunda diversas situações possíveis.
49	FMEA	Achei o FMEA mais completo.
50	FMEA	-
51	FMEA	-
52	NTP	-
53	AFD	Já uma ferramenta mais abrangente.
54	NTP	Ambas podem auxiliar em casos complexos.
55	NTP	Depende da ferramenta que o usuário terá maior facilidade.
56	NTP	Ambos têm pontos positivos e negativos onde o indivíduo definiria sua prioridade. FMEA - aplicação mais fácil e AFD - identificação melhor as falhas.
57	AFD	Devido a uma maior profundidade na busca pelas causas.
58	AFD	O AFD faz uma análise mais completa, ajudando nos casos mais complexos.
59	FMEA	Devido na FMEA não ficar tão poluído.
60	AFD	Mais amplo e fácil de identificar maior número de falhas.
61	FMEA	Método mais organizado, tendo como base análises feitas no papel.
62	FMEA	Pois pode ser realizado em um software simples como o Excel.
63	FMEA	Pois é um método mais fácil de ser aplicado nos processos.
64	FMEA	É um sistema a menos poluído.
65	FMEA	Porque consegui entender melhor do que a AFD.
66	FMEA	Pela forma mais dinâmica e facilidade de visualização dos dados.
67	FMEA	Em casos complexos o AFD geraria uma "teia" muito grande de linhas, o que poderia gerar confusão e dificuldade de interpretação do estudo.
68	FMEA	Maneira mais organizada sem perda de dados e considerando pesos para criticidade e ocorrência.
69	FMEA	Pelo gráfico gerado no AFD.
70	FMEA	-
71	NTP	Acredito que para processos o FMEA seria melhor, mas para produtos novos e sem histórico optaria pelo AFD.
72	FMEA	Apesar de mais teórico também é mais caro.

Tabela 35 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD: Casos complexos

Aluno	Resposta	Anotação
73	FMEA	A apresentação dos resultados é obtida de maneira mais clara e limpa.
74	AFD	-
75	FMEA	Devido a facilidade na análise (interpretação) e com um facilitador pode facilmente ser aplicado em uma reunião com pessoas que nunca tivesse contato.
76	FMEA	Maior facilidade na identificação de melhorias.
77	FMEA	Processo melhor elaborado com mais opções e não tanto abstrato como AFD.
78	FMEA	AFD o gráfico ficaria muito poluído, dificultando a visualização das informações.
79	FMEA	FMEA explicita de forma mais organizada cada falha. Em um caso complexo seria mais fácil compreender.
80	AFD	Mais rápido e prático.
81	FMEA	FMEA pela organização (Excel). Gostaria de conhecer o software AFD para poder opinar melhor.
82	FMEA	-
83	NTP	Usaria AFD para levantar os problemas e FMEA para apresentar os resultados.
84	FMEA	Por ser de melhor entendimento.
85	AFD	O AFD dá uma visão de engenharia aplicada ao produto ou processo.
86	AFD	Pois desempenha mais a situação.
87	NTP	As duas seriam bem aproveitadas neste processo de resolução e identificação da falha.
88	FMEA	-
89	FMEA	Pelo tempo de mercado e pelas opções como um todo. Neste caso a burocrata da ferramenta ajudaria mais.
90	AFD	Maior facilidade no entendimento do conceito e aplicação.
91	AFD	Hoje eu optaria pelo AFD pela praticidade e velocidade nas respostas, mas gostaria de aprender mais sobre o FMEA.
92	FMEA	FMEA por ser uma forma de tabela que deixa melhor visualização. Porém AFD também é excelente, mas a FMEA acredito que por casos complexo é melhor.
93	FMEA	Pois se trata de uma ferramenta onde os pontos são mais óbvios.
94	AFD	Por induzir e "forçar" as pessoas a pensarem em ideias diferentes nas causas de pontos de vista diferentes.
95	NTP	-
96	FMEA	FMEA por ser mais específico.
97	FMEA	Apresenta formato mais objetivo.
98	AFD	Possui árvore de informações maior.
99	FMEA	Organização.
100	FMEA	FMEA por ser simples e eficiente.
101	FMEA	Mais fácil visualização.
102	FMEA	Mais fácil e fica menos confuso que o AFD quando se tem muitos itens.
103	FMEA	Mais organização quando o problema é mais complexo.
104	AFD	Por dar um maior suporte para a avaliação.
105	AFD	Visualização das falhas de um modo global.

