

# Avaliação da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM no processo de desenvolvimento de produtos em uma empresa de autopeças

## Assessment of the methods FMEA and DRBFM applied in the new product development process of an auto parts manufacturer



Rafael Laurenti<sup>1</sup>  
Henrique Rozenfeld<sup>1</sup>  
Erwin Karl Franieck<sup>2</sup>

**Resumo:** Este artigo apresenta os resultados de um estudo de caso realizado para avaliar a aplicação dos métodos de análise de falhas potenciais FMEA e DRBFM no processo de desenvolvimento de produtos de uma empresa de autopeças que é referência na aplicação desses métodos. Foram avaliadas a qualidade do *processo* e a qualidade dos *resultados* da aplicação. Os resultados da avaliação sugerem que o sucesso da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM, na unidade de negócio caso, é devido à combinação de provisão de recursos, trabalho em equipe multidisciplinar, formação de competências (treinamento), definição de procedimentos, aplicação integrada como outros métodos/ferramentas do PDP, e, sobretudo, não considerar a aplicação como uma atividade proforma. À parte da restrição de generalizar os resultados, a principal limitação do estudo foi ter questionários como única fonte de coleta de dados. Acredita-se que os conhecimentos gerados nesta pesquisa podem contribuir para auxiliar as empresas a alcançarem os benefícios da aplicação desses métodos no processo de desenvolvimento de produtos.

**Palavras-chave:** Avaliação. FMEA. DRBFM. Processo de desenvolvimento de produtos.

**Abstract:** *This paper presents the findings of a case study carried out to assess the application of the methods FMEA and DRBFM in the new product development of an automotive parts manufacturer, which is regarded as a reference in the use of these methods. Both the process quality and the output quality of the application were assessed. The findings suggest that the successful execution of the FMEA and DRBFM methods, in the business unit case, is due to the combination of provision of resources, employment of multi-disciplinary teams, competence development (training), definition and documentation of the process of application, and integration of the application of these methods with other NPD methods/tools, and, mainly, it results from not considering their application as a perfunctory task. Despite the result generalization constraints, the main limitation of this study was using questionnaires as the only source of data collection. It can be said that the knowledge resulting from this research can assist companies to benefit from applying these methods in the new product development process.*

**Keywords:** *Assessment. FMEA. DRBFM. Product development process.*

## 1 Introdução

Revelações de defeitos nos produtos, como nos *recalls*, além de prejuízos financeiros, afetam negativamente a reputação das montadoras perante o mercado (RHEE; HAUNSCHILD, 2006; BATES et al., 2007; DAVIDSON III; WORRELL, 1992) com consequente perdas no valor da marca e das ações (BATES et al., 2007; BARBER; DARROUGH, 1996) e queda nas vendas (BATES et al., 2007; HAUNSCHILD; RHEE, 2004).

A avaliação da qualidade e confiabilidade de um produto é tradicionalmente feita nos estágios avançados

de seu desenvolvimento, por meio de inúmeros testes, aplicação de técnicas estatísticas e teoria probabilística (LEVIN; KALAL, 2003; BERTSCHE, 2008; YANG, 2007). Contudo, as empresas se defrontam com o desafio de prever a maior quantidade de falhas potenciais nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Adotar uma abordagem proativa de antecipação de falhas pode diminuir a quantidade de *redesigns* (alterações de projeto) (KARA-ZAITRI et al., 1991) e de testes em

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Produção – SEP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, e-mail: laurentirafael@yahoo.com.br; roz@sc.usp.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Rua Culto à Ciência, 177, CEP 13020-060, Campinas, SP, Brasil, e-mail: erwinfranieck@uol.com.br

protótipos (para avaliação e validação) necessários para o desenvolvimento do produto (SEGISMUNDO; MIGUEL, 2008). Além disso, benefícios financeiros também podem ser alcançados, já que o custo para realizar uma modificação aumenta exponencialmente no decorrer das fases do PDP (ROZENFELD et al., 2006; BOOKER; RAINES; SWIFT, 2001).

Vários métodos e ferramentas podem ser utilizados no PDP para antecipar falhas no projeto (*design*) do produto e de seu processo de fabricação. O método mais utilizado na indústria é o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* – Análise dos Modos e Efeitos de Falhas) (HAWKINS; WOOLLONS, 1998; STAMATIS, 1995; STONE; TUMER; STOCK, 2005). No início da década de 80, as empresas automotivas que formam a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) incorporaram formalmente o FMEA, por meio da norma QS-9000 (atual ISO/TS 16949), em seus processos de desenvolvimento de produtos. Este movimento foi seguido pela indústria automobilística alemã. O procedimento de aplicação do FMEA definido pela VDA (*Verband der Automobilindustrie* – German Association of the Automotive Industry) é o mais usado na Europa (BERTSCHE, 2008). Atualmente, aplicar o FMEA é um requisito obrigatório para os fornecedores no setor de autopeças.

Além do FMEA, na indústria automobilística, tem-se aplicado o método DRBFM (*Design Review Based on Failure Mode* – Revisão de Projeto Baseada nos Modos de Falha). O método da Toyota é usado para analisar de maneira sistemática mudanças de engenharia que possam levar a falhas técnicas, com o objetivo de descobrir a suas causas raiz e propor soluções para eliminá-las (SCHMITT et al., 2007; SCHORN, 2005; SCHORN; KAPUST, 2005; SHIMIZU; IMAGAWA; NOGUCHI, 2003).

O FMEA é aplicado em itens novos para a empresa para se descobrirem correlações entre funções e falhas, avaliar os riscos e determinar ações de melhoria. Sua aplicação é realizada idealmente por um grupo multidisciplinar em sessões de FMEA, que podem acontecer durante todo o ciclo de vida do produto. Já o DRBFM é aplicado em itens modificados para analisar as mudanças (de projeto ou condições de uso) em projetos estabelecidos (*proven designs*) e determinar ações de melhoria. A aplicação do DRBFM é dividida em duas partes. Primeiro como parte das atividades diárias dos engenheiros (individualmente) e a segunda parte em revisões de projeto por um grupo de especialistas. O DRBFM utiliza os resultados do FMEA, e os resultados do DRBFM, por sua vez, podem ser incorporados no FMEA novamente. Então se trata agora de um método de análise de falha conjunto FMEA-DRBFM.

Na indústria automotiva, muitos desenvolvimentos são incrementais, ou seja, são caracterizados como uma evolução de algo que já está em campo. Nesses casos,

a aplicação tradicional de FMEA é limitado. Não faz sentido, por exemplo, calcular-se o índice de risco de falhas e seus parâmetros, pois toda e qualquer falha potencial da mudança deve ser avaliada, evitando que detalhes das mudanças deixem de ser avaliados. Por essa razão, a Toyota propôs aplicar-se o DRBFM em combinação com o FMEA. É bom salientar que isso só é possível em segmentos com tecnologia madura e nas mudanças, pois a quantidade de novas falhas potenciais não é tão grande assim e qualquer detalhe pode ser muito importante.

No entanto, muitas empresas não utilizam plenamente todos os benefícios que os métodos de análise de falhas potenciais põem à disposição (DEVADASAN et al., 2003; BLUVBAND; POLAK; GRABOV, 2005; BRAGLIA; FANTONI; FROSOLINI, 2006; CHAO; ISHII, 2007; AJAYI; SMART, 2008). Essas empresas não os veem como ferramentas poderosas, mas sim como uma tarefa burocrática de preenchimento de formulário, necessária apenas para cumprir requisitos de auditorias da qualidade ou solicitações de clientes (KARAZAITRI et al., 1991; JOHNSON; KHAN, 2003), não esperando, portanto, nenhum benefício da aplicação (JOHNSON; KHAN, 2003). A principal causa dessa disfunção reside no fato de que a maior parte desses métodos não são totalmente entendidos tecnicamente, sendo construídos e usados incorretamente (JOHNSON; KHAN, 2003). As organizações que usam métodos de prevenção de falhas corretamente poupam recursos financeiros e apresentam níveis elevados de satisfação dos clientes.

