Design for Reliability: Um Modelo para Integrar a Confiabilidade ao Processo de Desenvolvimento de Produtos

Rogério Ferreira Rezende (Faculdade IETEC) rogeriorezende@hotmail.com
Fernando Hadad Zaidan (Faculdade IETEC) fhzaidan@gmail.com

Resumo:
O objetivo desta pesquisa é desenvolver 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 parâmetros técnicos de desenvolvimento de produtos definidos pelas organizações. Os desafios recentes enfrentados pelas empresas como a complexidade dos produtos e a necessidade de redução de tempo e custos no desenvolvimento, têm levado as mesmas a buscarem novos métodos e melhorias de processos. Neste contexto, a aplicação do processo de DFR possibilita a atuação antecipada sobre possíveis problemas que podem impactar a confiabilidade do produto final. Desenvolveu-se esta pesquisa, com a aplicação da metodologia *Design Science* (DS) e do método *Design Science Research* (DSR) que propõe a geração de conhecimento no processo de concepção de artefatos, neste caso, o modelo do processo de DFR. Esta pesquisa baseou-se em uma abordagem qualitativa por meio da imersão deste pesquisador em uma empresa do setor automotivo, durante o desenvolvimento de um projeto de implantação do 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. Na abordagem prática, apresentou-se o modelo do processo de DFR 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.

Design for Reliability: A framework for Integrating Reliability into the Product Development Process

Abstract
The objective of this research is to develop 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 technical parameters of product development defined by the organizations. The recent challenges faced by the companies such as the complexity of products and the need to reduce time and costs during development, have led them to seek new methods and process improvements. In this context, the application of DFR process makes possible the anticipated action on possible problems that can impact the final product reliability. This research was developed with the Design Science (DS) methodology application and the method Design Science Research (DSR), which proposes the knowledge generation in the process of artifacts conception, in this case, the DFR process framework. This research was based on a qualitative approach through the immersion of this researcher in a company of the automotive sector, during the development of a DFR implementation project. As a result, in the theoretical point-of-view, the product

development steps, the process, the phases and the DFR tools were presented. In the practical approach, the DFR process framework was presented, 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). O DFR funciona como um guia para o desenvolvimento do produto orientado à confiabilidade. 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.

Segundo Droguett e Mosleh (2006), 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 referentes a efetiva implementação do projeto.

Raheja e Gullo (2012) afirmam que o DFR se tornou um objetivo em todo o mundo, independentemente do setor da indústria e do mercado. 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 desta 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.

