

CONFIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS: UM MODELO PARA INTEGRAR O PROCESSO DE DESIGN FOR RELIABILITY

RELIABILITY IN PRODUCT DEVELOPMENT: A MODEL FOR INTEGRATING DESIGN FOR RELIABILITY PROCESS

Rogério Ferreira Rezende¹

Fernando Hadad Zaidan¹

Nelson Ferreira Filho¹

Bruno Santos Pimentel¹

¹Faculdades Kennedy

Resumo

O objetivo deste artigo é desenvolver e propor um modelo para integrar o processo de Design for Reliability (DFR) às etapas de desenvolvimento de produtos, de forma que o mesmo possa ser aplicado de acordo com os critérios e parâmetros técnicos de desenvolvimento de produtos definidos pelas organizações. A aplicação do processo de DFR possibilita a análise e atuação antecipada sobre possíveis problemas que podem impactar a confiabilidade do produto final. Desenvolveu-se esta pesquisa, utilizando a metodologia Design Science (DS) que propõe a geração de conhecimento no processo de concepção de artefatos, neste caso, o modelo do processo de DFR. O presente trabalho baseou-se em uma abordagem qualitativa por meio da imersão do pesquisador em uma empresa do setor automotivo na região metropolitana de Belo Horizonte-MG, durante a implantação do processo de DFR. Como resultado, sob o ponto de vista teórico, apresentou-se as etapas de desenvolvimento de produtos, o processo, as fases e as ferramentas de DFR. Além disso, destacou-se a importância da integração dos conceitos e ferramentas de confiabilidade no desenvolvimento de produtos. Na abordagem prática, apresentou-se o modelo do processo de DFR, detalhado e representado em uma Notação de Modelagem de Processos de Negócios (BPMN), integrado às etapas de desenvolvimento de produtos e à estrutura de gerenciamento de projetos.

Palavras-chave: confiabilidade para projeto; desenvolvimento de produto; engenharia de confiabilidade; ferramentas de confiabilidade; ciência do projeto.

Abstract

The aim of this article is to develop and propose a framework for integrating the Design for Reliability (DFR) process into the product development stages, in order to that it can be applied according to the criteria and technical parameters of product development defined by the organizations. The application of DFR process makes possible the analysis and anticipated action on possible problems that can impact the final product reliability. This research was developed utilizing the Design Science (DS) methodology, which proposes the knowledge generation in the process of artifacts conception, in this case, the DFR process framework. The current work was based on a qualitative approach through the immersion of the researcher in a company of the automotive sector, located in the metropolitan region of Belo Horizonte-MG, during the implementation of the DFR process. As a result, in the theoretical point-of-view, the product development steps, the process, the phases and the DFR tools were presented. In addition, the importance of integrating concepts and reliability tools in product development was highlighted. In the practical approach, the DFR process framework was presented, detailed and represented in a Business Process Modeling Notation (BPMN), integrated with the product development stages and the project management model.

Key-words: *design for reliability; product development; reliability engineering; reliability tools; design science.*

1. Introdução

Nas últimas décadas, a tecnologia industrial evoluiu rapidamente e os produtos têm se tornado cada vez mais complexos. De acordo com a pesquisa de Ismail e Jung (2012), os custos elevados das empresas são causados principalmente por retrabalhos em projetos, complexidade dos projetos e a oferta de longos períodos de garantia do produto.

Neste contexto, as exigências do mercado em relação à confiabilidade dos produtos têm incentivado as empresas a buscarem a implementação do processo de Design for Reliability (DFR). Segundo Mettas (2010) o DFR descreve o conjunto completo de ferramentas que suportam os processos de desenvolvimento de produtos, para garantir que as expectativas dos clientes em termos de confiabilidade sejam plenamente cumpridas durante toda a vida do produto, com baixos custos de ciclo de vida.

Droguett e Mosleh (2006) apontam que, a avaliação da confiabilidade de um novo projeto antes da execução de testes com unidades fornece ao fabricante uma relevante fonte de informações para tomadas de decisões no projeto.

Raheja e Gullo (2012) afirmam que o DFR se tornou um objetivo em todo o mundo, independentemente do setor da indústria. No Japão, o processo de DFR é aplicado para conquistar a lealdade e a confiança do consumidor. Portanto, a implantação do processo de DFR pode se tornar uma importante ação estratégica para as empresas, com o foco na

melhoria da confiabilidade dos projetos e tendo como principais objetivos a satisfação dos clientes e a redução do custo de desenvolvimento de novos produtos.

O estudo prático de pesquisa baseou-se em um projeto de implantação do DFR no processo de desenvolvimento do produto em uma empresa do setor automotivo. Desenvolveu-se a pesquisa com a aplicação da metodologia Design Science (DS) e do método prescritivo Design Science Research (DSR) que propõe a geração de conhecimento no processo de concepção de artefatos, neste caso, o modelo do processo de DFR.

De acordo com Mettas (2010), tentar implementar todas as atividades de confiabilidade no desenvolvimento de produtos, sem um processo, pode se tornar uma situação caótica. Em grande parte dos casos, os resultados obtidos acabam não atendendo às expectativas desejadas, gerando descrédito, perda de tempo e recursos. Assim, levanta-se a seguinte questão: como implantar ferramentas de confiabilidade de forma integrada ao processo de desenvolvimento de produtos?

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo para integrar o processo de DFR às etapas de desenvolvimento de produtos, de forma que o mesmo possa ser aplicado de acordo com os parâmetros técnicos de desenvolvimento de produtos definidos pelas organizações.

Acerca da estrutura deste artigo, encontra-se, além desta introdução: o capítulo 2, com o referencial teórico contemplando os principais conceitos e ferramentas relacionadas ao processo de DFR. O capítulo 3 apresenta a metodologia de pesquisa adotada. O capítulo 4 revela os resultados e discussões sobre a pesquisa. Já o capítulo 5 mostra a conclusão com as considerações finais. O que segue são as referências.

2. Referencial teórico

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos e ferramentas relacionadas ao processo de DFR e ao processo de desenvolvimento de produtos.

A confiabilidade e o desenvolvimento de produtos

De acordo com Elsayed (2012) *apud* Teruel (2012), a confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um determinado produto, sistema ou serviço realizar uma função requerida, durante um determinado período de tempo, em condições especificadas no projeto.

Laurenti (2010) cita que durante os processos de desenvolvimento do produto, a análise de falhas potenciais pode ser interpretada como o uso de técnicas sistemáticas para

prever possíveis falhas, devido tanto ao projeto do produto, quanto ao processo de fabricação.

Nos últimos 20 anos, segundo Barczak, Griffin e Kahn (2009), as empresas têm desenvolvido mais projetos incrementais de produtos e menos novos produtos em seus portfólios. Por outro lado, de acordo com Chao e Ishii (2007), modificações em projetos podem introduzir novas falhas potenciais no produto, afetando a confiabilidade e podendo causar prejuízos ao fabricante e ao usuário.

O Plano de Desenvolvimento do Produto (PDP) proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), ilustrado na Figura 1, ainda é nos dias atuais o modelo de referência utilizado por grande parte das empresas, o qual descreve os processos e as etapas do desenvolvimento de produtos.

Figura 1 - Plano de Desenvolvimento do Produto



Fonte: Adaptado de ROZENFELD *et al.* (2006)

Neste contexto, as fases do desenvolvimento do produto são apresentadas por Laurenti (2010), a saber:

- a) No projeto conceitual, é realizada uma síntese da estrutura de funções do produto e são propostas as alternativas de conceitos a serem adotados;
- b) No projeto detalhado, a forma, as dimensões e as tolerâncias dos componentes do produto são concluídas e avaliadas, os desenhos de produção são gerados e os processos de fabricação são projetados;
- c) A fase de instalação envolve os processos de construção de ferramentas e dispositivos nas linhas de produção para a fabricação do produto;
- d) Na fase de verificação do processo, as primeiras unidades produzidas são avaliadas conforme as especificações do produto e requisitos do projeto.

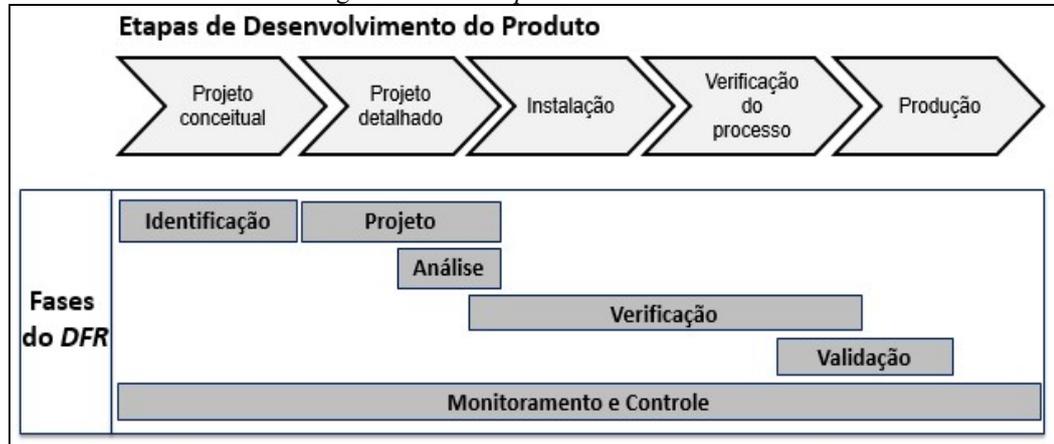
Assim, após a validação e aprovação do produto, inicia-se a produção com a fabricação de produtos que serão comercializados no mercado.