Fonte: Autoria própria

Tabela 36 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Desenvolvimento de produto

Aluno	Resposta	Anotação
1	FMEA	Método mais linear assim focando no objetivo e rastreando nos detalhes.
2	AFD	Para desenvolvimento de produto, o AFD é método mais completo.
3	AFD	-
4	FMEA	-
5	AFD	É possível ampliar mais as possíveis falhas como se fosse a vista explodida de um desenho.
6	FMEA	-
7	FMEA	-
8	NTP	Depende da criatividade e vontade da equipe.
9	FMEA	Idem ao anterior.
10	AFD	Fácil de identificar pontos críticos de melhoria.
11	AFD	O AFD é melhor para um produto em desenvolvimento, enquanto o FMEA é mais simples para se aplicarem um produto já desenvolvido.
12	AFD	Permite driblar todas possíveis falhas.
13	AFD	Por estar exemplificado em forma de árvore podendo ser observado todas as relações.
14	FMEA	Clareza de raciocínio e questão organizacional.
15	AFD	Pois identifica mais falhas.
16	AFD	-
17	NTP	Várias coisas devem ser avaliadas, tempo para aplicar método, se é um produto já conhecido, já temos ideias de modo de falha, se é um produto inovador, etc.
18	FMEA	Mesmo motivo acima.
19	AFD	AFD proporciona um "pensamento fora da caixa" que pode resultar em ideias inovadoras.
20	FMEA	O FMEA eu aplicaria para desenvolver um produto até o protótipo. Depois aplicaria AFD.
21	AFD	No FMEA, imagino que os requisitos encontrados seriam para o uso "comum" do produto, no caso do AFD, outros horizontes podem ser explorados.
22	AFD	AFD é mais imaginativo, o que é melhor para o desenvolvimento de produto.
23	AFD	Por ser mais livre, incentivar a criatividade.
24	AFD	Mais abrangente que o FMEA.
25	FMEA	Mais pelo fato de AFD ser muito recente.
26	AFD	Justamente por utilizar a imaginação e olhar para todo os possíveis pontos de erro.
27	AFD	Por estimular mais a inovação.
28	AFD	Os gráficos do AFD podem ser mais úteis por conta do rápido visualizações e praticidade.
29	NTP	Apesar de ser mais restrito, o FMEA é bem mais adaptável para o desenvolvimento de produto.
30	AFD	Acaba levando em conta mais fatores, que podem ser um diferencial do produto.
31	FMEA	Já tive contato anterior com FMEA, o que facilita o entendimento.
32	AFD	O AFD consegue pensar mais falhas potenciais, gerando uma maior base de possíveis defeitos.
33	AFD	Mesmo motivo acima.
34	AFD	Criatividade.

Tabela 36 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Desenvolvimento de produto