Torna-se, portanto, importante para uma organização avaliar a aplicação desses métodos e identificar oportunidades para melhoria. O objetivo deste artigo é apresentar os resultados de um estudo de caso realizado para avaliar a aplicação dos métodos FMEA e DRBFM no processo de desenvolvimento de produtos de uma empresa multinacional do setor automotivo. Apesar do FMEA ser um método popular e conhecido, somente agora, após anos de sua aplicação, é possível compilar as lições aprendidas para evitar os problemas mencionados anteriormente, pois muitas empresas ainda não conhecem como explorar o potencial de aplicação do FMEA tradicional e muito menos a aplicação conjunta do FMEA com o DRBFM.

Como a empresa do estudo de caso é de excelência mundial no desenvolvimento de produtos e considerada um *benchmarking* na aplicação do FMEA em conjunto com o DRBFM, este estudo de caso permite uma avaliação das melhores práticas compiladas da bibliografia e, ao mesmo tempo, apresenta novidades que possuem um potencial inovador na aplicação conjunta dessas ferramentas. A contribuição deste artigo pode servir de referência para as empresas aprimorarem a forma de aplicação do FMEA/DRBFM e para a academia formular novas teorias sobre a

análise de falha potencial. Finalmente as letras DR do DRBFM indicam que não é somente uma técnica a ser usada de forma aleatória, mas nas revisões técnicas de projeto (*design reviews*), o que tem uma implicação mais ampla, relacionada à forma de gestão do próprio PDP.

O restante do artigo está organizado como se segue: na seção 2, são explicados os conceitos fundamentais para o entendimento do artigo; na seção 3, é apresentada a metodologia para realização do trabalho; na seção 4, são descritos os resultados do estudo de caso; e, por fim, na seção 5, são apresentadas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 Conceitos fundamentais

A sigla FMEA é a abreviação para *Failure Mode and Effects Analysis* (Análise do Modo e Efeitos de Falha). O FMEA é um método usado para

[...] definir, identificar, e eliminar falhas conhecidas e/ou potenciais de um projeto (*design*) de produto e/ou de seu processo de fabricação antes que elas cheguem ao cliente [...] (AUTOMOTIVE..., 2008, p. 3).

Falhas no projeto do produto ocorrem quando o produto não resguarda o usuário contra riscos de ferimento, não executa as funções ou atende aos requisitos estabelecidos, cria efeitos colaterais perigosos, ou não minimiza consequências desastrosas de um acidente. (STAMATIS, 1995; AUTOMOTIVE..., 2008). Já as falhas no processo de fabricação ocorrem quando o processo não atende às especificações estabelecidas para a fabricação do produto. Isto pode ser devido a: (1) defeitos na matéria-prima ou nos componentes utilizados na fabricação do produto; (2) falhas no processo de fabricação; (3) erros de montagem (STAMATIS, 1995; AUTOMOTIVE..., 2008).

Para cada um dos dois tipos de falhas, é utilizado um tipo de FMEA: o FMEA de produto (*Design FMEA – DFMEA*) ou o FMEA de processo (*Process FMEA – PFMEA*). Um DFMEA enfoca modos de falha causados por deficiências de projeto do produto (*design*), e um PFMEA enfoca modos de falha causados por deficiências de processo de fabricação ou montagem. Ressalva-se que o PFMEA pode ser utilizado para análise de qualquer tipo de processo, não somente de fabricação.

Além desses dois tipos de FMEA, também existe o FMEA de Sistema (*System FMEA – SFMEA*). O SFMEA é aplicado em sistemas e subsistemas para identificar problemas potenciais a serem solucionados na definição da concepção do produto. Este tipo de FMEA não foi incluído no escopo do estudo de caso, pois a avaliação da aplicação apenas do DFMEA e do PFMEA seria suficientemente ampla para atingir o objetivo do estudo.

A análise é executada por times multidisciplinares, os times de FMEA. São convocados para compor um time de FMEA colaboradores advindos de diferentes áreas de empresa, com conhecimentos técnicos variados. Então, após a convocação, o time se reúne para determinar 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 ações de melhoria (McDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009). Os resultados dessas sessões de FMEA são registrados em um formulário, que deve ser constantemente revisado e atualizado (AUTOMOTIVE..., 2008).

Uma sessão de FMEA se inicia com a identificação de funções e requisitos de um sistema, subsistema, componente ou etapa de um processo de fabricação, conforme o tipo de FMEA-SFMEA, DFMEA ou PFMEA. Em seguida, são determinados todos os modos de falha concebíveis e os efeitos e causas de cada modo de falha. Utilizando uma escala de 0 a 10, o grupo multidisciplinar atribui valores à (S) severidade dos efeitos e as (O) probabilidades de ocorrência das causas ou de seus modos. Posteriormente, são listados os controles atuais de projeto de prevenção e detecção que asseguram a adequação do projeto para o modo de falha e/ou causa considerados, e são atribuídos valores (também numa escala de 0 a 10) para (D) dificuldade de detecção. É então feito o produto dos valores da S, O e D, obtendo-se o Índice de Prioridade de Risco (*Risk Priority Number – RPN*). Em seguida, o grupo propõe ações para eliminar ou detectar os modos de falhas, suas causas, ou ainda para limitar seus efeitos, e prioriza as ações que possuem os valores mais altos de RPN. Finalmente, são definidos responsáveis pelas implementações das ações recomendadas, bem como os respectivos prazos para execução (para mais detalhes consulte AUTOMOTIVE..., 2008; BERTSCHE, 2008).

Se um FMEA é conduzido corretamente, os documentos resultantes contêm conhecimentos sobre o *design* do produto. Portanto, eles são valiosas fontes de *know-how* para a empresa.

Os principais *outputs* da análise são (KRASICH, 2007, p. 279):

[...] registros dos modos de falhas encontrados nos diferentes estágios do projeto do produto; evidências de ações requisitadas e tomadas; registro do sucesso ou falha da ação; evidência de redução de risco; e medição relativa de redução do risco para cada modo de falha.

O DRBFM é usado para se identificar problemas e desenvolver medidas preventivas notando e discutindo mudanças no projeto (*design*) (mudanças intencionais) e mudanças nas condições de uso (mudanças acidentais) (SHIMIZU; IMAGAWA; NOGUCHI, 2003). Seu processo de aplicação é dividido em



Posteriormente, são listados no formulário os efeitos (impactos) potenciais para o cliente (próximo componente, subsistema, sistema, processo de fabricação, usuário final, etc.). A importância desses efeitos para o cliente é avaliada em uma escala A, B e C, sendo A o mais importante (SHIMIZU; IMAGAWA; NOGUCHI, 2003).

Finalmente, são listadas no formulário as medidas de projeto (*design*) comprometidas a eliminar os pontos preocupantes. Essas medidas incluem regras/normas de projeto, *checklists*, etc.

Todas as informações registradas no formulário DRBFM são revisadas por especialistas na fase de Revisão de Projeto. As Revisões de Projeto são conduzidas pelo engenheiro responsável. O engenheiro convoca um time de especialistas de diversas áreas para as revisões de projeto e prepara todo o material necessário (GENERAL..., 2005).

Em uma revisão de projeto do DRBFM, primeiramente, o engenheiro responsável explica em detalhes as modificações intencionais e incidentais, funções, pontos preocupantes, efeitos para o cliente e as atuais medidas para eliminar os pontos preocupantes, referentes ao item em análise (GENERAL..., 2005). Então, o time de especialistas revisa, analisa e discute detalhadamente cada resultado da primeira fase (GENERAL..., 2005). Com esse procedimento é possível identificar quaisquer outros modos de falha não considerados pelo engenheiro de projeto, determinar quaisquer outros efeitos criados pelos modos de falha, determinar quaisquer causas potenciais adicionais dos modos de falha (SHIMIZU; IMAGAWA; NOGUCHI, 2003). Os resultados da discussão são registrados no formulário de DRBFM. Por fim, o time desenvolve ações para prevenir que as falhas encontradas ocorram. São recomendadas ações, referentes ao Projeto, à Avaliação e à Produção, para eliminar/mitigar as causas ou os modos de falha; e são determinados os responsáveis e os prazos de implementação para cada ação recomendada (SHIMIZU; IMAGAWA; NOGUCHI, 2003).

Estas são as duas fases do DRBFM. Conforme as ações recomendadas são executadas, os resultados são documentados no formulário DRBFM pelo engenheiro responsável. O formulário é consultado sempre que houverem novas mudanças.