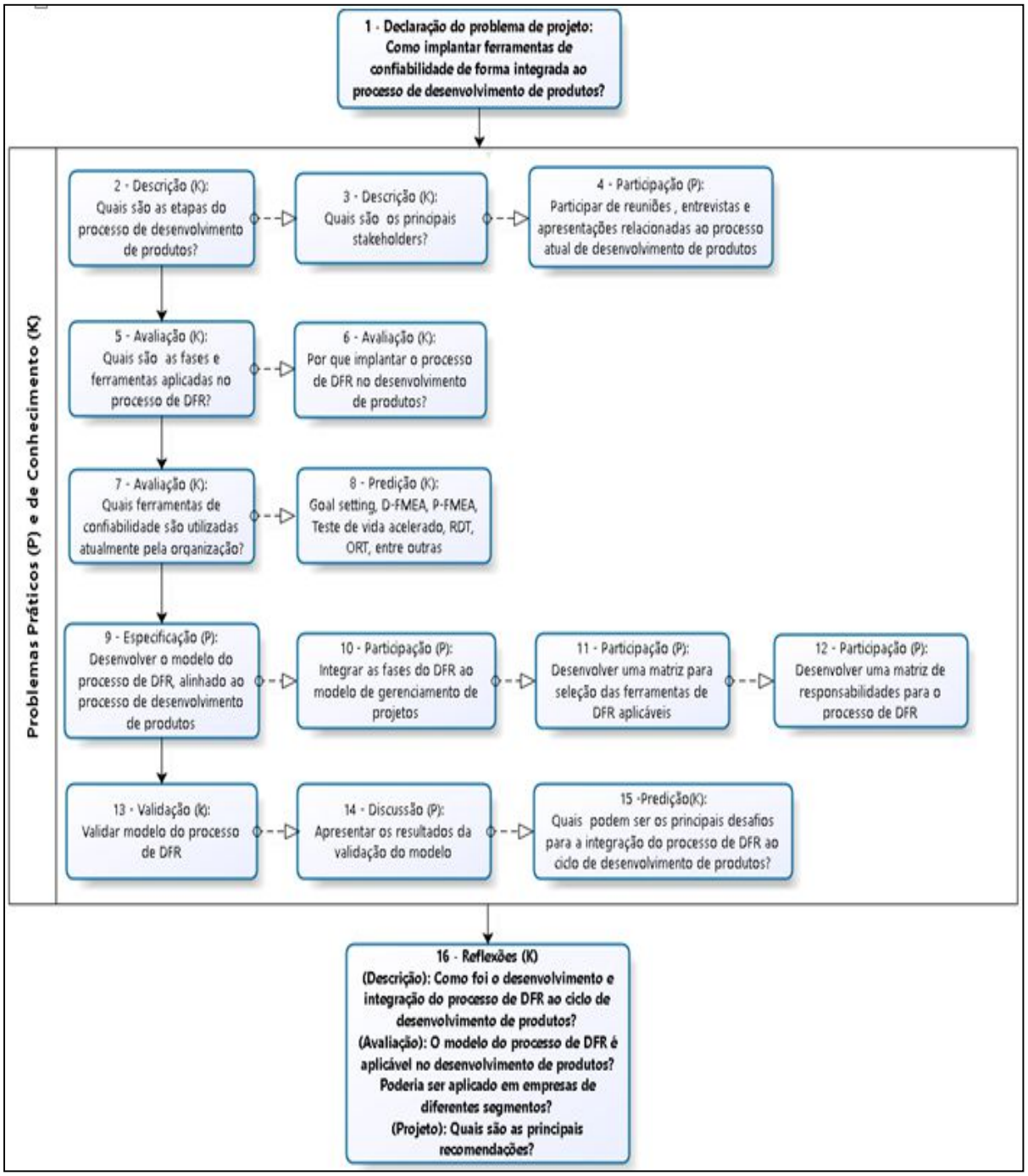
De acordo com Mettas (2010), tentar implementar todas as atividades de confiabilidade no desenvolvimento de produtos, sem um processo, pode se tornar uma situação caótica. Em grande parte dos casos, os resultados obtidos acabam não atendendo às expectativas desejadas, gerando descrédito, perda de tempo 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 e propor 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.

Além da introdução, o Capítulo 2 apresenta a metodologia de pesquisa adotada. O capítulo 3 apresenta a revisão de literatura, com a abordagem dos principais conceitos e ferramentas relacionadas ao processo de DFR. O Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões a respeito da pesquisa. O Capítulo 5 apresenta a conclusão com as considerações finais. O que segue são as referências.

2. Metodologia

Definiu-se como base de pesquisa para este estudo a metodologia DS e o método prescritivo DSR. Conforme Dresch *et al*. (2013), a DS é uma das mais apropriadas metodologias para orientar a condução de pesquisas em informação, tecnologia, engenharia e gestão. Segundo Simon (1996) e 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) apresentada na figura 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figura 1 - Estrutura aninhada do problema

O modelo da estrutura aninhada sugere que o problema de pesquisa seja decomposto em problemas práticos e problemas do conhecimento, mutuamente aninhados. A estrutura aninhada do problema servirá de guia do método DSR para a presente pesquisa.

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

3. Revisão de Literatura

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

3.1 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) afirma 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 modos de falha, 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. No mesmo sentido Clarkson, Simons e Eckert (2004) ainda afirmam que a maioria dos novos produtos é projetada a partir de modificações em produtos existentes. 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), ilustrado na figura 2, segundo Rozenfeld *et al.* (2006) é o modelo de referência utilizado pelas empresas, que descreve os processos e as etapas do desenvolvimento de produtos.