Aluno	Resposta	Anotação
35	FMEA	Por ser uma ferramenta com uma sistemática que abrange riscos de forma quantitativa, acho que o uso de FMEA permite ter melhores noções iniciais.
36	AFD	AFD estimula o pensar fora da caixa.
37	FMEA	Mais clara, prática, fácil leitura dos resultados.
38	AFD	Se torna uma ferramenta mais fácil de enxergar possíveis contratempos, como ambientes e fatores externos.
39	AFD	Por ser um método mais amplo, aparenta maiores possíveis causas de erros/falhas. E pela maior interação com o usuário.
40	AFD	Devido a sua base de informações ser olhando para frente.
41	FMEA	Mais direto.
42	AFD	-
43	NTP	FMEA em caso de produtos já conhecidos. Para inovações eu recomendaria o AFD.
44	AFD	Permite explorar mais possibilidades antes não pensadas.
45	AFD	Mais chances de encontrar possíveis falhas.
46	NTP	-
47	AFD	Pois você analisa todos os possíveis pontos.
48	FMEA	Previne possíveis erros para serem evitados.
49	AFD	Ferramenta mais visual facilita e permite levantar mais possíveis fatores de falhas.
50	NTP	-
51	AFD	-
52	AFD	-
53	FMEA	-
54	FMEA	Pelo fato de ter compreendido melhor.
55	NTP	Depende da ferramenta que o usuário terá maior facilidade.
56	NTP	-
57	AFD	Mesma resposta 4.
58	AFD	Por ter a análise mais completa, se pode ter consciência dos mais diversos problemas que possa ocorrer.
59	AFD	AFD faz com que se procure o real defeito.
60	FMEA	Mais adequado a tomar decisões com grande embasamento.
61	AFD	Mais clareza na detecção de possíveis falhas.
62	NTP	Pois ambas contemplam muito bem todas as soluções.
63	AFD	Pois é um método onde os problemas aparecem de uma forma mais objetiva.
64	AFD	Alguns recursos podem influenciar em itens que seriam difíceis identificar com FMEA.
65	FMEA	A mesma resposta do item 4.
66	AFD	Prevê todas ou quase todas as possíveis falhas.
67	AFD	O AFD ajuda identificar de forma panorâmica e rápida as causas que afetam os efeitos, mas de forma interligada.
68	AFD	Para desenvolvimento, acredito que a ferramenta que te força a usar outros cenários e mais adequada.
69	AFD	Pelo pensamento fluir melhor.
70	NTP	-
71	AFD	-

Tabela 36 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Desenvolvimento de produto

Aluno	Resposta	Anotação
72	FMEA	Maior objetividade.
73	AFD	Pensa-se nos possíveis problemas previamente, sem quantificar os problemas, enquanto no FMEA deve-se avaliar e atribuir um grau as falhas. No caso de um novo produto não se sabe as falhas, logo o FMEA não é tão apropriado.
74	FMEA	-
75	AFD	Pode-se extrapolar o usual.
76	AFD	AFD detalha de uma forma mais intuitiva os possíveis defeitos do produto a ser desenvolvido.
77	NTP	Basta aprofundar-se em algum método, ambos mostraram seus pontos positivos, sendo necessário aplicá-los de maneira adequada.
78	FMEA	-
79	AFD	Não expõem a falha de forma tão organizada como o FMEA, porém mostra mais possibilidade.
80	FMEA	Uma maior quantidade de detalhes para desenvolver.
81	AFD	Como o AFD conseguimos abranger mais opções, áreas, possibilidades, evitando o insucesso com mais segurança.
82	AFD	-
83	AFD	Mais fácil para achar possíveis problemas.
84	AFD	Pois nele o processo de identificação de falhas é mais produtivo.
85	AFD	Porque resultou em uma melhor confiabilidade do produto.
86	AFD	Te dá mais liberdade na pesquisa.
87	NTP	Acho que as duas podem e devem ser aplicadas no desenvolvimento.
88	FMEA	-
89	NTP	Dependeria muito do produto a ser desenvolvido. Baixa complexidade AFD/Alta complexidade FMEA.
90	AFD	Idem a número 4.
91	AFD	Idem à resposta anterior.
92	NTP	Ambas seriam ótimos, vale de a pessoa ter intimidade com qual conhece melhor.
93	AFD	Te dá uma liberdade maior para análise das falhas.
94	NTP	Pois as duas dependem de forma em que são conduzidas (facilitador).
95	NTP	-
96	AFD	AFD pois engloba maior número de recursos.
97	AFD	Crie um ambiente externo e vários cenários possíveis.
98	FMEA	Maior facilidade visual e para achar os itens e suas correlações.
99	AFD	Da um conceito mais artístico.
100	AFD	Por ser produto, pode aprofundar mais.
101	FMEA	Mais fácil visualização e entendimento.
102	FMEA	-
103	AFD	AFD é muito mais fácil por ser criativo.
104	AFD	Por dar mais abrangência a procura por falhas.
105	FMEA	Listagem de cada componente do produto e suas possíveis falhas específicas.