### 3 Metodologia de pesquisa

Este estudo trata-se de uma pesquisa exploratória (YIN, 2005). O método de procedimento adotado foi o Estudo de Caso, pois se busca realizar um estudo analítico de características específicas de um determinado contexto (aplicação dos métodos de análise de falhas potenciais em uma empresa) e não, por exemplo, uma generalização estatística.

Para a condução do estudo, são adotados como referências os autores Voss (2009) e Yin (2005).

As etapas seguidas para a condução do estudo foram: (1) elaboração do protocolo de pesquisa, (2) desenvolvimento dos instrumentos de coleta de dados, (3) coleta de dados, (4) análise dos dados, e (5) elaboração de conclusões. As duas primeiras etapas são descritas nesta seção do artigo e a terceira e quarta na próxima seção, e a quinta na última seção.

#### 3.1 Elaboração do protocolo de pesquisa

O ponto de partida do estudo é a elaboração de seu protocolo, a fim de delinear o estudo, esclarecer os principais pontos a serem estudados e guiar a coleta de dados (VOSS, 2009). O protocolo contém os **critérios de seleção do caso** (empresa), o **objetivo** do estudo, a **questão** a ser investigada, a **unidade de análise** selecionada, as **fontes de coleta de dados** e a **estratégia definida para a análise dos dados** (VOSS, 2009; YIN, 2005). Vale ressaltar que, apesar dos itens do protocolo estarem aqui apresentados de maneira sequencial, eles foram definidos de maneira iterativa.

A amostra para a realização do estudo de caso necessitou atender aos seguintes **critérios**:

- aplicar os métodos DFMEA, PFMEA e DRBFM; e
- ser referência na aplicação desses métodos.

O **objetivo** definido para o estudo é identificar e analisar práticas de análise de falhas potenciais empregadas por uma empresa referência para se alcançar uma aplicação efetiva. A **questão** que norteou o estudo foi: “quais práticas são empregadas por uma empresa que é referência em análise de falhas potenciais?”

A **unidade de análise** escolhida foi o processo de aplicação da análise de falhas potenciais de uma empresa. As **fontes de coleta de dados** selecionadas foram entrevistas. E, por fim, a **técnica analítica adotada para analisar os dados coletados** foi calcular, para cada sentença do questionário, o valor médio ( $\bar{x}_i$ ), o desvio padrão ( $S_i$ ), e o índice de concordância ( $C_i$ ) das respostas (vide FARRIS et al., 2007; JAMES; DEMAREE; WOLF, 1984).

O índice de concordância (em inglês *within-group interrater agreement* [ $r_{wg}$ ]) é calculado de acordo com a Equação 1 (JAMES; DEMAREE; WOLF, 1984). Esse índice foi proposto por James, Demaree e Wolf (1984) para medir a concordância das respostas (notas) de um grupo de juízes na avaliação de um alvo. Os valores do  $C_i$  podem variar de 0,00 até 1,00. Quanto mais próximo de 1,00 o valor for, mais forte é o índice de concordância, enquanto valores próximos de 0,00 indicam uma forte falta de concordância (JAMES; DEMAREE; WOLF, 1993). Vale destacar que índice de concordância pode apresentar um viés estatístico mínimo, mas espera-se que esse viés seja mínimo para um pequeno número de entrevistados

e negligível para 10 ou mais entrevistados (JAMES; DEMAREE; WOLF, 1984, p. 96).

Assumindo uma distribuição uniforme discreta, o  $\sigma_E^2$  é a variância esperada devido puramente a erro aleatório. Essa variância é calculada de acordo com a Equação 2, em que  $A$  define o número de alternativas na escala de resposta (MOOD; GRAYBILL; BOES, 1974 apud JAMES; DEMAREE; WOLF, 1984).

$$C_i = 1 - (S_i^2 / \sigma_E^2) \quad (1)$$

$$\sigma_E^2 = (A^2 - 1) / 12 \quad (2)$$

Os valores médios das respostas de cada item de avaliação ( $\bar{x}_i$ ) indicam pontos fortes e oportunidades para melhoria (FARRIS et al., 2007). Já, por meio do cálculo do índice de concordância ( $C_i$ ) de cada item, é avaliado se existem opiniões diferentes entre os respondentes (FARRIS et al., 2007).

Segundo James, Demaree e Wolf (1993), ao usar o índice de concordância é necessário garantir que todos os juízes (respondentes) interpretem a escala de avaliação da mesma maneira. No caso deste estudo de caso, essa condição pode ser cumprida oferecendo treinamento prévio dos respondentes para nivelar a interpretação das questões do questionário ou selecionando respondentes experientes na aplicação do FMEA e do DRBFM. Entre essas duas opções, opta-se pela segunda.

À parte da técnica analítica adotada, propõe-se realizar a análise por meio da interpretação do pesquisador para cada sentença dos questionários.

### 3.2 Desenvolvimento dos instrumentos de coleta de dados

Como instrumentos de coleta de dados, foram definidos três questionários fechados: dois para avaliar a qualidade do *processo* de aplicação dos métodos DFMEA, PFMEA e DRBFM, sendo que um instrumento avalia sob a perspectiva de conformidade com práticas descritas na literatura (Instrumento 1) e outro sob o ponto de vista da capacidade (capacidade ou habilidade de atingir objetivos e metas estabelecidas) do *processo* (Instrumento 2); e um para avaliar a qualidade dos *resultados* (*outputs*) gerados por esses métodos (Instrumento 3).

O Instrumento 1 foi elaborado em dois passos. O primeiro foi revisar as principais referências bibliográficas sobre a aplicação do FMEA e do DRBFM. Foram lidos 123 artigos científicos, selecionados por meio de uma revisão bibliográfica sistemática (a descrição completa dessa revisão encontra-se em LAURENTI, 2010), consultados quatro livros (LEVIN; KALAL, 2003; BERTSCHE, 2008; STAMATIS, 1995; McDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009), um manual (AUTOMOTIVE..., 2008), uma norma (GENERAL...,

2005), e o material de *marketing* dos *softwares* IQ-FMEA/IQ-RM da APIS (APIS..., 2009) e Xfmea da ReliaSoft (RELIASOFT, 2009). Esses dois sistemas foram escolhidos, pois possuem a funcionalidade de apoiar a condução tanto do FMEA, quanto do DRBFM. No segundo passo, especialistas em gestão do processo de desenvolvimento de produtos e em análise de falhas potenciais foram consultados. Os especialistas opinaram sobre a exclusão de alguns itens para o questionário, definidos no passo anterior, e a inclusão de outros. O resultado foi um questionário que avalia como deve ser a aplicação dos métodos DFMEA, PFMEA e DRBFM, os benefícios alcançados quando esses métodos são bem aplicados, e o uso de ferramentas de apoio. Esse instrumento foi definido para ser respondido por colaboradores com conhecimento e experiência na aplicação dos métodos DFMEA, PFMEA e DRBFM.

O Instrumento 2 que avalia a capacidade do *processo* foi desenvolvido por Farris et al. (2007), que, por sua vez, se fundamentaram nas práticas genéricas requeridas pelo segundo nível de capacidade do CMMI-DEV (*Capability Maturity Model Integration for Development*). Um nível de capacidade caracteriza o grau de institucionalização de uma área de processo, assim, níveis de capacidade focam no crescimento da habilidade da organização de executar, controlar e melhorar seu desempenho em uma área de processo (CAPABILITY..., 2006). O segundo nível de capacidade do CMMI-DEV representa um processo “gerenciado”. Os níveis de capacidade consistem de práticas genéricas para uma área de processo que podem ser usadas para melhorar os processos da organização associados com a dada área de processo.

O CMMI-DEV prescreve metas genéricas as quais uma área de processo (tais como gestão de requisitos, gestão de projetos, etc.) deve atingir em diferentes níveis de capacidade, e também práticas genéricas que podem ser empregadas para atingir essas metas. Práticas genéricas são atividades que promovem a institucionalização para garantir que os processos associados com a área de processo serão efetivos, repetíveis e melhorados (CAPABILITY..., 2006). As práticas genéricas requeridas para o atingimento do nível gerenciado são: estabeleça uma política organizacional, planeje o processo, forneça recursos, delegue responsabilidades, treine as pessoas, gere as configurações, identifique e envolva os *stakeholders* relevantes, monitore e controle o processo, avalie a aderência de maneira objetiva, revise o *status* como a alta gerência (CAPABILITY..., 2006). Farris et al. (2007) não incluíram as duas últimas práticas no instrumento, argumentando que elas se referem a atividades gerenciais que objetivam a melhoria do processo, não dimensões da qualidade do *processo*.