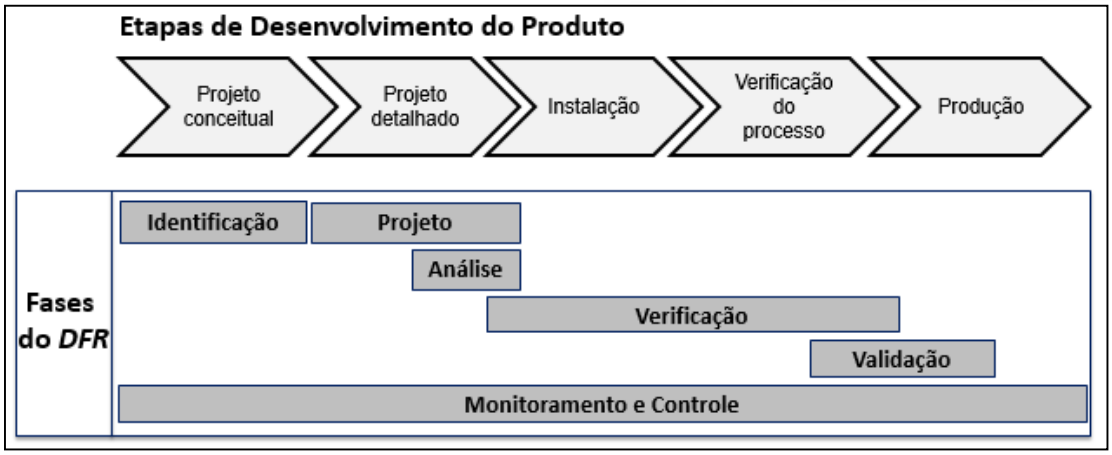
Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado de Rozenfeld *et al.* (2006)

Figura 2 - Plano de Desenvolvimento do Produto

3.2 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 3, apresenta um *roadmap* do processo de DFR alinhado às etapas de desenvolvimento do produto.



Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado de Rozenfeld *et al*. (2006) e Mettas (2010)

Figura 3 - Roadmap do processo de DFR

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.

3.3 Fases e Ferramentas do DFR

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

3.3.1 - 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.

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

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

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

3.3.2 - 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.

#	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 Árovre de Falhas]
13	*Tollerance Evaluation* [Avaliação de Tolerâncias]

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

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

3.3.3 - 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.

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

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

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

3.3.4 - 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.

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

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

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

3.3.5 - 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.

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

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

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

3.3.6 - Fase Monitoramento e Controle

Na fase de Monitoramento e Controle, segundo Silverman e Kleyner (2012) é necessário assegurar que o processo é mantido sem mudanças e as variações dentro das tolerâncias permitidas. As ferramentas de DFR aplicadas nesta fase são apresentadas no quadro 6.

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

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

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

3.4 Gerenciamento de projetos

O gerenciamento de projetos, segundo o guia *Project Management Body of Knowledge* PMBOK - 5ª Ed. (PMI, 2013), é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de cumprir os seus requisitos. O conteúdo do PMBOK é organizado em 47 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.

3.5 BPMN

Segundo Salma, Khalid e Said (2015), o BPMN 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 os Modelos de Processos de Negócio (BPM) utilizando os Diagramas de Processo de Negócios (BPD). O objetivo principal do BPMN é fornecer uma notação compreensível a todos os profissionais envolvidos no processo.