O processo de DFR nas etapas de desenvolvimento do produto

Na visão de Silverman e Kleyner (2012) um processo típico de DFR possui as seguintes fases: Identificação, Projeto, Análise, Verificação, Validação, Monitoramento e Controle. Cada fase do processo de DFR agrupa as ferramentas e atividades voltadas à confiabilidade, a serem aplicadas nas etapas de desenvolvimento do produto. A Figura 2

apresenta um *roadmap*¹ do processo de DFR alinhado às etapas de desenvolvimento do produto.

Figura 2 - *Roadmap* do Processo de DFR



Fonte: Adaptado de Mettas (2010)

De acordo com Mettas (2010), o processo de DFR pode ser adaptado baseado no tipo de indústria e na cultura corporativa. Além disso, a sequência das fases e aplicação das ferramentas do DFR poderão variar conforme o tipo de produto e informações disponíveis para o projeto.

Fases e ferramentas do DFR

São apresentadas a seguir as fases do DFR e as respectivas ferramentas e atividades aplicadas no processo.

Fase identificação

Segundo Silverman e Kleyner (2012), o objetivo da fase Identificação do DFR é definir quantitativamente os requisitos de confiabilidade do produto, revisar as expectativas do cliente e identificar como transformá-las em requisitos e métricas de engenharia, definir as condições de uso e ambiente do usuário final, desenvolver requisitos de testes específicos e as estratégias de validação. As ferramentas de DFR aplicadas nesta fase são apresentadas no Quadro 1.

¹ *Roadmap*: roteiro estruturado para explicitar de forma gráfica as fases e os detalhes que orientarão o processo de implantação do pensamento sistêmico em uma organização (CORCINI NETO, 2010).

Quadro 1 - Ferramentas e atividades previstas na fase de Identificação do DFR

#	Ferramentas / Atividades
1	QFD - <i>Quality Function Deployment</i> [Desdobramento da Função Qualidade]
2	<i>Benchmarking</i> [Comparação de produtos com os concorrentes mais fortes]
3	<i>Data analysis of existing products</i> [Análise de dados de produtos existentes]
4	<i>Goal Setting</i> [Definição do objetivo]
5	<i>Develop metrics</i> [Desenvolver métricas]
6	<i>Gap Analysis</i> [Análise de Lacunas]
7	<i>Reliability Program Plan</i> [Plano do programa de confiabilidade]

Fonte: A autoria própria (2017)

Principais ferramentas / atividades da fase identificação

Definição do objetivo

Conforme Schenkelberg (2013), sem a definição dos objetivos de confiabilidade, a liderança da equipe é incapaz de acompanhar o progresso ou saber se as expectativas de confiabilidade do cliente foram alcançadas, até que o produto esteja no mercado.

Plano do programa de confiabilidade

Segundo Silverman e Kleyner (2012), um programa de confiabilidade e plano integrado é crucial no início do ciclo de vida do produto porque neste plano, define-se quais são os objetivos gerais do produto e de cada conjunto ou sistema montado, a performance passada do produto, o tamanho da lacuna, as restrições, as ferramentas de confiabilidade que serão usadas e o prazo para alcançar os objetivos.

Fase projeto

A fase Projeto do DFR, segundo Silverman e Kleyner (2012), é a etapa onde se iniciam as atividades específicas de projeto, seleção de componentes, seleção de fornecedores, dentre outros. As ferramentas de DFR aplicadas nesta fase são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Ferramentas e atividades previstas na fase de Projeto do DFR

#	Ferramentas / Atividades
8	QFD review [Revisão do QFD]
9	Reliability prediction [Previsão da confiabilidade]
10	Trade-off [Processo de escolha entre alternativas, baseado em premissas e critérios]
11	D-FMEA - Design Failure Modes and Effects Analysis [Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos para Projeto]
12	FTA - Fault Tree Analysis [Análise da Árvore de Falhas]
13	Tolerance Evaluation [Avaliação de Tolerâncias]

Fonte: Autoria própria (2017)

Principais ferramentas / atividades da fase projeto

Previsão da confiabilidade

Conforme Chopp, Hoffman & Bertsche (2011), um grande problema nas fases iniciais de desenvolvimento do projeto é a lacuna de informações precisas sobre as falhas de componentes e sistemas. Schenkelberg (2012) cita que os dados de projetos anteriores, dados de campo e a opinião dos especialistas da equipe são todos válidos para prever a confiabilidade de um sistema. A precisão das previsões de confiabilidade favorece a redução de incertezas no projeto e, conseqüentemente, promove a redução de custos de desenvolvimento.

D-FMEA - Design failure modes and effects analysis [análise dos modos de falhas e seus efeitos para projeto]

De acordo com Mcdermott, Mikulak e Beauregard (2009) a sessão de D-FMEA reúne pessoas de diferentes áreas de empresa, com conhecimentos técnicos variados, para se determinar, de maneira sistemática, todos os possíveis modos de falha potencial, os efeitos e as causas de cada modo de falha sobre o desempenho do produto, avaliar os riscos e especificar as ações de melhoria.

Fase análise

Na fase de Análise, Silverman e Kleyner (2012) afirmam que estima-se a confiabilidade do produto, muitas vezes com uma estimativa bruta preliminar no início do desenvolvimento do projeto. É importante nesta fase endereçar todas as fontes potenciais de falhas no produto. As ferramentas de DFR aplicadas nesta fase são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Ferramentas e atividades previstas na fase de Análise do DFR

#	Ferramentas / Atividades
14	DRBFM - <i>Design Review Based on Failure Mode</i> [Design Review Baseado no Modo de Falha]
15	DOE - <i>Design of Experiments</i> [Projeto ou Planejamento de Experimentos]
16	CAE - <i>Computer-Aided Engineering</i> [Engenharia Auxiliada por Computador]
17	RBD - <i>Reliability Block Diagrams</i> [Diagrama de Blocos de Confiabilidade]
18	<i>Specialists opinion / Risk analysis</i> [Opinião de especialistas / Análise de riscos]
19	<i>Reliability prediction review</i> [Revisão da previsão da confiabilidade]
20	<i>Stress-Strength Analysis</i> [Análise de Estresse-Força]
21	D-FMEA Review [Revisão da D-FMEA]

Fonte: Autoria própria (2017)

Principais ferramentas / atividades da fase análise

DRBFM - Design review based on failure mode [design review baseado no modo de falha]

De acordo com Allan (2009), se são realizadas 20 mudanças em um projeto, não será possível aprofundar e detalhar todas essas mudanças. Mas, se forem realizadas 3 mudanças, torna-se possível o estudo e a análise aprofundada. A minimização de modificações permite um aumento na profundidade da discussão e a análise de itens de alto risco durante o desenvolvimento do produto. O foco do DRBFM é sobre as poucas mudanças vitais.

Opinião de especialistas / análise de riscos

A opinião especializada é usada para analisar e interpretar as informações relacionadas ao desenvolvimento do produto e aos requisitos de confiabilidade. Raheja e Gullo (2012) afirmam que tipicamente, 200 a 300 requisitos são geralmente ausentes ou vagos em sistemas complexos, como uma transmissão automotiva.

Fase verificação

Na fase de Verificação, segundo Silverman e Kleyner (2012), os protótipos do produto devem estar prontos para testes e análises mais detalhadas. É um processo iterativo onde diferentes tipos de testes são realizados, fraquezas do produto são descobertas, os resultados são analisados e alterações de projeto são feitas. As ferramentas de DFR aplicadas nesta fase são apresentadas no quadro 4.

Quadro 4 - Ferramentas e atividades previstas na fase de Verificação do DFR

#	Ferramentas / Atividades
22	DOE - <i>Design of Experiments</i> [Projeto ou Planejamento de Experimentos]
23	ALT - <i>Accelerated Life Testing</i> [Teste de Vida Acelerado]
24	HALT - <i>High Accelerated Life Testing</i> [Teste de Vida Altamente Acelerado]
25	<i>Degradation analysis</i> [Análise de Degradação]
26	<i>Reliability Growth Analysis</i> [Análise do Crescimento da Confiabilidade]
27	DRBTR - <i>Design Review Based on Tests Results</i> [Design Review Baseado nos Resultados de Testes]
28	<i>Life Data Analysis (Weibull analysis)</i> [Análise dos Dados de Vida]
29	<i>Specialists opinion / Risk analysis</i> [Opinião de especialistas / Análise de riscos]

Fonte: Autoria própria (2017)

Principais ferramentas / atividades da fase verificação

Análise de degradação

Segundo Bae, Kuo e Kvam (2007), em experimentos em que os tempos de falha são esparsos, a análise de degradação é útil para a análise das distribuições de tempo de falha em estudos de confiabilidade. Esta análise projeta dados de falha a partir do histórico de degradação de uma característica de qualidade ou performance que está associada com a confiabilidade de um produto.