Desse modo, as sentenças (questões) do questionário 2 avaliam a presença das oito primeiras práticas genéricas requeridas para se atingir o segundo nível de capacidade do CMMI-DEV. Além dessas sentenças propostas por Farris et al. (2007), foi inserida uma sentença que questiona se o nível da análise de falhas realizada é suficiente. Farris et al. (2007) sugerem que esse instrumento deva ser respondido por membros de times dos métodos DFMEA, PFMEA e DRBFM, pois a avaliação seria mais acurada como o *input* desses colaboradores, e não de outros. As sentenças do questionário devem ser avaliadas em uma escala de dez pontos (1 a 10). Para cada uma delas, os respondentes especificam seu nível de percepção sobre o grau de veracidade da sentença no processo de aplicação dos métodos (1 = “Discordo plenamente,” e 10 = “Concordo plenamente”). A Tabela 1 apresenta todos os possíveis valores que os respondentes podem atribuir ao grau de veracidade.

Por fim, o Instrumento 3 também foi proposto por Farris et al. (2007). Para elaborar as questões desse questionário, Farris et al. (2007) se basearam em características de FMEAs efetivos apontadas por especialistas e descritas na literatura. Assim, a qualidade dos *resultados* da aplicação é avaliada pelo atingimento de metas específicas desses métodos. A esse questionário também foram inseridas questões adicionais referentes à aplicação do DRBFM. Algumas sentenças, por serem mais diretas e menos sujeitas à variação de interpretação, foram elaboradas para serem avaliadas em uma escala binária (sim/não), ao passo que outras sentenças foram definidas para serem avaliadas na escala de dez pontos.

O Instrumento 3 deve ser respondido por um colaborador experiente na aplicação do DFMEA, PFMEA e DRBFM na empresa mas que não seja membro do time de nenhum desses métodos. Farris et al. (2007) sugeriram essa abordagem pois, segundo eles, um *expert* externo poderia

provavelmente oferecer percepções mais objetivas e menos tendenciosas do que um membro do time.

## 4 Resultados e análise

Com base nos critérios apontados para seleção do caso, foi selecionada uma unidade de negócio da divisão tecnologia automotiva de uma empresa multinacional de origem alemã. Sediada no País há 56 anos e com quatro unidades fabris no Brasil, sendo duas delas no interior do Estado de São Paulo, a empresa conta, além da divisão de tecnologia automotiva, com as divisões corporativas de tecnologia industrial, bens de consumo e tecnologia de construção.

A unidade de negócio selecionada é líder de mercado nos segmentos que atua, seu processo de desenvolvimento de produtos é voltado à robustez, sua meta é alcançar o nível de falhas de seus produtos em zero PPM (partes por milhão) no prazo de garantia, e todas as melhorias incrementais são implementadas utilizando o DRBFM. Na ocasião do estudo, a unidade de negócio se preparava para auditoria de certificação nível 2 do CMMI-DEV. Por esses motivos, ela foi considerada um *benchmark*. Assim, a escolha dessa unidade de negócio está de acordo com os objetivos do trabalho.

Nesta seção, são apresentados os resultados do estudo de caso. Primeiro, são apresentados os resultados da avaliação da qualidade do *processo* de aplicação dos métodos FMEA e DRBFM, e, em seguida, os resultados da avaliação da qualidade dos *resultados* da aplicação dos métodos.

### 4.1 Avaliação da qualidade do *Processo* de aplicação dos métodos FMEA e DRBFM

A avaliação da qualidade do *processo* de aplicação dos métodos FMEA e DRBFM foi feita sob a perspectiva da **conformidade** com práticas descritas na literatura e da **capabilidade**, aplicando-se respectivamente os Instrumentos 1 e 2, conforme definido na metodologia de pesquisa.

**Tabela 1.** Possíveis valores do grau de veracidade e extremos da escala do nível de percepção do respondente.

Possíveis valores do grau de veracidade	Extraímos da escala do nível de percepção do respondente
1	Discordo plenamente
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	Concordo plenamente

O Instrumento 1 foi respondido pela moderadora de FMEA e pelo Engenheiro de Métodos e Processos da unidade de negócio avaliada. No entanto, devido a limitações de tempo, algumas questões do instrumento foram respondidas pela moderadora e outras pelo engenheiro. De acordo com as respostas, ambos os respondentes percebem que a aplicação dos métodos FMEA e DRBFM na unidade de negócio está de acordo com as práticas que a literatura prescreve. As respostas dessa seção do Instrumento 1 são apresentadas na Tabela 2. As questões de 1 a 11 foram respondidas pela moderadora FMEA e a 12, 13, 14 e 15, pelo engenheiro de métodos e processos, que também respondeu às questões 22, 23, 24 e 25 (veja Tabela 4).

Por outro lado, ainda segundo a moderadora, a aplicação dos métodos de análise de falhas potenciais não contribui totalmente para a redução do tempo de desenvolvimento do produto e do número de protótipos físicos necessários para se lançar o produto (discordou levemente das sentenças 19 e 20), contrariando o que é descrito na literatura. No entanto, na opinião

dela, a aplicação dos métodos é efetiva, no sentido de trazer o benefício de se reduzirem de falhas externas (item 17) e internas (item 18) e custos de falhas (item 16). A Tabela 3 mostra as respostas dessa seção do Instrumento 1.

Práticas relacionadas à realização de treinamento e trabalho em equipe foram bem avaliadas pelo engenheiro de métodos e processos. Essas respostas são apresentadas na Tabela 4.

A última seção do Instrumento 1 foi respondida pela moderadora e tratou do uso de ferramentas para auxiliar o FMEA e o DRBFM, analisando em detalhes a utilização de *software* e do FTA (*Fault Tree Analysis* – Análise da Árvore de Falhas). As Tabelas 5, 6 e 7 mostram respectivamente as ferramentas e sua respectiva frequência de utilização, os itens de avaliação da aplicação do *software* de apoio à aplicação do FMEA e do DRBFM, e os itens de avaliação da aplicação do FTA.

Pela análise da Tabela 5, nota-se que a unidade de negócio não utiliza o DFMEA, PFMEA e o DRBFM como métodos isolados, ou seja, sem dependências

**Tabela 2.** Respostas relacionadas à conformidade com práticas da literatura (questões sim/não).

Nº	Item de avaliação	Resposta	
		Sim	Não
1	O DRBFM é aplicado quando um projeto ( <i>design</i> )/requisito é alterado (mudança de engenharia, condições de uso do produto, legislação, etc.).	X	
2	O DRBFM é aplicado regularmente pelos engenheiros nas atividades diárias e são realizadas revisões de projetos ( <i>design reviews</i> ) por um time de especialistas.	X	
3	O DFMEA é aplicado em projetos de produto ( <i>designs</i> ) e tecnologias totalmente novos.	X	
4	O PFMEA é aplicado em projetos de produto e tecnologias totalmente novos.	X	
5	Nas revisões de projeto ( <i>design reviews</i> ) do DRBFM, é incluído na equipe um especialista que não tenha familiaridade com o projeto do produto em análise.	X	
6	O DFMEA e o DRBFM são integrados um com o outro.	X	
7	O DFMEA/DRBFM é integrado ao plano de testes (verificação e avaliação).	X	
8	O documento do DFMEA/PFMEA é considerado um documento vivo, isto é, a aplicação do DFMEA/PFMEA é contínua no processo de desenvolvimento de produto e não é considerada como sendo um evento único (é atualizado sempre que o produto/processo é modificado, um novo modo de falha é identificado, ou uma nova ação de melhoria é implementada).	X	
9	DFMEAs/PFMEAs anteriores de produtos/processos semelhantes são usados como ponto de partida para novos DFMEAs/PFMEAs.	X	
10	Falhas ocorridas em campo e definidas em testes são incorporadas nas análises de DFMEA/PFMEA.	X	
11	A terminologia usada para descrever um item do formulário DFMEA/PFMEA/DRBFM (modos de falha, efeitos de falha, causas de falha, etc.) é padronizada.	X	
12	O PFMEA é completo de maneira que todos os passos do processo são considerados.	X	
13	Os pontos preocupantes apresentados pelo líder do time são cautelosamente revisados pelos especialistas no início das sessões de revisões de projeto do DRBFM, evitando qualquer omissão.	X	
14	As sessões de revisão de projeto do DRBFM são focadas nos pontos-chave a serem discutidos.	X	
15	Por meio de discussão entre especialistas de diversas áreas, nas revisões de projetos do DRBFM, são descobertos vários problemas que não iriam ser notados pelos projetistas.	X	