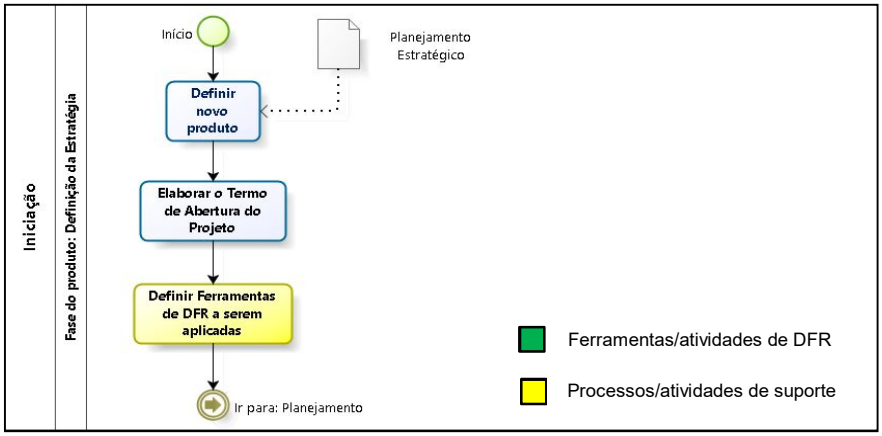
4. Resultados e Discussão

O modelo do DFR foi estruturado como um projeto, integrando as etapas do processo de DFR aos grupos de processos (iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, encerramento) e áreas de conhecimento do PMBOK - 5ª Ed. Além disso, para facilitar o entendimento do fluxo do processo proposto, foi aplicada a modelagem BPMN para o desenvolvimento do modelo, que apresenta a sequência lógica de aplicação das ferramentas de DFR, durante o desenvolvimento do produto.

O modelo foi desenvolvido para uma solução generalista, conforme recomendação da metodologia DS, pois poderá ser aplicado por indústrias de diferentes segmentos. O modelo do processo de DFR, nas figuras 4, 5, 6, 7 e 8, é dividido e apresentado nos cinco grupos de processos de gerenciamento de projetos.

4.1 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.

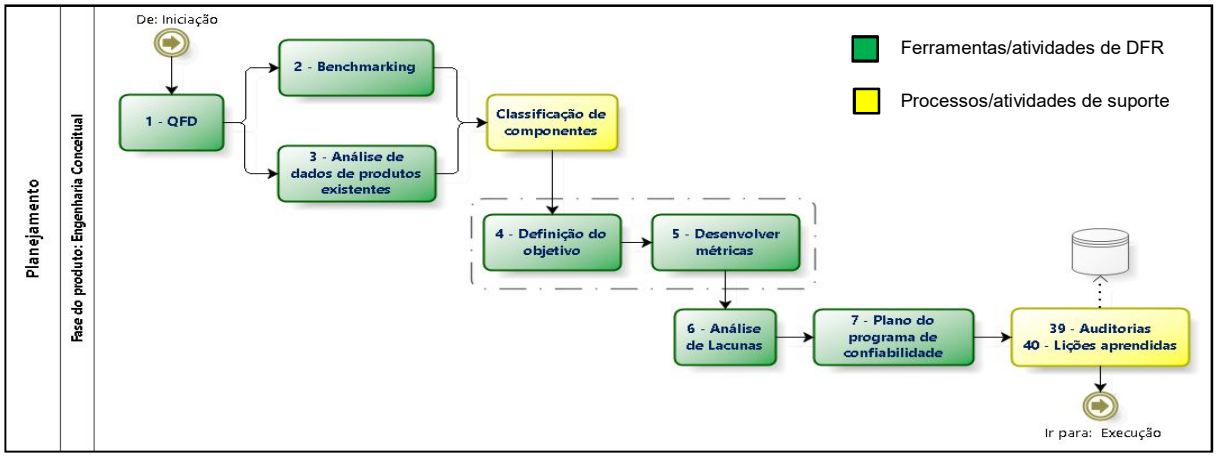


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figura 4 - Modelo do processo de DFR: Definição da estratégia

4.2 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.