DRBTR - Design review based on tests results [design review baseado nos resultados de testes]

A aplicação do DRBTR é indicada após a fase de testes em protótipos. Segundo Dolsen, Legary e Phillips (2016), o DRBTR envolve um teardown (desmontagem) de sistemas e peças após os testes em protótipos, para descobrir potenciais riscos de confiabilidade que podem ser abordados com contramedidas, antes do início da produção em massa.

Fase validação

A fase de Validação, segundo Silverman e Kleyner (2012), normalmente envolve testes funcionais e ambientais no nível de sistema com o objetivo de preparo para a produção. Confirma-se nesta fase se o produto está pronto para elevado volume de produção. As ferramentas de DFR aplicadas nesta fase são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Ferramentas e atividades previstas na fase de Validação do DFR

#	Ferramentas / Atividades
30	RDT - <i>Reliability Demonstration Testing</i> [Teste de Demonstração da Confiabilidade]
31	<i>Process Validation</i> [Validação do Processo]

Fonte: Autoria própria (2017)

Principais ferramentas / atividades da fase validação

RDT - Reliability demonstration testing [teste de demonstração da confiabilidade]

Segundo Guo *et al.* (2011), o RDT é o processo de demonstração da confiabilidade do produto. O RDT é normalmente realizado no nível de sistema e é tipicamente configurado como um teste de aprovação final. O RDT é usado para avaliar a confiabilidade do produto e validar o projeto, antes do início da produção em grande escala.

Validação do processo

Quando o desenvolvimento do produto alcança a fase de manufatura, segundo Mettas (2010), os esforços de DFR devem focar primariamente na redução e eliminação de problemas introduzidos pelo processo de manufatura. A manufatura introduz variações no material, processos, locais de manufatura, mão de obra, contaminação, etc. A confiabilidade do produto deve ser reavaliada em relação a estas variáveis adicionais.

Fase monitoramento e controle

Na fase de Monitoramento e Controle, Silverman e Kleyner (2012) afirma que é necessário assegurar que o processo é mantido sem mudanças e as variações dentro das tolerâncias permitidas. As ferramentas de DFR aplicadas nesta fase apresenta-se no Quadro 6.

Quadro 6 - Ferramentas e atividades previstas na fase de Controle do DFR

#	Ferramentas / Atividades
32	FRACAS - <i>Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System</i> [Sistema de Relatório de Falhas, Análise e Ações Corretivas]
33	P-FMEA - <i>Process Failure Modes and Effects Analysis</i> [Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos para Processo]
34	HRA - <i>Human Reliability Analysis</i> [Análise da Confiabilidade Humana]
35	ORT - <i>Ongoing Reliability Testing</i> [Teste Contínuo de Confiabilidade]
36	ESS - <i>Environment Stress Screening</i> [Triagem de Tensões Ambientais]
37	SPC - <i>Statistical Process Control</i> [CEP - Controle Estatístico do Processo]
38	<i>Field and warranty data analysis</i> [Análise dos Dados de Campo e Garantia]
39	<i>Audits</i> [Auditorias]
40	<i>Lessons learned</i> [Lições Aprendidas]

Fonte: Autoria própria (2017)

Principais ferramentas / atividades da fase controle

P-FMEA - Process failure modes and effects analysis [análise dos modos de falhas e seus efeitos para processo]

Segundo Laurenti (2010), o P-FMEA é focado em modos de falha causados por deficiências de processo de fabricação ou montagem, com o objetivo de produzir produtos confiáveis. O P-FMEA inclui uma revisão de materiais, peças, processos de manufatura, ferramentas e equipamentos, métodos de inspeção, erros humanos e documentação.

Lições aprendidas

Segundo Geiger e Sarakakis (2016), as lições aprendidas são uma importante fonte de dados para o processo de DFR. Uma forma de assegurar o aprendizado com as experiências passadas e não repetir os erros é capturar e contemplar as lições aprendidas em diretrizes do projeto.

Gerenciamento de projetos

O gerenciamento de projetos, segundo o guia Project Management Body of Knowledge PMBOK [Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos] - 6ª Ed., PMI (2017), é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de cumprir os seus requisitos. O conteúdo do PMBOK - 6ª Ed. é organizado em 49 processos de gerenciamento de projetos, os quais são agrupados em 5 categorias conhecidas como grupos de processos de gerenciamento de projetos e distribuídos em 10 áreas de conhecimento distintas. As etapas de desenvolvimento do projeto são representadas pelos grupos de processos: Iniciação, Planejamento, Execução, Monitoramento e Controle e Encerramento.

Ainda segundo o PMI (2017), as áreas de conhecimento representam um conjunto completo de conceitos, termos e atividades que compõem campos profissionais, de gerenciamento de projetos e áreas de especialização.

BPMN

Segundo Salma, Khalid e Said (2015), o Business Process Modeling Notation (BPMN) [Notação de Modelagem de Processos de Negócios] é um dos mais recentes padrões de modelagem gráfica dos processos de negócio. A modelagem BPMN baseia-se na técnica

de fluxogramas e representa graficamente o Business Process Management (BPM) [Gerenciamento de Processos de Negócio] utilizando o Business Process Diagram (BPD) [Diagrama de Processos de Negócio]. O objetivo principal do BPMN é fornecer uma notação compreensível para todos os usuários profissionais envolvidos no processo.

Matriz RACI

Segundo Cabanillas, Resinas e Ruiz-Cortés (2011), as organizações devem gerenciar as responsabilidades das áreas e de seus membros em relação às atividades que devem ser realizadas. Isso pode ser feito por meio de uma matriz de responsabilidades, também conhecida como matriz RACI (Responsável, Autorizador, Consultado e Informado). De acordo com o PMI (2017), a matriz RACI garante divisões claras de papéis e expectativas.