**Tabela 3.** Respostas relacionadas aos benefícios advindos da aplicação dos métodos (escala 1 a 10).

Nº	Item de avaliação	Nota
16	A taxa e os custos de falhas são reduzidos como resultado da aplicação desses métodos.	8
17	Reclamações de clientes e <i>recalls</i> são reduzidos como resultado da aplicação desses métodos.	8
18	A qualidade interna é melhorada, ou seja, defeitos, refugos, retrabalhos, etc. são reduzidos como resultado da aplicação desses métodos.	8
19	A aplicação desses métodos ajuda a reduzir o tempo do ciclo de desenvolvimento.	5
20	A aplicação desses métodos ajuda a reduzir o número de protótipos.	5
21	Se o DRBFM não fosse feito, sérios problemas não seriam notados.	10

**Tabela 4.** Respostas referentes a treinamento e trabalho em equipe (escala 1 a 10).

Nº	Item de avaliação	Método	Nota
		DFMEA	7
23	As discussões são profundas e todos os membros do time contribuem ativamente.	PFMEA	7
		DRBFM	10
		DFMEA	8
24	O líder do time é bem preparado para conduzir/facilitar as sessões de análise de falhas potenciais.	PFMEA	8
		DRBFM	10
		DFMEA	8
25	Os projetistas e processistas aceitam receber críticas do seu trabalho pelos membros do time.	PFMEA	8
		DRBFM	10
		DFMEA	10
26	Não existe corporativismo entre os membros do time.	PFMEA	10
		DRBFM	10

**Tabela 5.** Ferramentas utilizadas para auxiliar o DFMEA/PFMEA/DRBFM.

Ferramenta	Frequência de utilização			
	Nunca	Às vezes	Quase sempre	Sempre
FTA ( <i>Fault Tree Analysis</i> – Análise da Árvore de Falhas)				X
<i>Software</i> específico				X
Diagrama de Ishikawa (espinha de peixe)			X	
Diagrama de blocos (DFMEA/DRBFM)			X	
Diagrama de fluxo do processo (PFMEA)				X
Gráfico de Pareto				X
<i>Checklists</i> de possíveis falhas	X			
8D ( <i>Eight Disciplines</i> )				X
DFMA ( <i>Design for Manufacture and Assembly</i> – Projeto para Manufatura e Montagem)			X	

(*standalone*) com outras técnicas aplicadas para identificar falhas potenciais. Além disso, é utilizado um *software* de apoio à realização desses métodos, o IQ-RM da APIS (APIS..., 2009).

Para avaliar se os benefícios do uso do *software* são percebidos na prática, foram elaboradas questões retiradas do material de *marketing* dos *softwares* IQ-FMEA/IQ-RM da APIS (APIS..., 2009) e Xfmea da ReliaSoft (RELIASOFT, 2009), descritas nesses materiais como benefícios advindos da utilização dos *softwares*. A respondente percebe que todos esses benefícios são observados na prática. Veja as respostas na Tabela 6.

Levantou-se que o FTA é usado para auxiliar a descobrir as causas raiz de falhas, efeitos finais, fornecer maior compreensão do funcionamento do sistema e identificar causas múltiplas que poderiam levar a uma falha. As respostas para as demais questões sobre a análise da aplicação do FTA estão mostradas na Tabela 7.

O Instrumento 2, que avalia a qualidade do *processo* de aplicação sob a perspectiva da **capabilidade**, foi respondido por oito membros de times desses métodos (um do time de PFMEA, um dos times de DFMEA e PFMEA, três dos times de DFMEA e DRBFM, e três dos times de DFMEA, PFMEA e DRBFM).

Sete respondentes já tinham participado mais de seis vezes de sessões de análise de falhas potenciais na empresa. Os respondentes foram: quatro Engenheiros de Desenvolvimento de Produtos, um Engenheiro da Qualidade, um Chefe do Planejamento Técnico e Produção, um Planejador da Qualidade do Produto, e um Chefe de Engenharia.

Na Tabela 8, são mostrados os valores das médias, desvios padrão e índices de concordância calculados com as avaliações dos oito respondentes.

A maioria das práticas (itens de avaliação) teve média superior a sete na escala de 10 pontos (5,5 é o ponto médio da escala) e índice de concordância maior que 0,72, indicando que os membros dos times percebem a presença dos atributos da qualidade do processo requeridos pelo segundo nível de capacidade do CMMI-DEV.

A exceção é o item nove, com média  $\bar{x}_9 = 5,5$  e com o menor índice de concordância  $C_9 = 0,45$ . Essa situação aponta que alguns membros dos times percebem que os métodos não são aplicados em um momento apropriado no ciclo de desenvolvimento de produtos e outros membros acreditam que o momento está adequado. Um respondente pontuou 9,

dois pontuaram 7 e um pontuou 6, enquanto que quatro respondentes atribuíram nota inferior ao ponto médio da escala (5, 4, 3 e 3). Devido a essa discordância entre os respondentes, poderia ser útil para o gerente investigar as implicações práticas que talvez tenham levado metade dos respondentes a avaliarem desfavoravelmente essa prática.

Dos dezesseis itens de avaliação sete tiveram média acima de 8. Esses itens mostram as práticas e áreas mais fortalecidas. São elas: dar tempo suficiente para os membros dos times colocarem seus pontos de vista, ter um processo bem definido e documentado, ter os procedimentos de aplicação dos métodos seguidos, ter as responsabilidades sobre as tarefas do processo de aplicação claras, dar treinamento aos membros dos times sobre a aplicação dos métodos, envolver as pessoas (*stakeholders*) certas na aplicação dos métodos, assegurar que os membros do time mostrem respeito mútuo.

Em resumo, os respondentes percebem que o *processo* de aplicação dos métodos FMEA e DRBFM na unidade de negócio está de acordo com o que as normas e manuais prescrevem e satisfaz as práticas requeridas pelo segundo nível de capacidade do CMMI.

**Tabela 6.** Itens de avaliação da aplicação do *software* de apoio à aplicação do DFMEA/PFMEA/DRBFM.

Nº	Item de avaliação	Resposta	
		Sim	Não
1	O uso do <i>software</i> facilita a integração dos membros do time (trabalho em equipe) e facilita que todos os membros colaborem com a análise.	X	
2	O uso do <i>software</i> garante a padronização da terminologia utilizada para nomear funções, modos de falha, efeitos de falha, causas de falha, controles, etc.	X	
3	A utilização do <i>software</i> otimiza o tempo do time.	X	
4	O uso do <i>software</i> facilita o gerenciamento de dados de entrada e saída das análises.	X	
5	O recurso de visualização das informações da análise em múltiplas vistas (tabela, árvore hierárquica, etc.) é um recurso útil.	X	
6	O uso do <i>software</i> facilita o gerenciamento das ações de melhoria recomendadas (rastrear/acompanhar o progresso de implementação e garantir que as melhorias são implementadas).	X	
7	O uso do <i>software</i> facilita encontrar e reusar informações importantes (dados ou frases) de DFMEAs/PFMEAs existentes, diminuindo os esforços no desenvolvimento de novas análises.	X	
8	O <i>software</i> facilita a confecção de relatórios com os dados do DFMEA/PFMEA/DRBFM para apoiar a tomada de decisões.	X	

**Tabela 7.** Itens de avaliação da aplicação do FTA.

Nº	Item de avaliação	Resposta	
		Sim	Não
1	O FTA serve como uma análise preliminar para a elaboração do DFMEA/PFMEA/DRBFM.	X	
2	O FTA é feito durante as sessões de DFMEA/PFMEA/DRBFM quando necessário.	X	
3	A árvore de falhas, ao estabelecer de maneira lógica o encadeamento das falhas de um sistema, facilita a elaboração do DFMEA/PFMEA/DRBFM.	X	
4	Visualizando a árvore de falhas, é mais fácil determinar o efeito e a causa raiz de uma falha.	X	
5	A construção de uma árvore de falhas é realizada por um time multifuncional.	X	
6	A árvore de falhas ajuda na determinação de ações de melhoria.	X	
7	O FTA ajuda na compilação de informações para planejamento de testes.	X	

#### 4.2 Avaliação da qualidade dos Resultados da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM

Para avaliar a qualidade dos resultados da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM, foi utilizado o Instrumento 3. O Engenheiro de Métodos e Processos

da unidade de negócio avaliada foi o colaborador indicado para ser entrevistado.