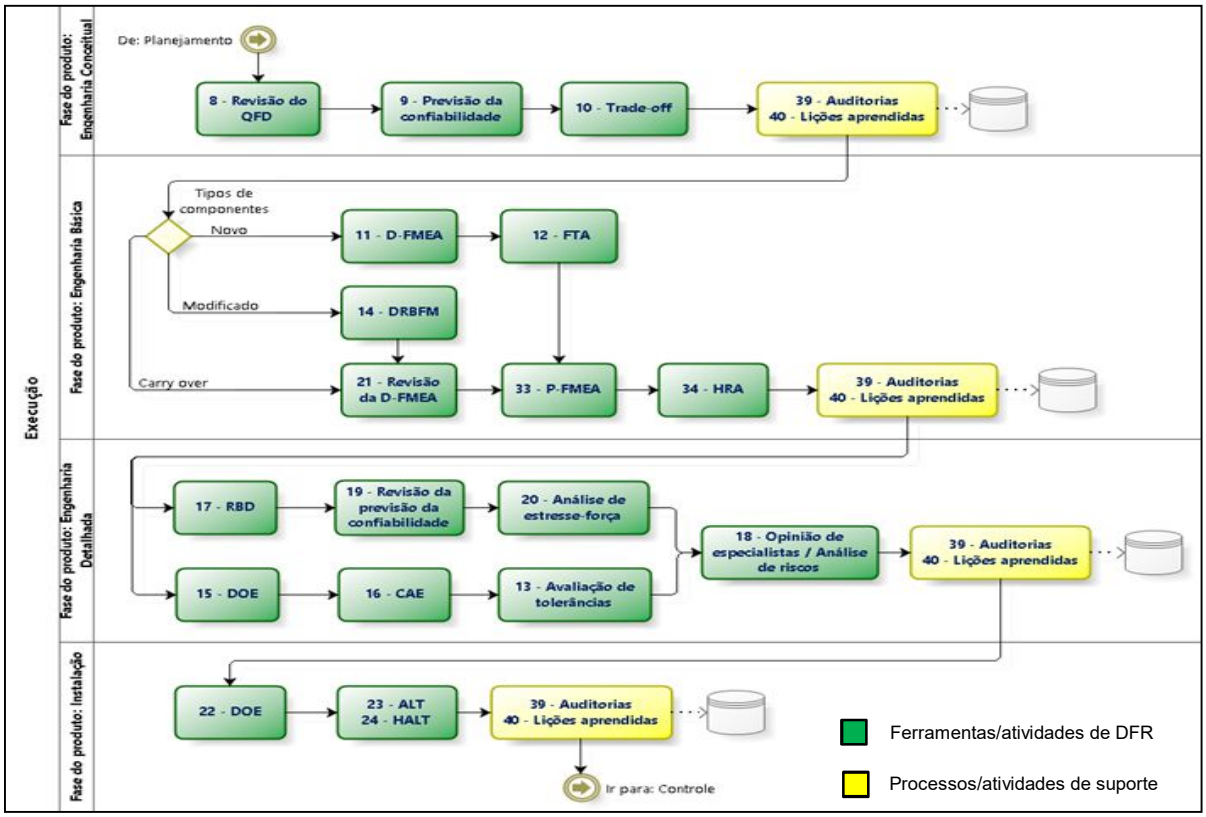


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figura 5 - Modelo do processo de DFR: Engenharia Conceitual

4.3 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.