Fonte: Autoria própria

Tabela 37 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Dificuldades e limitações

Aluno	Anotações
1	O pouco conhecimento específico do produto e do processo.
2	FMEA - Pode levar a considerações genéricas. AFD - A não linearidade do método o faz confuso.
3	No AFD a maior dificuldade foi montar a árvore, conciliando os dados e tentando manter certa organização.
4	Usar a criatividade para identificar as diferentes falhas, organizar as informações e passá-las para o papel.
5	Abranger todos os possíveis métodos de falhas.
6	O método da FMEA mostra-se, de maneira geral, mais organizado e com mais clareza nas informações. O AFD ficou bagunçado devido a nossa inexperiência com o método, então, se pensarmos no resultado final obtido, o método do FMEA foi aprendido com mais facilidade.
7	A falta de experiência com os métodos e a área de desenvolvimento em si.
8	Sem conhecê-los mais profundamente é difícil aplicá-los, pois há muitas etapas a serem realizadas. Além disso, são necessárias muitas opiniões diferentes para chegar a alguma conclusão.
9	Com o FMEA pode acontecer de escapar uma ou outra falha ou modo de falha em potência e o AFD apesar de facilitar a identificação de falhas e seus modos, não estabelece uma prioridade através do NPR.
10	Tempo, e pouca experiência do método.
11	Falta de experiência na área que dificulta a aplicação dos conceitos.
12	Desconhecimento dos métodos, confusão nos termos, muita informação.
13	No FMEA apesar de tudo organizado em tabela fica difícil observar a conexão entre os modos de falhas e efeitos, o que no AFD fica evidenciado, mas no AFD pode parecer confuso devido ao cruzamento da linha da árvore.
14	Principalmente a questão de curto período de tempo, logo o encurtamento do conteúdo e a falta de prática que influencia, mas o direcionamento do facilitador auxilia bastante a transpor barreiras.
15	No FMEA é saber identificar se é causa ou modo de falha e quantificar o potencial de dano da falha.
16	A organização do mapa AFD pode ser mais complexa de ser entendido, porém ele facilita a identificação de falhas em relação ao FMEA. O FMEA apresenta uma visão melhor de melhorias e avaliação da falha identificadas.
17	Falta de conhecimento do AFD, falta de prática na aplicação.
18	Na minha opinião o AFD é muito vago nas soluções. Não se obtém soluções práticas e suas intensidades. Me familiarizei mais com FMEA, é o sistema usado onde trabalho, é mais técnico e indica melhor as intensidades dos problemas.
19	Dificuldade em definição e separação dos conceitos. Falta de experiência e prática.
20	O FMEA tem muitos conceitos após entender isso o método fica tranquilo. AFD é um tanto aberto/vago muito.
21	AFD - falta de software, ou alguma outra organização.
22	Subjetividade sobre como delimitar o escopo de cada campo a ser preenchido. Dificuldade.
23	Na FMEA a dificuldade foi preencher campos retóricos, e muitas vezes iguais sem poder relacioná-los. Na AFD a dificuldade foi a criação e análise do diagrama, ficou confuso.
24	Fazer a varredura de todos os possíveis falhas e como evitá-las parte mais difícil em ambas as atividades.
25	Conceitos referentes as etapas.

Tabela 37 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Dificuldades e limitações