Para as questões sim/não do instrumento, o Engenheiro respondeu “sim” para todas elas. Portanto, na percepção dele a unidade de negócio aplica essas práticas. As respostas das sentenças avaliadas na escala binária (sim/não) são mostradas na Tabela 9.

**Tabela 8.** Resultados da avaliação da qualidade do *processo* de aplicação dos métodos sob a perspectiva da capacidade (escala 1a 10).

Nº	Item de avaliação	$\bar{x}_i$	$S_i$	$C_i$
1	Recursos suficientes são alocados para a execução do processo (materiais, apoio de um facilitador, apoio de um patrocinador, etc.).	7,5	1,51	0,72
2	É claro quem é responsável em fazer o que no processo (planejamento, trabalho prévio, o processo em si, etc.).	8,5	1,41	0,76
3	As pessoas participantes têm conhecimento suficiente sobre a aplicação deste processo.	8,13	0,64	0,95
4	As pessoas certas são envolvidas (mix de habilidades <i>cross</i> -funcional, conhecimento sobre a aplicação, etc.) e possuem autoridade sancionada pela gerência.	8,75	1,16	0,84
5	Tempo despendido na execução do processo é suficiente (isto é, nem muito nem pouco tempo).	7,25	1,49	0,73
6	O nível de análise das falhas é adequado e todas as alternativas são esgotadas.	7,63	1,6	0,69
7	Documentos e informações de entrada têm qualidade suficiente (completo, acurado, etc.).	7,25	1,98	0,52
8	Documentos e informações de entrada são usados de maneira efetiva no processo.	7,5	1,51	0,72
9	A aplicação dos métodos acontece no momento certo (as alterações no produto/processo podem ser facilmente implementadas e não comprometem o orçamento do projeto ( <i>project</i> )), isto é, existe tempo para reagir e garantir o sucesso do projeto ( <i>project</i> ).	5,5	2,14	0,45
10	Está claro como esses métodos devem ser aplicados (política clara, regras/critérios de decisão, o que cada pessoa tem que fazer, etc.).	7,88	0,99	0,88
11	O processo é bem definido e documentado, com subpassos claros, saídas dos subpassos, formulários/ <i>templates</i> padrão, etc.	8,5	0,76	0,93
12	O controle de versão dos documentos/formulários do processo é realizado de maneira efetiva por meio de gestão da configuração.	7,38	1,41	0,76
13	O processo para uso desses métodos é monitorado e controlado (dimensões de desempenho, tais como, qualidade, completude, eficiência, etc., são medidas e gerenciadas).	7	2	0,52
14	O time segue o processo de aplicação dos métodos prescrito pela empresa.	8,75	1,39	0,77
15	Os membros do time mostram respeito um pelo outro durante as sessões.	8,63	1,06	0,86
16	É dado a cada membro do time tempo suficiente para colocarem seus pontos de vista.	9	0,93	0,9

**Tabela 9.** Respostas do instrumento de avaliação da qualidade dos *resultados* da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM (questões sim/não).

Nº	Item de avaliação	Método	Resposta	
			Sim	Não
1	O DFMEA/PFMEA é bem profundo de maneira que causas/mecanismos de falhas potenciais são identificados para todos os modos de falha.	DFMEA	X	
		PFMEA	X	
	O DFMEA/PFMEA é completo de maneira que todas as colunas de seu formulário são discutidas e preenchidas.	DFMEA	X	
		PFMEA	X	
3	Toda característica funcional de projeto ( <i>design</i> ) que engenheiros têm responsabilidade são endereçadas no DFMEA.	DFMEA	X	
4	Todas as verificações de projeto ( <i>design</i> ) são listadas por causa no DFMEA.	DFMEA	X	
5	Controles de processo são listados por causa no PFMEA.	PFMEA	X	
6	As mudanças de engenharia (intencionais e incidentais) e suas razões são verificadas e descritas em detalhes no DRBFM.	DRBFM	X	

Para as sentenças que deveriam ser avaliadas na escala de 10 pontos, foram calculadas as médias ( $\bar{x}_m$ ) dos valores a elas atribuídos a cada método. Os valores dessas médias são listados abaixo:

- $\bar{x}_{DFMEA} = 6,92$  (12 itens de avaliação);
- $\bar{x}_{PFMEA} = 7,18$  (11 itens de avaliação); e
- $\bar{x}_{DRBFM} = 10$  (5 itens de avaliação).

Eles indicam que o respondente percebe que a qualidade dos resultados do DFMEA e do PFMEA é boa, mas existem oportunidades para melhoria. A média do DRBFM evidencia que sua aplicação é mais detalhada

e poderosa. Na Tabela 10, são mostradas as respostas para as sentenças avaliadas na escala de 10 pontos.

O respondente atribuiu nota 5 para os itens 12, 13 e 21 do DFMEA. O item 16 aponta que nem sempre as ações de melhoria definidas são implementadas. Assim, sugere-se que o gerente acompanhe (*follow up*) o status das ações especificadas, cobrando os respectivos responsáveis por suas implementações. Contudo, essa disfunção pode ser o efeito de se aplicar o DFMEA tarde no ciclo de desenvolvimento do produto (item 9 do Instrumento 2), não sendo possível, então, implementar as ações. Outra possível

**Tabela 10.** Respostas do questionário de avaliação da qualidade dos resultados da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM (escala 1 a 10).

Nº	Item de avaliação	Método	Nota
7	Modos de falhas esperados ou típicos são definidos.	DFMEA	8
		PFMEA	8
8	Todos os riscos razoáveis são endereçados/identificados.	DFMEA	7
		PFMEA	7
9	Efeitos de falhas são considerados em relação ao usuário final.	DFMEA	7
		PFMEA	5
10	Índices de severidade, ocorrência e detecção parecem ser consistentes com os modos de falhas.	DFMEA	10
		PFMEA	10
11	O DFMEA/PFMEA é bem profundo de maneira que todos os modos de falhas parecem ser identificados, incluindo modos de falhas relacionados com o uso do cliente e a aplicação do sistema.	DFMEA	7
		PFMEA	5
12	As ações de melhoria especificadas são sempre implementadas.	DFMEA	5
		PFMEA	8
13	As melhorias implementadas são registradas no DFMEA/PFMEA e os índices (severidade, ocorrência, detecção e RPN) são atualizados.	DFMEA	5
		PFMEA	8
14	Falhas com baixo RPN ainda podem trazer problemas significativos.	DFMEA	9
		PFMEA	6
15	A definição dos índices de risco (severidade, ocorrência e detecção) é tão subjetiva que perde sua validade.	DFMEA	7
		PFMEA	7
16	Problemas de projeto ( <i>design</i> ) que possam causar problemas de manufatura/montagem são identificados no DFMEA.	DFMEA	8
17	O DFMEA inclui causas de falhas relacionadas com integração e interface de sistemas, subsistemas ou componentes.	DFMEA	7
18	O PFMEA está relacionado ao controle de processo.	PFMEA	9
19	O DRBFM ajuda a focar nas modificações intencionais e incidentais, para descobrir todos os problemas escondidos e, portanto prevenir qualquer omissão.	DRBFM	10
20	O DRBFM incentiva a criatividade na busca por falhas potenciais e a descoberta de boas ideias para resolver problemas.	DRBFM	10
21	A linguagem utilizada é clara e específica, isto é, não são usadas expressões/frases vagas e imprecisas. Sempre que possível são incluídas informações.	DFMEA	5
		PFMEA	5
		DRBFM	10
22	As informações inseridas nos formulários são bem detalhadas.	DFMEA	7
		PFMEA	7
		DRBFM	10
23	Para todo modo de falha são determinadas as causas raiz.	DFMEA	7
		PFMEA	7
		DRBFM	10

oportunidade para melhoria é registrar os resultados das ações implementadas e atualizar os índices de risco (item 13). Se as ações não foram implementadas, deve-se descrever os motivos. Por fim, o respondente percebe que a linguagem empregada é moderadamente imprecisa (item 21). Possivelmente essa disfunção pode ser resolvida se for inserido no treinamento do moderador a instrução de se usar uma linguagem clara e informações quantificáveis sempre que possível. Esse problema também é percebido no PFMEA.