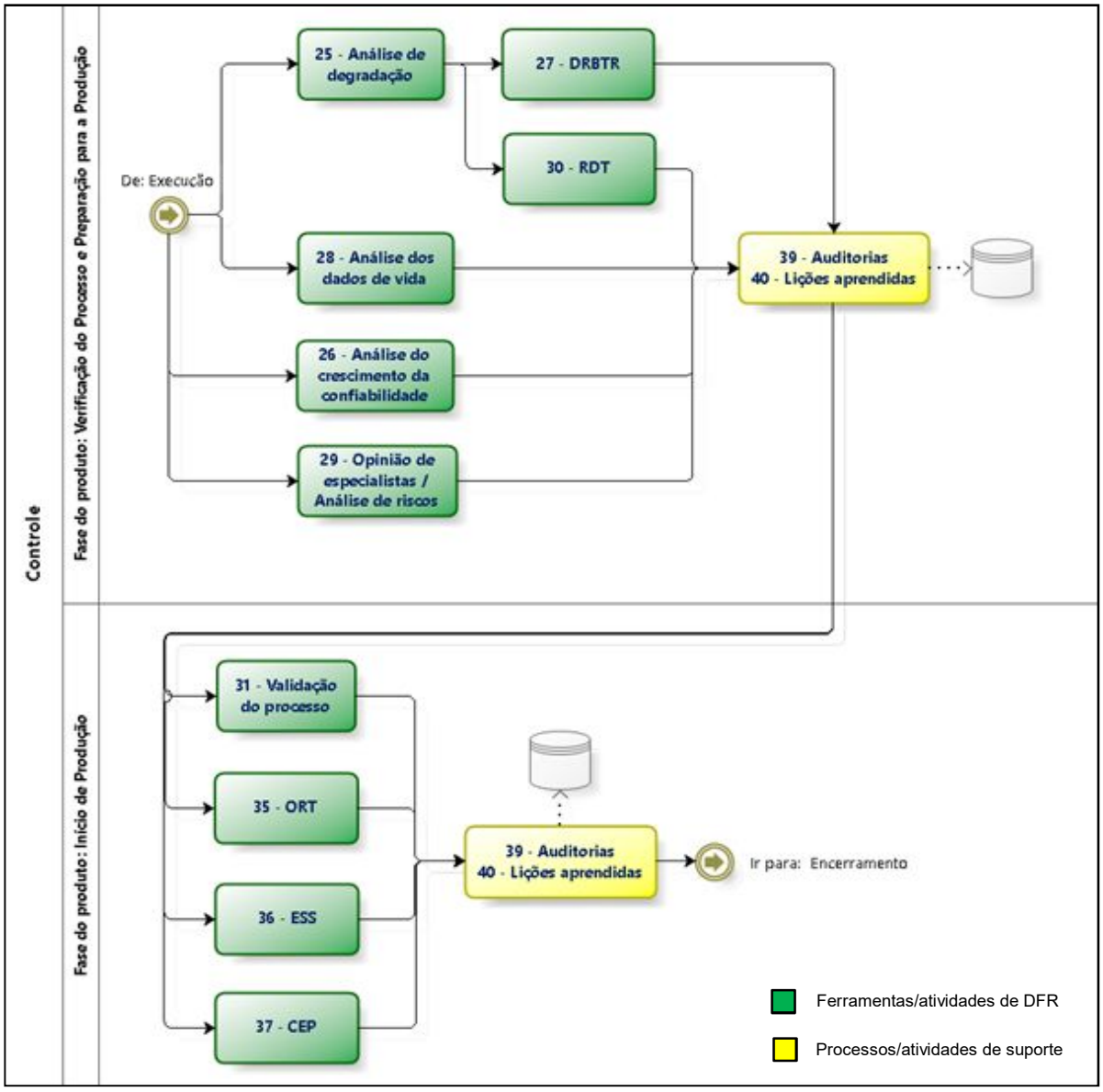


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figura 6 - Modelo do processo de DFR: Engenharia conceitual, Engenharia básica, Engenharia detalhada e Instalação

4.4 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.

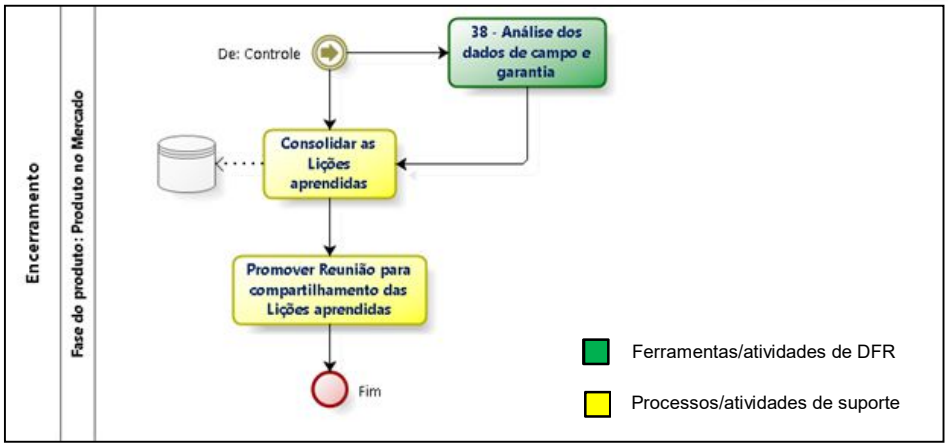


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figura 7 - Modelo do processo de DFR: Verificação do processo, Preparação para a produção e Início de produção