Aluno	Anotações
26	Não creio que foi difícil a aplicação de nenhum método, apenas o início aonde estávamos entendendo como cada um funciona que proporcionou certa dificuldade.
27	O AFD teve de ser refeito por tomarmos uma abordagem inicial muito geral, não podendo chegar em soluções concretas inicialmente. Não tivemos dificuldade na aplicação do FMEA.
28	No AFD, tivemos uma certa dificuldade para identificar recursos, que foram esclarecidos pelo ministrante. O FMEA teve dificuldade na identificação de alguns itens para preenchimento da tabela.
29	A subjetividade devido, a liberdade da AFD atrapalhou um pouco o desenvolvimento da atividade. No caso do FMEA, alguns efeitos, causas e controles ficaram um pouco confusos entre si.
30	A utilização do AFD sem o acompanhamento de software foi complicada na questão da clareza e organização.
31	FMEA pode ser facilmente reproduzido sem software específico, diferente do AFD, que se torna complicado sem a tal ferramenta.
32	A utilização do FMEA não apresentou dificuldade significativas, mas o AFD sim. Principalmente na questão relativo a discriminação do processo de falha.
33	FMEA: Entender todos os conceitos. AFD: Fazer manualmente torna-se praticamente inviável.
34	AFD: organização da informação. FMEA: categorização dos dados é bem subjetiva.
35	Na aplicação do AFD, o diagnóstico dos modos de falhas começa a ficar bastante carregada.
36	-
37	Tive dificuldade para definir cada ação a ser tomada nos passos da AFD.
38	A parte de encontrar os dados no FMEA e mais complicada, mas o uso do AFD não tem grau de comparação de erros.
39	Tive dificuldade para diferenciar os termos do FMEA e os passos da AFD.
40	A AFD se mostra um pouco complexa mas tem grande eficiência.
41	São duas ferramentas importantes, mas de diferentes estilos. O AFD te faz pensar em mais possibilidade, talvez levando um pouco mais de tempo.
42	A dificuldade se teve na ferramenta AFD, pois se torna muito complexo fazendo se pensar nas causas menos prováveis para que o erro não aconteça.
43	Acredito que a maior dificuldade tenha sido na compreensão para executar a AFD.
44	Por ter tido um contato pequeno com o tema antes das atividades e explicações do curso, foi difícil entender de início, porém após o curso foi possível entender bem os métodos.
45	FMEA - nenhuma, AFD - quase todos os tópicos até a explicação do professor.
46	A falta de experiência, fazer o caminho "inverso" no AFD, falta de software para o AFD.
47	O FMEA não tivemos muita dificuldade, já no AFD por ter que estar todos os possíveis pontos e todas visões tivemos um pouco mais de dificuldade pois os pontos em que pensamos já tínhamos colocado, e a visualização do AFD é mais complicada.
48	Conhecimento do processo como um todo de um produto em específico.
49	Conhecimento do processo dos produtos, pois este é fundamental para conseguir desenvolver bem as ferramentas.
50	-
51	AFD: Complexo para pensar em todos os problemas.
52	A ferramenta AFD apresenta maior dificuldade em sua interpretação devidamente por sua complexidade.
53	Eu tive um pouco de dificuldade no AFD, vou analisar um software primeiro para analisar como se entrega os resultados.

Tabela 37 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Dificuldades e limitações

Aluno	Anotações
54	A dificuldade em fazer o caminho inverso, enxergar todos os problemas possíveis. Usar o AFD sem o software.
55	Dificuldade para colocar em prática a ferramenta pela primeira vez.
56	FMEA - identificar todas as falhas possíveis. AFD - gráfico esteticamente "confuso".
57	A falta de maior conhecimento sobre a ferramenta.
58	O FMEA leva um certo tempo para se chegar a uma conclusão. O AFD nos obriga a sair do pensamento linear e pensar em algo menos óbvio.
59	Cada método tem a sua limitação e sua dificuldade, porém deve se escolher o melhor para cada situação.
60	FMEA: a maior dificuldade de correlacionar as falhas e determinar ações. AFD: Dificuldade direcionar a tomada de decisões em cima dos pontos de maiores falhas potenciais.
61	Dificuldade no entendimento de cada passo do FMEA, confunde um pouco, mas acredito que seja por falta de experiência na ferramenta.
62	Avaliar todas as formas possíveis de fazer ou de algo dar errado.
63	No AFD as informações aparecem mais poluídas.
64	FMEA - saber o nível de criticidade de um item ou que tem influência sobre o mesmo. AFD -a visualização ou localização dos dados.
65	AFD existe o problema da identificação de cada item, porém tem a vantagem de elaborar em um tempo muito menor, e a FMEA é o contrário.
66	A maior dificuldade é a visualização do gráfico do AFD no papel. O FMEA por ser uma ferramenta linear facilita a compreensão.
67	AFD - gráfico muito poluído, visualmente falando, quando feito sem uso do software. FMEA - repetição constante de possíveis falhas, levando a exaustão na elaboração da análise.
68	A limitação nem está tanto na aplicação do método, mas no <i>know-how</i> , vemos então a importância da experiência.
69	A não vivencia dos processos de produção dos produtos a confusão das colunas do FMEA.
70	FMEA: interpretação correta de alguns conceitos. AFD: Leitura complexa e pouco sucinta dos resultados.
71	O gráfico do AFD é confuso. Para o FMEA é difícil prever todas hipóteses de falhas, no AFD é mais intuitivo.
72	O AFD se mostrou complexo de interpretar devido a poluição das linhas no gráfico, enquanto que o FMEA exige um pouco mais de conhecimento teórico dos itens.
73	No FMEA a dificuldade esteve presente na separação de modo e causa. No AFD houveram problemas em entender o processo de identificação dos caminhos e das condições finais. O AFD apresenta resultados mais refinados.
74	Identificação das possíveis falhas.
75	FMEA um pouco difícil de ligar cada passo à um processo.
76	Falta de conhecimento prévio dificultou a aplicação dos métodos.
77	FMEA - Fazer a diferenciação entre os níveis (1, 2, 3 ... 10). AFD - Elaborar o gráfico, atribuindo os critérios pedidos e listados previamente.
78	Diferenciar os conceitos de cada etapa do FMEA.
79	FMEA: Entender os conceitos de efeito, causa. AFD: Desenvolver o gráfico de forma clara.
80	No FMEA nenhuma. No AFD, por não conhecer o assunto, no início dificultou, mas como curso a ferramenta já fico mais pratica para uso.
81	No começo é um pouco difícil conseguir relacionar todos os pontos métodos, critérios. É necessário praticar mais para conseguir desenvolver com facilidade.