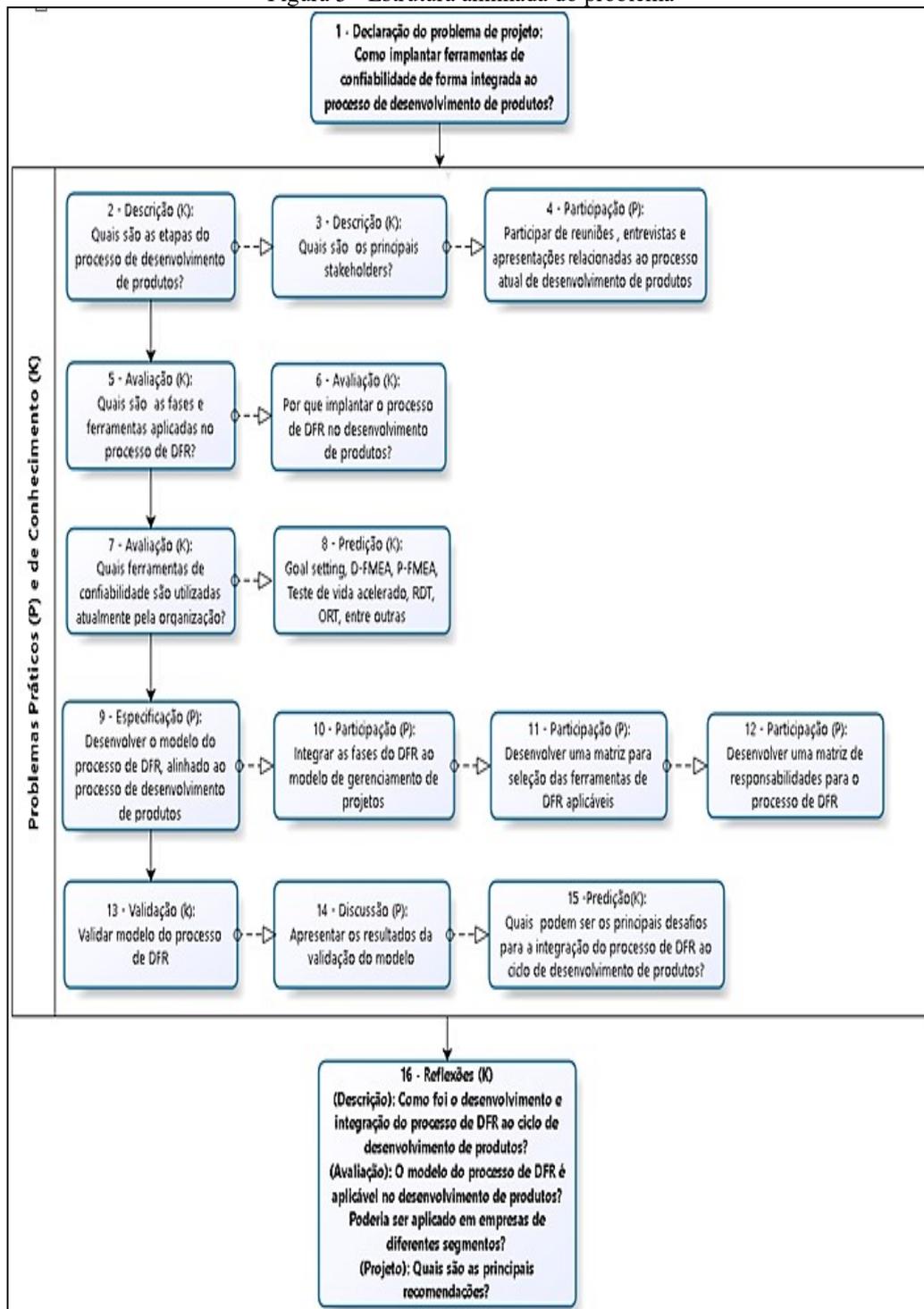
3. Metodologia

Definiu-se como base de pesquisa para este estudo a metodologia DS e o método prescritivo DSR. Segundo Wieringa (2009), o paradigma DS é uma meta-teoria que investiga a geração de conhecimento no processo de concepção de artefatos. O artefato desenvolvido o qual é o fruto desta pesquisa, é o modelo do processo de DFR. Para facilitar o desdobramento do problema de pesquisa, foi utilizada a estrutura aninhada proposta por Wieringa (2009).

O modelo da estrutura aninhada do problema de Wieringa

O modelo da estrutura aninhada apresentado na Figura 9, sugere que o problema de pesquisa seja decomposto em problemas práticos (P) e problemas do conhecimento ou teóricos (K), mutuamente aninhados. A estrutura aninhada do problema servirá de guia do método DSR para a presente pesquisa.

Figura 3 - Estrutura aninhada do problema



Fonte: Autoria própria (2017)

Além do método DSR, para alcançar os objetivos da pesquisa, definiu-se a abordagem qualitativa que, segundo Gil (2010) se justifica como adequada, pois a investigação ocorreu sob uma visão abrangente a respeito dos modelos e processos de desenvolvimento de produtos, o que exigiu do pesquisador a percepção das diferentes óticas do problema central.

4. Apresentação e discussão dos resultados

Nas seções 4.1, 4.2 e 4.3, além do modelo do processo de DFR, apresenta-se outros modelos (quadros e matrizes) que complementam as informações do modelo e facilitam a compreensão do processo proposto para a aplicação do DFR.

Integração das fases do DFR à estrutura de gerenciamento de projetos, conforme o PMBOK – 6ª Ed.

Conforme já citado na sessão 2.4, os processos de gerenciamento de projetos são desenvolvidos em diferentes fases do projeto (grupos de processos) e consideram várias áreas de conhecimento. Segundo o PMI (2017), a área de conhecimento Gerenciamento da Qualidade do Projeto contempla os processos que trabalham para garantir que os requisitos do projeto e os requisitos do produto sejam cumpridos e validados. Porém não são considerados requisitos específicos que garantam a confiabilidade do produto.

Considerando-se que a aplicação do processo de DFR ocorre simultaneamente ao desenvolvimento do projeto de um novo produto e que a confiabilidade deve ser um requisito relevante a ser considerado no desenvolvimento do produto, propõe-se, dessa forma, a integração da área de conhecimento Gerenciamento da Confiabilidade do Projeto e as fases do DFR à estrutura de gerenciamento de projetos do PMBOK - 6ª Ed. Com o fim de representar esta proposta, o quadro 7 apresenta um modelo adaptado do PMBOK - 6ª Ed., que integra o momento de aplicação das fases do processo de DFR, alinhado aos grupos de processos e às áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos.

Quadro 7 - Integração do processo de DFR à estrutura de gerenciamento de projetos

Áreas de Conhecimento	Grupos de Processos				
	Iniciação	Planejamento	Execução	Monitoramento e Controle	Encerramento
Gerenciamento da Integração do projeto	Desenvolver o Termo de Abertura do Projeto	Desenvolver o Plano de Gerenciamento do Projeto	Orientar e gerenciar o trabalho do projeto Gerenciar o conhecimento do projeto	Monitorar e controlar o trabalho do projeto Realizar o controle integrado de mudanças	Encerrar o projeto ou fase
Gerenciamento do Escopo do projeto		Planejar o gerenciamento do escopo		Validar o escopo	
		Coletar os requisitos		Controlar o escopo	
		Definir o escopo			
		Criar a EAP			
Gerenciamento do Cronograma do projeto		Planejar o gerenciamento do cronograma		Controlar o cronograma	
		Definir as atividades			
		Sequenciar as atividades			
		Estimar as durações das atividades			
		Desenvolver o cronograma			
Gerenciamento dos Custos do projeto		Planejar o gerenciamento dos custos		Controlar os custos	
		Estimar os custos			
		Determinar o orçamento			
Gerenciamento da Qualidade do projeto		Planejar o gerenciamento da qualidade	Gerenciar a qualidade	Controlar a qualidade	
Gerenciamento da Confiabilidade do Projeto	Desenvolver a fase de Identificação do DFR		Desenvolver a fase de Projeto do DFR	Desenvolver a fase de Validação do DFR	
			Desenvolver a fase de Análise do DFR	Desenvolver a fase de Monitoramento e Controle do DFR	
			Desenvolver a fase de Verificação do DFR		
Gerenciamento dos Recursos do projeto		Planejar o gerenciamento dos recursos	Mobilizar recursos Desenvolver a equipe	Controlar os recursos	
		Estimar os recursos das atividades	Gerenciar a equipe		
Gerenciamento das Comunicações do projeto		Planejar o gerenciamento das comunicações	Gerenciar as comunicações	Monitorar as comunicações	
Gerenciamento dos Riscos do projeto		Planejar o gerenciamento dos riscos	Implementar respostas aos riscos	Monitorar os riscos	
		Identificar os riscos			
		Realizar a análise qualitativa dos riscos			
		Realizar a análise quantitativa dos riscos			
		Planejar as respostas aos riscos			
Gerenciamento das Aquisições do projeto		Planejar o gerenciamento das aquisições	Conduzir as aquisições	Controlar as aquisições	
Gerenciamento das Partes Interessadas do projeto	Identificar as partes interessadas	Planejar o engajamento das partes interessadas	Gestão do engajamento das partes interessadas	Controlar o engajamento das partes interessadas	

Fonte: Adaptado do PMBOK, PMI (2017)

Modelo do processo de DFR

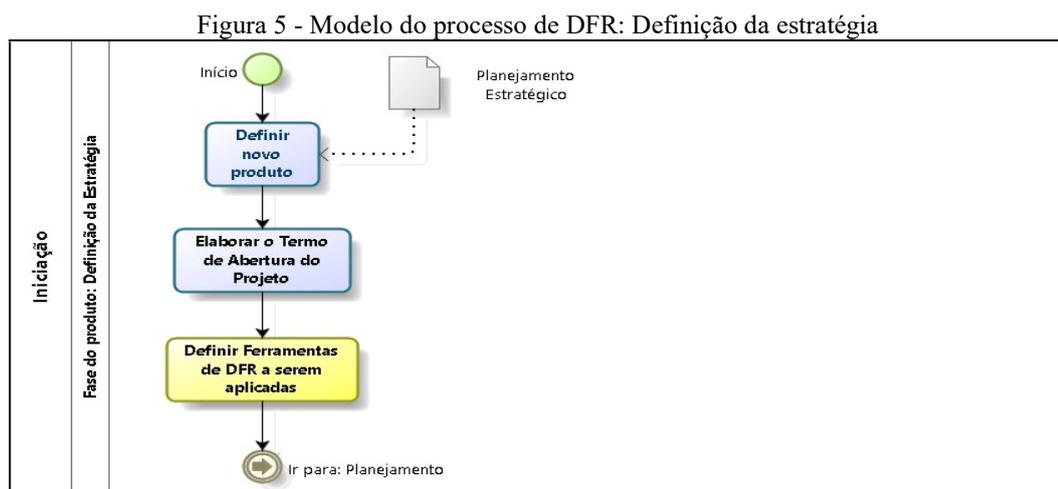
O modelo do processo de DFR foi desenvolvido conforme as atividades chave e o fluxo de DFR mostrado em Silverman e Kleyner (2012) e também baseado nas entrevistas e

estudos realizados por este pesquisador na empresa em questão. O modelo do DFR foi estruturado como um projeto, integrando as etapas do processo de DFR aos grupos de processos e áreas de conhecimento do PMBOK - 6ª Ed. Além disso, para facilitar o entendimento do fluxo do processo proposto, foi aplicada a modelagem BPMN como padrão para o desenvolvimento do modelo. O modelo do processo de DFR apresenta a sequência lógica de aplicação das ferramentas de DFR, durante as etapas de desenvolvimento do produto.