4.5 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.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figura 8 - Modelo do processo de DFR: Produto no mercado

Além das ferramentas de DFR apresentadas no modelo, o processo de DFR prevê a aplicação de outras duas ferramentas: o método FRACAS, que não possui entregas específicas, porém, deve ser aplicado durante todas as fases do projeto. E a Análise de dados de campo e garantia, que é aplicada após o encerramento do projeto, a partir do lançamento do produto no mercado.

5. Conclusão

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, como referenciado no objetivo da pesquisa, poderá contribuir para a integração do processo de DFR em empresas desenvolvedoras e fabricantes de produtos.

Observou-se também durante a imersão deste pesquisador na empresa, 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 que devem ser consideradas para a implantação e aplicação do processo de DFR:

a) Definir o plano para a implantação do processo de DFR. Identificar as áreas envolvidas. Identificar representantes (pontos focais) das áreas que deverão ser treinados. Formalizar a formação da equipe de DFR;

b) Realizar previamente, antes da implantação e integração 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 previstas no novo processo de desenvolvimento de produtos;

f) Elaborar conteúdo de treinamento completo sobre o DFR, incluindo conceitos, ferramentas

e exemplos práticos. Dividir o conteúdo do treinamento por módulos gerenciais e técnicos.

g) Criar e manter uma agenda de encontros periódicos para a equipe de DFR, com o objetivo de acompanhar a evolução da implantação do processo, apresentar resultados de aplicações de ferramentas e auditorias. 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. Como sugestão de continuidade desta pesquisa, sugere-se desenvolver um novo modelo do processo de DFR baseado na integração à metodologia Agile de desenvolvimento de produtos.

Referências

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. v.26, n. n.1, p. p.3-23, 2009.

CHAO, L. P.; ISHII, K. *Design Process Error Proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process*. Journal of Mechanical Design, v. v.129, n. n.5, p. p.491-551, 2007.

CLARKSON, P. J.; SIMONS, C.; ECKERT, C. *Predicting Change Propagation in Complex Design*. Journal of Mechanical design, v. v.126, n. n.5, p. p.788-797, 2004.

DRESCH, A. et al. *Design Science Research: Método de Pesquisa para o Avanço da Ciência e Tecnologia*. Gestão & Produção, v. 20, p. 741–761, 2013.

DROGUETT, E. L.; MOSLEH, A. *Análise Bayesiana da Confiabilidade de Produtos em Desenvolvimento*. Gestão & Produção, v. 13, p. 57–69, 2006.

ELSAYED, A. E. *Reliability Engineering*. 2nd. ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2012.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5ª Edição ed. São paulo: Atlas, 2010.

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, p. 180–186, 2012.

LAURENTI, R. *Sistematização de problemas e práticas da análise de falhas potenciais no processo de desenvolvimento de produtos*. [s.l.] Tese de Doutorado. USP. Escola de Engenharia de São Carlos, 2010.

METTAS, A. *Design for reliability: Overview of the process and applicable techniques*. International Journal of Performability Engineering, v. 6, n. India, p. 577–586, 2010.

PMI. *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (GUIA PMBOK)*. 5ª ed. Pennsylvania: PMI - Project Management Institute, 2013.

RAHEJA, D. G.; GULLO, L. J. *Design for Reliability*. New Jersey: IEEE Press, Wiley Series in Quality & Reliability Engineering, 2012.

ROZENFELD, H. *et al.* *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, p. 279–290, 2015.

SILVERMAN, M.; KLEYNER, A. *What is design for reliability and what is not?* 2012 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, p. 1–5, 2012.

SIMON, H. A. *The Sciences of the Artificial*. Third edit ed. London, England: MIT Press, 1996.

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, p. 1–12, 2009.