As outras duas oportunidades de melhoria notadas para o PFMEA estão relacionadas à identificação dos efeitos dos modos de falha em relação ao cliente final (item 9) e à profundidade na identificação dos modos de falha (item 11). A recomendação para os dois casos é que além de se investigar a existência de modos de falha e efeitos de clientes internos (operações subsequentes, revendedor, veículo de transporte, etc.), também se busque modos de falha e efeitos sob o ponto de vista do usuário final.

Finalmente, as pontuações dadas aos itens de avaliação 14 e 15 não foram incluídas no cálculo das médias, pois um valor alto para essas sentenças não indica um resultado positivo. No entanto, elas chamam a atenção para duas questões. Primeiro, o Engenheiro de Métodos e Processos percebe que falhas com baixo RPN podem trazer problemas significativos. Assim, o time de PFMEA também deve se atentar a essas falhas para a definição de ações de melhoria. O segundo ponto está relacionado à subjetividade dos índices de risco. O respondente atribuiu nota 7 na escala de 1 a 10 (1 = “Discordo plenamente,” e 10 = “Concordo plenamente”) para a sentença “A definição dos índices de risco (severidade, ocorrência e detecção) é tão subjetiva que perde sua validade”. Essa avaliação sugere que a gerência deve discutir a questão da subjetividade dos índices com os responsáveis pela aplicação do DFMEA e do PFMEA, para melhorar a precisão e consequentemente a validade dos índices.

Estes foram os resultados e a análise das informações coletadas pelos três instrumentos de coleta de dados que formam a avaliação da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM no Processo de Desenvolvimento de Produtos da unidade de negócio. A qualidade dos *resultados* da aplicação dos métodos foi bem avaliada. A razão desse bom resultado talvez seja o efeito do *processo* de aplicação dos métodos FMEA e DRBFM na unidade de negócio estar em **conformidade** com as práticas descritas na literatura e ter boa **capabilidade**. As conclusões do estudo são discutidas com detalhes na próxima seção.

## 5 Conclusões e trabalhos futuros

A contribuição deste estudo de caso é o conhecimento de práticas empregadas por uma empresa referência na aplicação dos métodos DFMEA,

PFMEA e DRBFM. Essas práticas foram levantadas por meio de um estudo de caso realizado em uma unidade de negócio de uma unidade fabril de uma empresa multinacional do setor automotivo. Essa unidade de negócio foi considerada como referência na aplicação da análise de falhas potenciais. Assim, essa contribuição pode servir de referência para empresas aprimorarem a forma de aplicação do FMEA/DRBFM e para a academia formular novas teorias sobre a análise de falhas potenciais.

No estudo de caso, foram avaliadas a qualidade do *processo* e a qualidade dos *resultados* da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM no processo de desenvolvimento de produtos da unidade de negócio *caso*. A avaliação da qualidade do *processo* foi realizada sob a perspectiva da **conformidade** com práticas descritas na literatura e da **capabilidade** (capacidade ou habilidade de atingir objetivos e metas estabelecidas) de se atingir o segundo nível do CMMI-DEV. Assim, a avaliação verificou se o *processo* de aplicação dos métodos FMEA e DRBFM é planejado e executado de acordo com a política definida; para isso, são empregadas pessoas as quais possuem conhecimento suficiente sobre o processo e têm recursos adequados para produzir resultados controlados, são envolvidos *stakeholders* relevantes, e é monitorado e controlado. Já a avaliação da qualidade dos *resultados* ajudou a determinar se os resultados da aplicação do FMEA e do DRBFM atingem suas metas.

A avaliação indicou uma concordância entre o descrito na literatura e o aplicado na unidade de negócio e apontou tanto áreas e práticas fortalecidas quanto oportunidades para melhoria. Além disso, os resultados da avaliação sugerem que o sucesso da execução dos métodos de análise de falhas potenciais FMEA e DRBFM, na unidade de negócio, é devido à combinação de provisão de recursos, trabalho em equipe multidisciplinar, formação de competências (treinamento), definição de procedimentos, aplicação integrada com outros métodos/ferramentas, e, sobretudo, não considerar a aplicação como é uma atividade pro forma. Possivelmente, o uso de *softwares* de apoio também pode ser incluído nessa lista, já que *softwares* de apoio à aplicação do FMEA e do DRBFM possuem uma grande variedade de funções que podem otimizar o processo de aplicação (PICKARD; MÜLLER; BERTSCHE, 2004).

As oportunidades para melhoria apontadas foram: momento de aplicação dos métodos no ciclo do processo de desenvolvimento de produtos, consideração de efeitos em relação ao usuário final (PFMEA), profundidade da análise (PFMEA), implementação das ações de melhoria especificadas (DFMEA), documentação dos resultados das melhorias implementadas e atualização dos índices de risco

(DFMEA) e utilização de linguagem clara e precisa (DFMEA e PFMEA).

Além do conhecimento sobre uma avaliação da aplicação da análise de falhas potenciais, principalmente sobre o DRBFM, método que não tem publicações sobre sua aplicação, este estudo corrobora com outros estudos que enfatizam a importância da aplicação do FMEA, fornecendo indícios de que um FMEA efetivo está ligado ao “sucesso” de uma empresa, já que a empresa caso é *benchmarking* na aplicação do FMEA e líder de mercado.

À parte da restrição de generalizar os achados, o estudo de caso possui sua própria limitação. A principal foi ter questionários como única fonte de coleta de dados. Os colaboradores da unidade de negócio podem ter um viés positivo, não respondendo aos questionários de maneira imparcial. Idealmente, uma combinação de técnicas de coleta de dados deveria ser usada. Análise de documentos, entrevistas abertas e observação são técnicas encorajadas à serem usadas em pesquisas futuras.

Apesar de ser importante reconhecer as limitações do método de pesquisa e das técnicas empregadas, é igualmente importante reconhecer a relevância dos questionários desenvolvidos e adaptados para a avaliação como resultados adicionais. Os instrumentos de coleta de dados mostraram-se capaz de apontar práticas para melhoria no processo de análise de falhas potenciais. O estudo de caso ajudou a validar esses instrumentos, mas além deles serem uma ferramenta de avaliação, eles podem ser usados como ferramenta prescritiva por uma empresa interessada em melhorar a aplicação da análise de falhas potenciais.

Além disso, o estudo forneceu evidência preliminar que o uso integrado do FMEA com o DRBFM é viável. A unidade de análise *caso* possui maturidade elevada na aplicação do FMEA, então, talvez, seja indicado aplicar um método para se analisar as falhas devido às mudanças (DRBFM) apenas quando se alcançarem projetos livres de falhas (*proven designs*) com a aplicação do FMEA. Finalmente, as letras DR do DRBFM indicam que não é uma técnica a ser usada de forma aleatória, mas sim nas revisões técnicas de projeto (*design review*), tendo uma implicação mais ampla, relacionada à forma de gestão do próprio PDP.

A partir dos resultados obtidos no estudo de caso, considera-se que existem dois focos principais para trabalhos futuros. O primeiro é na própria unidade de negócio *caso*. Já que ela passará por auditoria para certificação nível 2 do CMMI-DEV, os questionários de avaliação 2 e 3 podem ser institucionalizados, pois a avaliação de uma dada área de processo usando a representação contínua do CMMI-DEV inclui a qualidade do *output* da área de processo e a própria qualidade do processo. Assim, o instrumento da avaliação da **capabilidade** do *processo* poderia ser respondido em uma frequência determinada

(em eventos de ações de melhoria do processo) nas sessões de DRBFM, PFMEA ou DRBFM pelos participantes. E o instrumento para a avaliação da qualidade dos *resultados* poderia ser respondido, em eventos de ações de melhoria, por um colaborador que audita a qualidade dos resultados da aplicação.