O modelo foi desenvolvido para uma solução que pode ser generalizada, conforme recomendação da metodologia DS, pois o mesmo poderá ser aplicado no processo de desenvolvimento do produto de indústrias de diferentes segmentos. Assim, conforme já citado na sessão 4.1, o modelo do processo de DFR apresentado nas Figuras de 11 a 15, é dividido e apresentado nos cinco grupos de processos de gerenciamento de projetos estabelecidos pelo PMBOK - 6ª Ed.

Modelo do processo de DFR - grupo de processos: iniciação

O grupo de processos de Iniciação representa os processos executados para definir um projeto novo ou uma fase nova de um projeto existente. Além disso, define-se nesta fase quais ferramentas de DFR serão aplicadas no projeto, de acordo com critérios pré-estabelecidos. A Figura 5 apresenta o modelo do processo de DFR: Definição da estratégia.



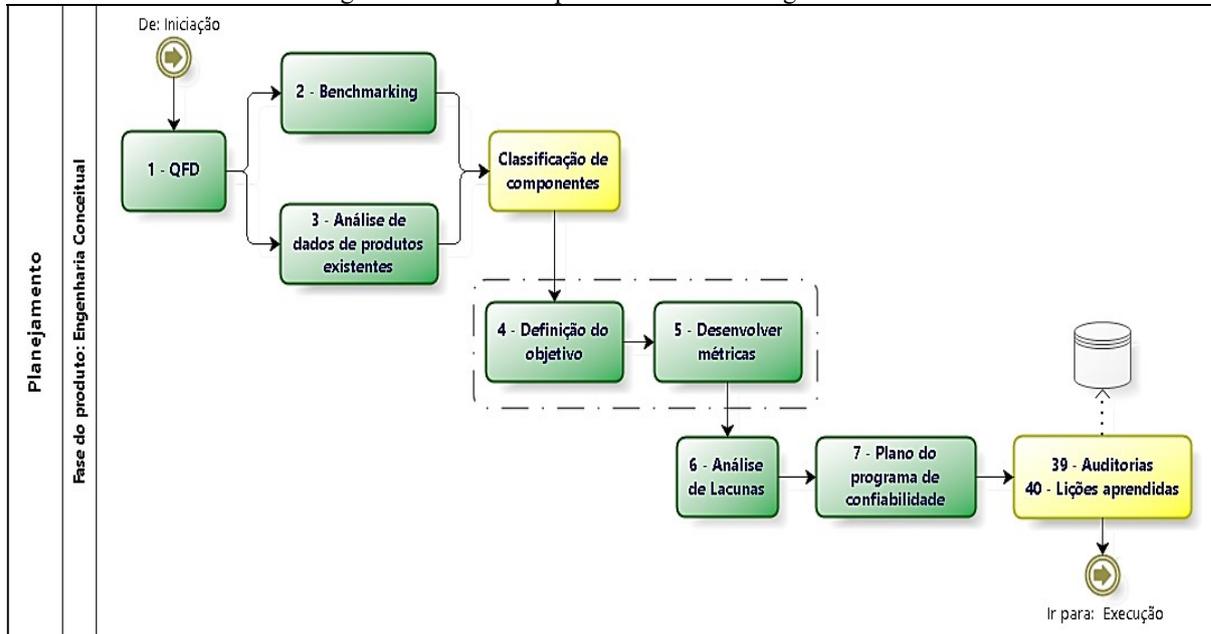
Fonte: Autoria própria (2017)

Modelo do processo de DFR - grupo de processos: planejamento

O grupo de processos de Planejamento representa os processos exigidos para definir o escopo do projeto, refinar os objetivos, e desenvolver o curso de ação necessário para alcançar

os objetivos para os quais o projeto foi criado. A Figura 6 apresenta o modelo do processo de DFR: Engenharia Conceitual.

Figura 6 - Modelo do processo de DFR: Engenharia Conceitual

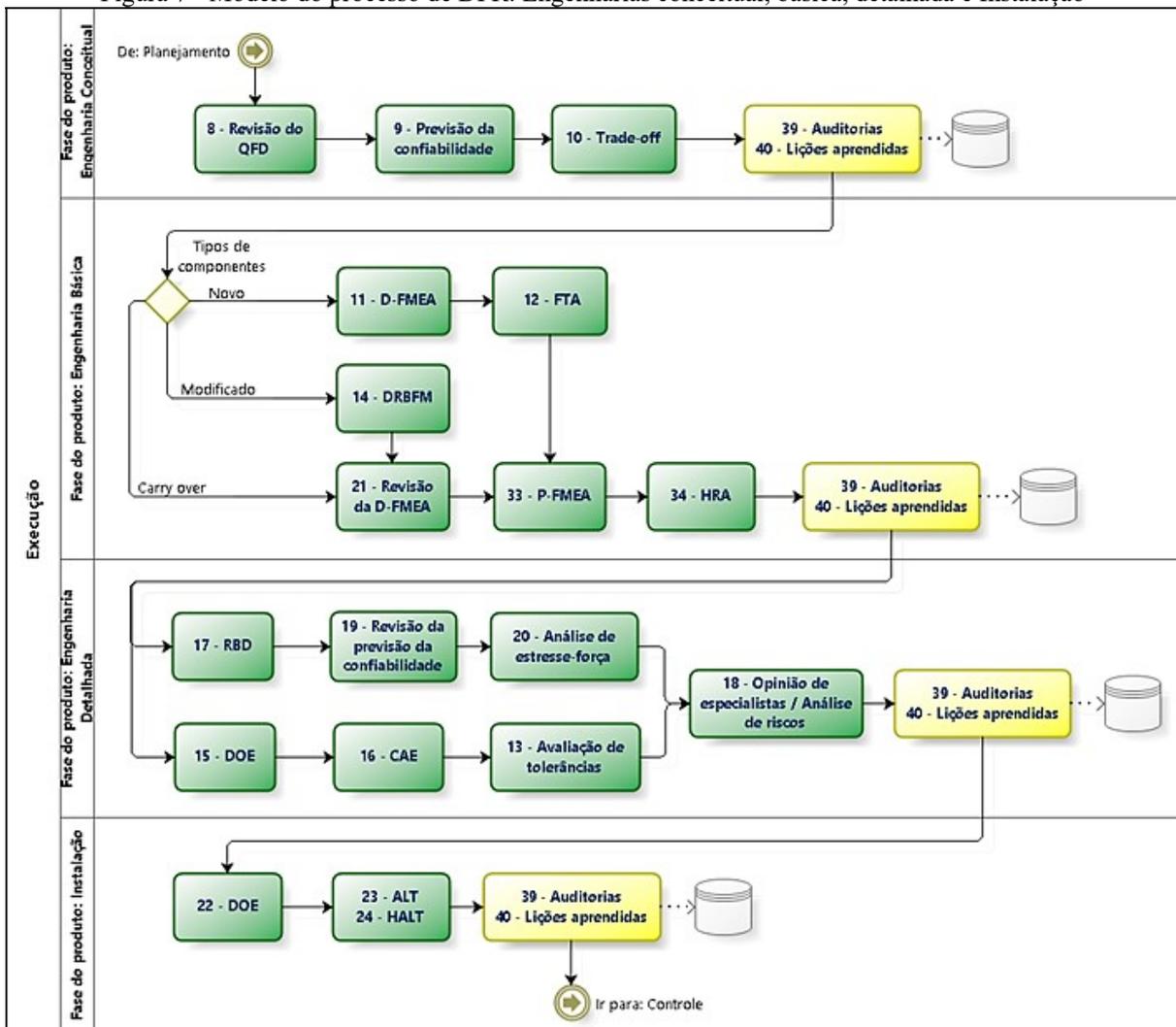


Fonte: Autoria própria (2017)

Modelo do processo de DFR - grupo de processos: execução

O grupo de processos de Execução representa os processos realizados para executar o trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto, a fim de atender às especificações do projeto. A Figura 07 apresenta o modelo do processo de DFR: Engenharia conceitual, Engenharia básica, Engenharia detalhada e Instalação.