Tabela 37 – Anotações do formulário de avaliação IV. Comparação FMEA e AFD:
Dificuldades e limitações

Aluno	Anotações
82	Nenhuma.
83	Conceitos iniciais para o FMEA e organização do AFD.
84	Complexidade do FMEA e dificuldade no processo criativo do AFD.
85	Tempo e domínio dos métodos.
86	Como os dois métodos são novos, as duas ferramentas foram complexas, porém com os estudos de caso facilitou o entendimento.
87	Pensar nas possibilidades da ocorrência de falha e identificar a causa raiz.
88	Nas ligações das linhas da ferramenta AFD.
89	Entendimento dos conceitos do FMEA e AFD, mas que quando adquiridos torna-se um trabalho extremamente eficiente.
90	FMEA - Entendimento do conceito foi o maior problema, palavras não habituais de escutar. AFD - Nenhum problema.
91	A FMEA apresenta um grau de complexidade, maior que a AFD. Em um primeiro momento a AFD é mais fácil, talvez até pudesse ser utilizado a AFD e depois a FMEA caso houvesse obrigatoriedade de apresentação através de FMEA.
92	O entendimento do conceito, do tipo de falha e da ocorrência, porém é tudo uma questão de prática que com o passar do tempo iremos realizar com mais facilidade.
93	As dificuldades foram os métodos de preenchimento, mas cada ferramenta tem sua aplicação.
94	Nas ferramentas apresentadas faltou apoio da equipe no final das observações.
95	-
96	Acredito que os métodos são de simples entendimento e o praticar os mesmos elimina as limitações e dificuldades.
97	Limitações de tempo e falta de pratica com as ferramentas.
98	O ato de pensar e imaginar todos os fatores envolvidos nos dois métodos, assim como o que a decisão de não pensar em algo pode acarretar futuramente no produto.
99	A única dificuldade foi por ser a primeira vez de aplicação, do resto, tudo ok.
100	As dificuldades foram apenas a falta de prática e de conhecimento, mas após os dois exemplos e exercícios, facilitou o entendimento.
101	Pouco tempo para percorrer ambas atividades. FMEA, pouco espaço na folha, planilha AFD, difícil visualização no papel. As duas ferramentas são muito boas.
102	Na hora de identificar efeitos de falha no FMEA e fazer o gráfico no AFD.
103	AFD, se limita pela forma que toma no final. FMEA, se limita por não ser tão visual como o AFD.
104	Para o FMEA, a identificação dos itens se tornou um pouco nebuloso, já o AFD a definição das falhas se tornou um pouco complexo.
105	Identificar todas as variáveis que podem levar a falha do item e o que isso afeta no conjunto.

Fonte: Autoria própria