O segundo foco refere-se à realização da mesma avaliação em outras empresas, de tamanhos e setores diferentes e iguais, realizando estudo de múltiplos casos. Assim, além de análise intracaso, poderia ser realizada uma análise intercaso, para verificação de relações causais e generalização de conclusões.

## Agradecimentos

Os autores são gratos aos profissionais que gentilmente participaram do estudo, aos colegas do Núcleo de Manufatura Avançada (NUMA), ao CNPq pelo apoio financeiro e aos avaliadores pelas recomendações de revisão do artigo.

## Referências

- AJAYI, M.; SMART, P. Innovation and learning: exploring feedback from service to design. **Journal of Engineering Manufacture**, v. 222, part B, p. 1195-1199, 2008.
- ALLAN, L. Change Point Analysis and DRBFM: A Winning Combination. **Reliability Edge**, v. 9, n. 2, p. 16-21, 2009.
- APIS INFORMATIONSTECHNOLOGIEN GMBH. Disponível em: <<http://www.apis.de/en>>. Acesso em: 23 nov. 2009.
- AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP – AIAG. **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) - Reference Manual**. 4th ed. AIAG, 2008.
- BARBER, B. M.; DARROUGH, M. N. Product Reliability and Firm Value: The Experience of American and Japanese Automakers, 1973-1992. **Journal of Political Economy**, v. 104, n. 5, p. 1084-1099. 1996. <http://dx.doi.org/10.1086/262053>
- BATES, H. et al. Motor vehicle recalls: Trends, patterns and emerging issues. **Omega**, v. 35, n. 2, p. 202-210, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2005.05.006>
- BERTSCHE, B. **Reliability in Automotive and Mechanical Engineering**: Determination of Component and System Reliability. Berlin: Springer, 2008.
- BLUVBAND, Z.; POLAK, R.; GRABOV, P. Bouncing Failure Analysis (BFA): The unified FTA-FMEA methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2005, Israel. **Proceedings...** Israel, 2005. p. 463-467.
- BOOKER, J. D.; RAINES, M.; SWIFT, K.G. **Designing Capable and Reliable Products**. Elsevier, 2001.
- BRAGLIA, M.; FANTONI, G.; FROSOLINI, M. The house of reliability. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 24, n. 4, p. 420-440, 2006. <http://dx.doi.org/10.1108/02656710710740572>
- CAPABILITY MATURITY MODEL INTEGRATION - CMMI PRODUCT TEAM. **CMMI for Development**. Version 1.2: Improving processes

- for better products. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 2006.
- 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, p. 491-551, 2007. <http://dx.doi.org/10.1115/1.2712216>
- DAVIDSON III, W. N.; WORRELL, D. L. Research Notes and Communications: The Effect of Product Recall Announcements on Shareholder Wealth. **Strategic Management Journal**, v. 13, n. 6, p. 467-473, 1992. <http://dx.doi.org/10.1002/smj.4250130606>
- DEVADASAN, S. R. et al. Design of total failure mode and effects analysis programme. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 20, n. 5, p. 551-568, 2003. <http://dx.doi.org/10.1108/02656710310476525>
- FARRIS, J. A. et al. A Structured Approach for Assessing the Effectiveness of Engineering Design Tools in New Product Development. **Engineering Management Journal**, v. 19, n. 2, p. 31-39, 2007.
- GENERAL MOTORS – GM. **Engineering standards: Design Review Based on Failure Modes - GMN11220**: General Motors Corporation, 2005. 1-9 p.
- HAUNSCHILD, P. R.; RHEE, M. The Role of Volition in Organizational Learning: The Case of Automotive Product Recalls. **Management Science**, v. 50, n. 11, p. 1545-1560, 2004. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.1040.0219>
- HAWKINS, P. G.; WOOLLONS, D. J. Failure modes and effects analysis of complex engineering systems using functional models. **Artificial Intelligence in Engineering**, v. 12, p. 375-397, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0954-1810\(97\)10011-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0954-1810(97)10011-5)
- JAMES, L. R.; DEMAREE, R. G.; WOLF, G. Estimating within-group interrater reliability with and without response bias. **Journal of Applied Psychology**, v. 69, n. 1, p. 85-98, 1984. <http://dx.doi.org/10.1037/0021-9010.69.1.85>
- JAMES, L. R.; DEMAREE, R. G.; WOLF, G. rwg: An Assessment of Within-Group Interrater Agreement. **Journal of Applied Psychology**, v. 78, n. 2, p. 306-309, 1993. <http://dx.doi.org/10.1037/0021-9010.78.2.306>
- JOHNSON, K. G.; KHAN, M. K. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 139, n. 1-3, p. 348-356, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00542-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00542-9)
- KARA-ZAITRI, C. et al. An improved FMEA methodology. In: **RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM**, 1991, Orlando. **Proceedings...** Orlando: IEEE press, 1991. p. 248-252.
- KRASICH, M. Can Failure Modes and Effects Analysis Assure a Reliable Product? In: **RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM**, 2007, Orlando. **Proceedings...** Orlando, 2007. p. 277-281.
- LAURENTI, R. **Sistematização de problemas e práticas da análise de falhas potenciais no processo de desenvolvimento de produtos**. 2010. 180 f. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- LEVIN, M.; KALAL, T. T. **Improving Product Reliability: Strategies and Implementation**. West Sussex: Wiley, 2003. <http://dx.doi.org/10.1002/0470014024>
- McDERMOTT, R. E.; MIKULAK, R. J.; BEAUREGARD, M. R. **The Basics of FMEA**. 2nd ed. New York: Productivity Press, 2009.
- PICKARD, K.; MÜLLER, P.; BERTSCHE, B. Synergies of FMEA and other quantitative quality methods for an optimized quality assurance. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY, RELIABILITY, AND MAINTENANCE – QRM**, 5., 2004, Oxford. **Proceedings...** Oxford: Wiley-Blackwell, 2004. p. 35-38.
- RELIASOFT. **Xfmea**: Análise dos Efeitos dos Modos de Falha (FMEA/FMECA). Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/xfmea/>>. Acesso em: 23 nov. 2009.
- RHEE, M.; HAUNSCHILD, P. R. The Liability of Good Reputation: A Study of Product Recalls in the U.S. Automobile Industry. **Organization Science**, v. 17, n. 1, p. 101-117, 2006. <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.1050.0175>
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: uma referência para a melhoria do processo. Atlas, 2006.
- SCHMITT, R.; KOHLMANN, H. A.; HAMMERS, C. Lean Development mit DRBFM. **Management und Qualität**, v. 1-2, p. 10-12, 2008.
- SCHMITT, R. et al. Keine Angst vor Änderungen! Robustes Design für innovative Produkte. **Qualität und Zuverlässigkeit**, v. 52, n. 3, p. 24-26, 2007.
- SCHORN, M. Entwicklung mit System: Wie Toyota von DRBFM profitiert. **Management und Qualität**, v. 12, p. 8-11, 2005.
- SCHORN, M.; KAPUST, A. DRBFM - die Toyota Methode. **Vdi Z Integrierte Produktion**, v. 147, n. 7-8, p. 67-69, 2005.
- SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P. A. C. Failure mode and effects analysis (FMEA) in the context of risk management in new product development: A case study in an automotive company. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 25, n. 9, p. 899-912, 2008. <http://dx.doi.org/10.1108/02656710810908061>
- SHIMIZU, H.; IMAGAWA, T.; NOGUCHI, H. Reliability Problem Prevention Method for Automotive Components - Development of GD3 Activity and DRBFM (Design Review Based Failure Mode). In: **INTERNATIONAL BODY ENGINEERING CONFERENCE**, 2003, Chiba. **Proceedings...** SAE International, 2003. p. 371-376.
- STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. ASQC Quality Press, 1995.
- STONE, R.; TUMER, I.; STOCK, M. Linking product functionality to historic failures to improve failure analysis in design. **Research in Engineering Design**, v. 16, n. 1, p. 96-108, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s00163-005-0005-z>
- VOSS, C. Case Research in Operations Management. In: **KARLSSON, C. (Ed.). Researching Operations Management**. New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2009.
- YANG, G. **Life Cycle Reliability Engineering**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470117880>
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