Figura 7 - Modelo do processo de DFR: Engenharias conceitual, básica, detalhada e Instalação

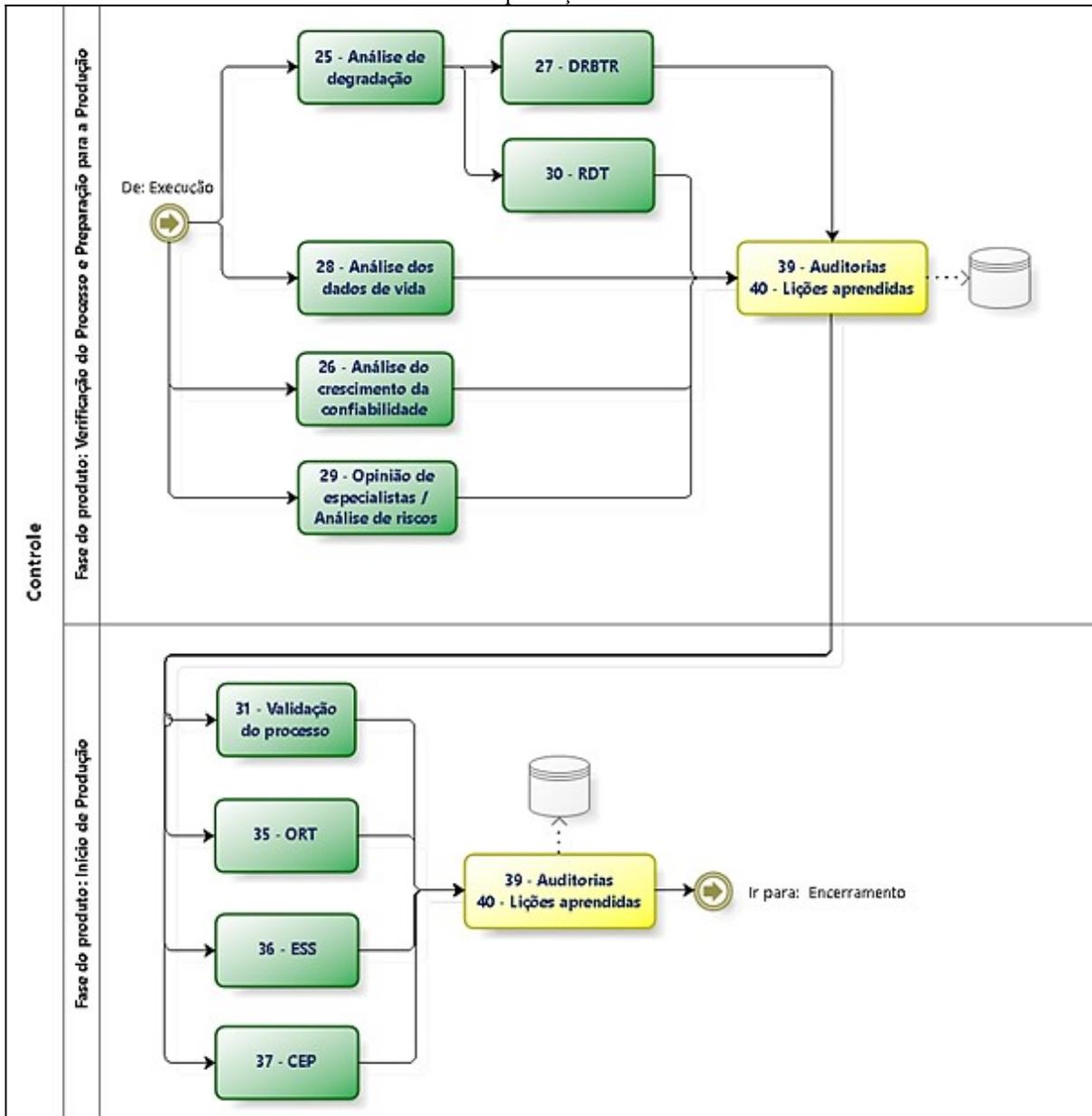


Fonte: Autoria própria (2017)

Modelo do processo de DFR - grupo de processos: monitoramento e controle

O grupo de processos de Monitoramento e Controle representa os processos necessários para acompanhar, analisar e controlar o progresso e o desempenho do projeto, identificar todas as áreas nas quais serão necessárias mudanças no plano e iniciar as mudanças correspondentes. A Figura 8 apresenta o modelo do processo de DFR: Verificação do processo, preparação para a produção e início de produção.

Figura 8 - Modelo do processo de DFR: Verificação do processo, preparação para a produção e início de produção

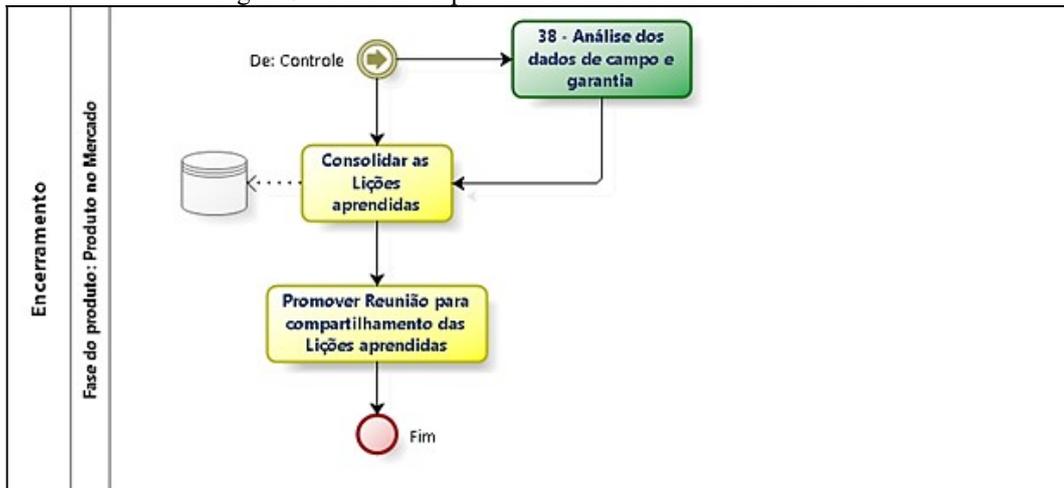


Fonte: Autoria própria (2017)

Modelo do processo de DFR - grupo de processos: encerramento

O grupo de processos de Encerramento representa os processos executados para concluir todas as atividades dos grupos de processos, a fim de encerrar formalmente o projeto ou a fase. A Figura 9 apresenta o modelo do processo de DFR: Produto no mercado.

Figura 9 - Modelo do processo de DFR: Produto no mercado



Fonte: Autoria própria (2017)

Matriz RACI do processo de DFR

O processo de DFR é multidisciplinar e depende do envolvimento de diferentes áreas da organização na aplicação das ferramentas durante o desenvolvimento do produto. Dessa forma, propôs-se a divisão e definição das responsabilidades para as ferramentas e DFR, por meio da matriz RACI apresentada no Quadro 08 o qual possui o objetivo de organizar e facilitar a aplicação do processo de DFR e principalmente estabelecer a governança e gerenciamento das ferramentas no processo.

Quadro 08 - Matriz RACI do Processo de DFR

Matriz de responsabilidades - Processo de DFR							
Fases do DFR	Ferramentas de DFR	R: Responsável pela realização / A: Aprovador / S: Suporte / I: Informado					
		Áreas / Departamentos					
		Engenharia	Integração / PMO	Qualidade / Confiabilidade	Manufatura	Compras / Qualidade fornecedor	Equipe responsável pelo DFR
1 - Identificação	QFD	S	I	R/A	I	I	I
	Benchmarking	R/A	I	S	I	I	I
	Análise de dados de produtos existentes	S	I	R/A	I	I	I
	Definição do objetivo	S	I	R/A	I	I	I
	Desenvolver métricas	S	I	R/A	I	I	I
	Análise de Lacunas	S	I	R/A	I	I	I
	Plano do programa de confiabilidade	I	I	R/A	I	I	I
2 - Projeto	Revisão do QFD	S	I	R/A	I	I	I
	Previsão da confiabilidade	S	I	R/A	I	I	I
	Trade-off	R/A	S	S	S	S	I
	D-FMEA	R/A	I	S	I	I	I
	FTA	R/A	I	S	I	I	I
	Avaliação de tolerâncias	R/A	I	I	I	I	I
3 - Análise	DRBFM	R/A	I	S	I	I	I
	DOE	R/A	I	I	I	I	I
	CAE	R/A	I	I	I	I	I
	RBD	S	I	R/A	I	I	I
	Opinião de especialistas / Análise de riscos	S	S	R/A	S	S	I
	Revisão da previsão da confiabilidade	S	I	R/A	I	I	I
	Revisão da D-FMEA	R/A	I	S	I	I	I
	Análise de estresse-força	R/A	I	I	I	I	I
4 - Verificação	DOE	R/A	I	I	I	I	I
	ALT	R/A	I	S	S	S	I
	HALT	R/A	I	S	S	S	I
	Análise de degradação	R/A	I	S	S	S	I
	Análise do crescimento da confiabilidade	S	I	R/A	S	S	I
	DRBTR	S	I	R/A	S	S	I
	Análise dos dados de vida	I	I	R/A	I	I	I
	Opinião de especialistas / Análise de riscos	S	S	R/A	S	S	I
5 - Validação	RDT	S	I	R/A	S	S	I
	Validação do processo	S	I	R/A	S	S	I
6 - Monitoramento e Controle	P-FMEA	S	I	S	R/A	S	I
	HRA	R/A	I	S	I	I	I
	FRACAS	R/A	I	R/A	R/A	R/A	I
	ESS	R/A	I	S	S	S	I
	CEP	S	I	A	R	S	I
	ORT	I	I	R/A	I	I	I
	Análise dos dados de campo e garantia	I	I	R/A	I	I	I
	Auditorias	S	S	S	S	S	R/A
	Lições Aprendidas	R/A	I	R/A	R/A	R/A	I

Fonte: Autoria própria (2017)

A responsabilidade das lições aprendidas na aplicação do processo de DFR, deve ser de cada uma das respectivas áreas envolvidas, as quais gerenciam suas ações e registros específicos.

Processo de validação

Segundo a metodologia DS e conforme previsto no processo da estrutura aninhada, o modelo do processo de DFR foi apresentado em 10 eventos (9 reuniões e 1 workshop) e validado junto às principais partes interessadas da empresa na qual este pesquisador desenvolveu este trabalho.

A validação do modelo foi realizada por meio da aplicação de um questionário. O questionário foi aplicado junto aos especialistas e gestores das áreas de engenharia, qualidade e confiabilidade da empresa, no período entre os dias 29/06/17 e 10/07/17.

Resultados do questionário

O questionário foi respondido individualmente por 9 funcionários da empresa (gerentes, supervisores, analistas e estagiário) envolvidos no processo de desenvolvimento do produto, representando as áreas de engenharia, qualidade e confiabilidade. O Quadro 09 apresenta as respostas das questões gerais.

Quadro 09 - Respostas das questões gerais

Questão	Sim	Não
O conteúdo da pesquisa apresenta relevância para a compreensão dos conceitos e aplicabilidade do processo de DFR?	9	0
O modelo do processo de DFR desenvolvido é aplicável no processo de desenvolvimento do produto?	9	0
A divisão por grupos de processos de gerenciamento de projetos e a sequência de aplicação das ferramentas, conforme o modelo, facilitam a compreensão do processo e implantação do DFR?	9	0
O modelo desenvolvido proporciona a integração do processo de DFR ao processo de desenvolvimento do produto?	9	0
A matriz de responsabilidades do DFR contribui para a definição da governança do processo de DFR?	9	0
O modelo do processo de DFR poderia ser aplicado em empresas de outros segmentos da indústria?	9	0

Fonte: Autoria própria (2017)

Conforme as respostas apresentadas na Figura 11, todos os respondentes validaram o modelo do processo de DFR desenvolvido. Além disso, confirmaram a relevância da pesquisa, a aplicabilidade do processo de DFR no desenvolvimento de produtos e em diferentes segmentos industriais.

O Quadro 10 mostra as respostas das questões específicas, em relação à implantação do processo de DFR na empresa.

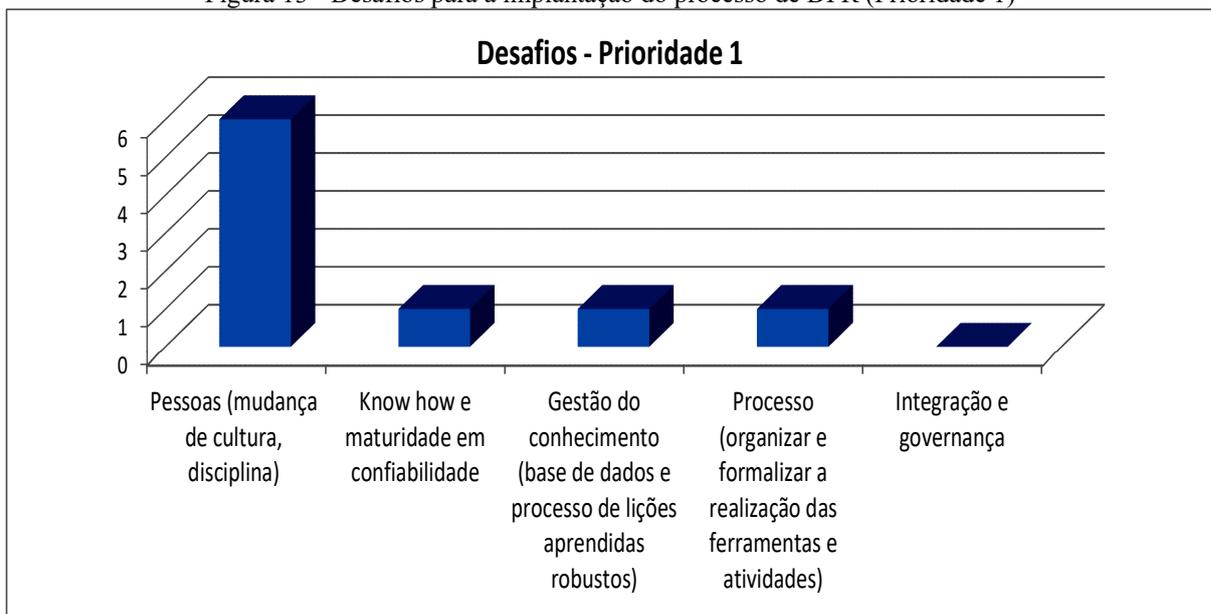
Quadro 10 - Respostas das questões específica

Em relação à implantação do processo de DFR na empresa, identifique dois aspectos abaixo, os quais podem representar os maiores desafios ou dificuldades, por ordem de importância (1 e 2):	Priorid. 1	Priorid. 2
Pessoas (mudança de cultura, disciplina)	6	2
Know how e maturidade em confiabilidade	1	1
Gestão do conhecimento (base de dados e processo de lições aprendidas robustos)	1	5
Processo (organizar e formalizar a realização das ferramentas e atividades)	1	1
Integração e governança	0	0

Fonte: Autoria própria (2017)

Os resultados das respostas das questões específicas foram apresentados e detalhados por prioridade nos gráficos das Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Desafios para a implantação do processo de DFR (Prioridade 1)

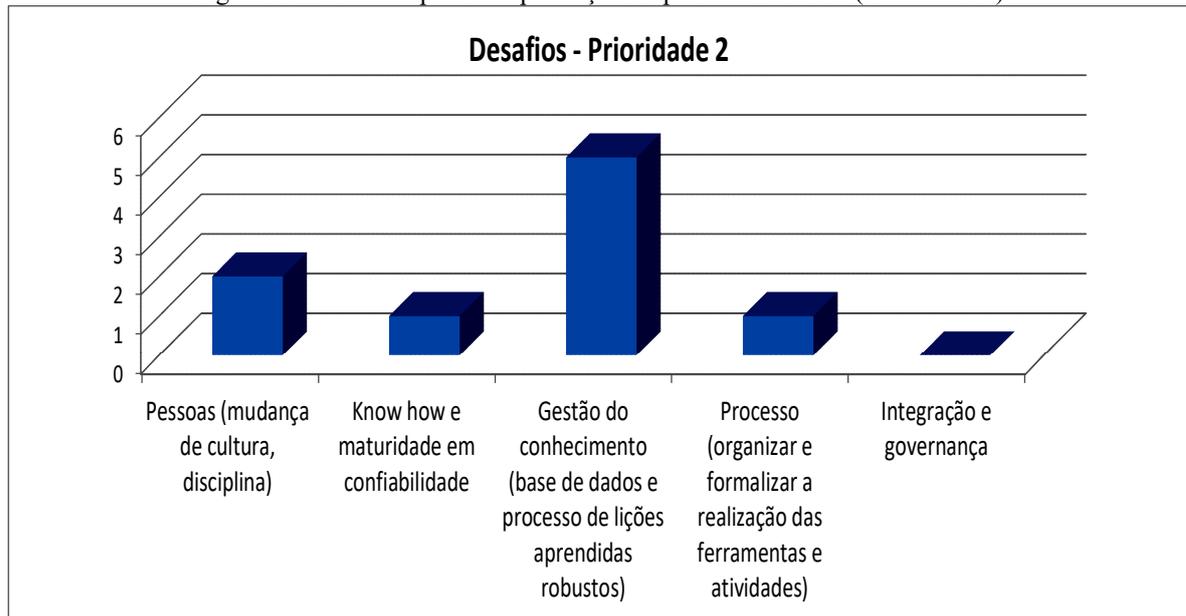


Fonte: Autoria própria (2017)

Na Figura 13, são apresentados os desafios considerados mais importantes (prioridade 1). Observa-se que o fator relacionado a pessoas (mudança de cultura, disciplina) foi indicado como o mais relevante. Resultado este que reforça a importância do envolvimento e treinamento das pessoas para a aplicação e desenvolvimento das ferramentas de DFR apresentadas na seção 2.3.

A Figura 14 apresenta os desafios considerados também importantes (como prioridade 2), para a implantação do processo de DFR.

Figura 14 - Desafios para a implantação do processo de DFR (Prioridade 2)



Fonte: Autoria própria (2017)

Observa-se que o fator relacionado à gestão do conhecimento (base de dados e processos de lições aprendidas robustos) foi indicado pelos respondentes como o mais relevante. Este resultado revela a importância da ferramenta lições aprendidas, apresentada na seção 2.3.6.1.2.

5. Conclusão

A presente pesquisa buscou apresentar o processo e as ferramentas de DFR aplicadas durante as etapas de desenvolvimento de produtos, tendo como principal objetivo a elaboração de um modelo do processo de DFR. O modelo do processo de DFR foi desenvolvido baseado nos conceitos de desenvolvimento de produtos, na estrutura de gerenciamento de projetos do PMBOK - 6ª Ed., na modelagem BPMN e na experiência durante a pesquisa sobre a integração do processo de DFR na empresa.

A metodologia DS e o método DSR foram muito importantes para a obtenção dos argumentos necessários para responder à questão central da pesquisa anunciada na seção 1: como implantar ferramentas de confiabilidade de forma integrada ao processo de desenvolvimento de produtos? Os argumentos e as respectivas reflexões foram abordados na estrutura aninhada do problema, conforme apresentado na seção 3.1.

O desenvolvimento desta pesquisa proporcionou reconhecer a importância da confiabilidade como um requisito dos processos de desenvolvimento de produtos. Além disso,

foi possível observar a complexidade dos processos e atividades relacionadas à confiabilidade, que devem ser considerados para garantir a confiabilidade do produto final. Neste contexto, acredita-se que o modelo desenvolvido poderá contribuir para a integração do processo de DFR em empresas desenvolvedoras e fabricantes de produtos.

Observou-se também durante a imersão do pesquisador na empresa escolhida para este estudo, que a integração do DFR ao processo de desenvolvimento de produtos é um projeto de médio-longo prazo e deve ser tratado e gerenciado como tal. Dessa forma, sugere-se a seguir algumas ações a serem consideradas na implantação do processo de DFR:

- a) Definir o plano para a implantação do processo de DFR. Identificar as áreas envolvidas e formalizar a formação da equipe de DFR;
- b) Realizar previamente, antes da implantação do DFR, a revisão e o mapeamento dos processos de desenvolvimento de produtos;
- c) Promover um treinamento básico para os pontos focais sobre o DFR;
- d) Identificar os processos e atividades correntes que podem ser relacionadas aos conceitos de DFR. Estes processos e atividades deverão ser revisados conforme os conceitos de DFR. Identificar e priorizar as ferramentas de DFR que poderão ser desenvolvidas, conforme conhecimento e recursos disponíveis na empresa;
- e) Mapear e integrar o processo de DFR às etapas de desenvolvimento de produtos. Formalizar as entregas de DFR no novo processo;
- f) Elaborar conteúdo de treinamento completo sobre o DFR, incluindo conceitos e exemplos práticos. Dividir o conteúdo em módulos gerenciais e técnicos;
- g) Estabelecer uma agenda de encontros periódicos para a equipe de DFR, com o objetivo de acompanhar a evolução da implantação do processo e auditorias;
- h) Além dos processos internos, o DFR deve ser incorporado e integrado ao processo de desenvolvimento de produtos dos fornecedores.

Podem ocorrer algumas diferenças nos processos de desenvolvimento de produtos para empresas de segmentos diferentes. Torna-se assim necessária uma eventual adequação do modelo quando da aplicação do processo de DFR em indústrias de segmentos diferentes.

Por fim, destaca-se a diferenciação desta pesquisa na literatura, pela abrangência do conteúdo técnico relacionado ao processo de DFR, e principalmente devido ao ineditismo do modelo apresentado, com a estruturação e sequenciamento de aplicação das ferramentas de DFR durante as etapas de desenvolvimento de produtos. Espera-se contribuir com a difusão dos conceitos de DFR e facilitar a compreensão e implantação do mesmo nas organizações.

Limitações da pesquisa

Este trabalho foi elaborado com base em várias referências, métodos e modelos teóricos, porém a pesquisa do processo real de desenvolvimento de produtos limitou-se à uma empresa do segmento automotivo, onde ocorreu a imersão do pesquisador. Desta forma, mesmo que o modelo tenha sido desenvolvido como um modelo genérico, podem ocorrer algumas diferenças nos processos de desenvolvimento de produtos, para empresas de segmentos diferentes. Torna-se assim necessária uma eventual adequação e adaptação do modelo, quando da aplicação do processo de DFR em indústrias de segmentos diferentes.

Além disso, devido à complexidade e extensão do processo de DFR, não foi possível realizar uma abordagem profunda do conteúdo de cada ferramenta.

Sugestão de trabalhos futuros

Como oportunidades para trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos baseados nos conceitos de DFR e na aplicação do modelo, sugere-se:

- Realizar uma pesquisa de abordagem quantitativa sobre os resultados de confiabilidade obtidos com a aplicação do processo de DFR;
- Desenvolver um novo modelo do processo de DFR integrado à metodologia Agile de desenvolvimento do produto.

Referências

- ALLAN, L. Change Point Analysis and DRBFM: A Winning Combination. *Reliability Edge - Reliasoft*, v. 9, n. 2, pp. 16–21, 2009.
- BAE, S. J., KUO, W. & KVAM, P. H. Degradation models and implied lifetime distributions. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 92, n. 5, pp. 601–608, 2007.
- BARCZAK, G., GRIFFIN, A. & KAHN, K. B. Trends and Drivers of Success in NPD Practices: Results of 2003 PDMA Best Practices Study. *Journal of Product Innovation Management*, v. 26, n. 1, pp. 3-23, 2009.
- CABANILLAS, C., RESINAS, M. & RUIZ-CORTÉS, A. Mixing RASCI Matrices and BPMN Together for Responsibility Management. VII Jornadas en Ciencia e Ingeniería de Servicios (JCIS'11). Universidad de Sevilla, Spain, pp. 167–180, 2011.
- CORCINI NETO, S. L. H. Proposição de um roadmap para a implantação da abordagem do pensamento sistêmico em organizações. [s.l.] Dissertação de mestrado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. São Leopoldo - RS, 2010.
- CHAO, L. P. & ISHII, K. Design Process Error Proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process. *Journal of Mechanical Design*, v. 129, n. 5, pp. 491-551, 2007.
- DOLSEN, M., LEGARY, E. & PHILLIPS, M. Mizen Boushi in Mass Production : a framework for maintaining reliability in a dynamic environment. *Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Detroit – Michigan, 2016.

- DROGUETT, E. L. & MOSLEH, A. Análise Bayesiana da Confiabilidade de Produtos em Desenvolvimento. *Gestão & Produção*, v. 13, pp. 57–69, 2006.
- GEIGER, C. & SARAKAKIS, G. Data Driven Design for Reliability. *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium*, v. 2016–April, n. IEEE, p. 6, 2016.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5a Edição ed. São paulo: Atlas, 2010.
- GUO H., LIAO H., GEROKOSTOPOULOS A. & Mettas A. Design of reliability demonstration testing for repairable systems. *2011 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 1–6, 2011.
- ISMAIL, A. & JUNG, W. DFR Process for Brake Pad Reliability Improvement. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, v. 35, n. Korea, pp. 180–186, 2012.
- KOPP, M., HOFMANN, D. & BERTSCHE, B. Early Reliability Estimation In Automotive Industry. *DS 68-10: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Impacting Society through Engineering Design, Vol. 10: Design Methods and Tools pt. 2*, n. Technical University of Denmark, p. 8, 2011.
- LAURENTI, R. *Sistematização de problemas e práticas da análise de falhas potenciais no processo de desenvolvimento de produtos*. [s.l.] Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, 2010.
- MCDERMOTT, R., MIKULAK, R. & BEAUREGARD. *The basics of FMEA*. 2nd Editio ed. New York: Productivity Press, 2009.
- METTAS, A. Design for reliability: Overview of the process and applicable techniques. *International Journal of Performability Engineering*, v. 6, n. India, pp. 577–586, 2010.
- PMI. *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (guia PMBOK)*. 6a ed. Pennsylvania: PMI - Project Management Institute, 2017.
- RAHEJA, D. G. & GULLO, L. J. *Design for reliability*. New Jersey: IEEE Press, Wiley Series in Quality & Reliability Engineering, 2012.
- ROZENFELD, H., FORCELLINI, F.A., AMARAL, D.C., TOLEDO, J.C., SILVA, S.L., ALLIPRANDINI, D.H. & SCALICE, R.K. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo*. [s.l.] Editora Atlas, 2006.
- SALMA, K., KHALID, B. & SAID, E. F. Product design methodology for modeling multi business products: Comparative study between UML and BPMN modeling for business processes. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, v. 79, n. 2, pp. 279–290, 2015.
- SCHENKELBERG, F. Effective Reliability Program Traits and Management. *Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 1–7, 2012.
- SCHENKELBERG, F. Establishing product reliability goals. *2013 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 1–6, 2013.
- SILVERMAN, M. & KLEYNER, A. What is design for reliability and what is not? *2012 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 1–5, 2012.
- TERUEL, M. *Avaliação da Confiabilidade de Novos Produtos*. [s.l.] Dissertação de Mestrado. Centro Universitário da FEI - São Bernardo do Campo, 2012.
- WIERINGA, R. Design Science as nested problem solving. *4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology*, pp. 1–12, 2009.