

Proposta de um Modelo Teórico-Conceptual para Flexibilização da Ferramenta FMEA

Rodolfo Reinaldo Hermes Petter (UFRGS) rodolfopetter@gmail.com
Alessandro Kahmann (UFRGS) alessandrokahmann@hotmail.com
João Francisco da Fontoura Vieira (UFRGS) jhueao@hotmail.com

Resumo:

O crescimento da exigência sobre a qualidade final dos produtos vem impondo à indústria o aprimoramento e desenvolvimento de métodos e técnicas que garantam a qualidade dos produtos que estão sendo oferecidos. Isto pode ser realizado através da prevenção da ocorrência de falhas, as quais podem ser tanto internas à empresa (no processo) quanto externas (no produto). Neste cenário, o objetivo deste estudo foi propor um modelo teórico-conceitual para expandir as possibilidades de utilização da ferramenta FMEA, buscando aprimorá-la para uma avaliação mais profunda e eficaz dos potenciais modos de falha que afetam diretamente a qualidade dos produtos. Inicialmente, esta pesquisa fundamentou-se em uma revisão de literatura a fim de que fosse identificada a capacidade de flexibilidade da ferramenta em ser expandida, bem como a verificação de possibilidades de adição de funções secundárias para esta (por exemplo, a seleção de variáveis críticas à qualidade de processos e produtos). De forma secundária, buscou-se por dados empíricos provenientes da indústria para o complemento da proposição do modelo, sendo estes utilizados em seu teste. Obteve-se, como resultado da pesquisa, um modelo teórico-conceitual expandido da ferramenta FMEA. Tal modelo conseguiu realizar uma análise otimizada de um modo de falha nos três níveis desta interfere (níveis de projeto, processo e produto) e, também, identificou as variáveis críticas à qualidade do produto em questão.

Palavras chave: FMEA; Otimização; Modelo teórico-conceitual.

Proposal of a Theoretical and Conceptual Model for Easing Tool FMEA

Abstract:

The growing demands on the quality of the end product is imposing industry improvement and development of methods and techniques that guarantee the quality of products being offered. This can be achieved by preventing the occurrence of failures which can be either internal to the enterprise (in the process) and external (on the product). In this scenario, the objective of this study was to propose a theoretical-conceptual model to expand the possibilities for use of FMEA tool, trying to improve it to a more profound and effective potential failure modes that directly affect the quality of products. Initially, this research was based on a literature review in order to be identified capacity flexibility of the tool to be expanded as well as the verification of possible addition of secondary functions for this (for example, the selection of critical variables the quality of processes and products). Secondly, we sought by empirical data from industry to complement the proposed model, these being used in your test. Was obtained as a result of research, a theoretical-conceptual expanded FMEA tool. This model has achieved an analysis optimized a failure mode in the three levels of this interferes (levels of design, process and product) and also identified the critical variables to the quality of the product in question.

Key-words: FMEA; Optimization; theoretical-conceptual model.

1. Introdução

O constante desenvolvimento econômico e competitivo vem exigindo da indústria a proposição de portfólio abrangente de produtos, os quais devem atingir os mais diversos segmentos de mercado. Este fato faz com que a indústria, especialmente a de transformação, monitore os seus processos de produção detalhadamente desde o nível de projeto de produto até à inspeção final. Isto pode ser realizado via ferramentas de base qualitativa, como por exemplo, inspeções visuais e comparativas padronizadas ou de base quantitativa como, controle estatístico da qualidade – CEQ.

Em relação às ferramentas de base qualitativa para este monitoramento, Saviotti & Uryan (2011) argumentam que uma das ferramentas mais difundidas relacionadas à prevenção e prospecção de potenciais falhas é o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), da qual possui sua estrutura fundamentada na análise de causa e efeito. Ressalta-se, entretanto, que os modelos existentes e difundidos da ferramenta possuem uma estrutura específica de análise, existindo, por exemplo, o FMEA para projeto, FMEA para processo e o FMEA para produto.

Quanto ao monitoramento via controle estatístico do processo (análise quantitativa da qualidade), verifica-se a exigência da identificação e construção de grupos e subgrupos de variáveis a serem monitoradas, para que o controle da qualidade seja efetivamente realizado. Para tanto, se faz necessário a seleção das variáveis que fornecerão os dados para o monitoramento e controle de qualidade dos processos e produtos.

Com isso, a exigência por técnicas estatísticas que sejam capazes de identificar vieses correlacionados entre as variáveis, vêm crescendo, sendo estas análises direcionadas a questões puramente quantitativas que, em algumas situações, fogem da capacidade da empresa em analisar seu cenário atual e de selecionar as variáveis críticas as suas processos.

Tais dificuldades têm sido amortecidas por meio da utilização de técnicas com base predominantemente qualitativa (como é o caso do FMEA), porém estas técnicas não são difundidas na seleção de variáveis. Outra questão relevante é o fato delas não serem aplicadas de forma conjunta em mais de dois níveis da empresa, fato que torna a aplicação mais complexa.

Nesse contexto, verifica-se a oportunidade para proposição de um FMEA expandido, o qual possa atuar, concomitantemente, no processo e no produto, bem como apontar as variáveis de controle diretamente relacionadas a estes níveis, podendo ser estas consideradas críticas ao CEQ, uma vez que elas são diretamente ligadas às potenciais falhas e/ou potenciais causas de falhas no produto final.

Desta forma, o objetivo da presente pesquisa é propor um modelo teórico-conceitual expandido da ferramenta FMEA e, também, utilizá-lo seletor de variáveis críticas ao monitoramento e controle da qualidade de processos e produtos.

2. Referencial teórico

2.1 Seleção de variáveis

A seleção de variáveis trata-se de um tema relevante a ser pesquisado em aplicações das quais geram grandes quantidades de dados a serem analisados, como por exemplo, na indústria química. Em bases gerais, o objetivo da seleção de variáveis é a melhoria do desempenho de informações para predição ou classificação de produtos frente à garantia de sua qualidade durante seus processos de manufatura (ROSSINI, 2011).

Métodos de seleção de variáveis especialmente voltados à classificação se fundamentam na

organização de variáveis, segundo uma ordem de importância hierárquica, sendo possível então apontar os dados de menor importância, reduzindo a dimensão dos conjuntos de variáveis (GUYON e ELISSEEFF, 2003).

No julgamento de Covões (2011) o objetivo da seleção de variáveis é a eliminação de informações redundantes e informações que não agregam valor informativo relevante ao monitoramento dos processos. Desta forma, além dos benefícios supracitados, esta eliminação é capaz de facilitar a visualização e entendimento dos dados.

Em termos operacionais de aplicações na indústria, à seleção de variáveis tem por objetivo estabelecer um subconjunto de p variáveis complacentes, obtido num montante inicial de j variáveis (sendo $p < j$). Neste raciocínio, as variáveis p conterão melhores informações referentes ao processo, contendo o mínimo possível de informações ruidosas (REUNANEN, 2003; GUYON e ELISSEEFF, 2003).

2.2. Análise do Tipo e Efeito de Falha – FMEA

A ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise do Tipo e Efeito de Falha) tem por objetivo prevenir que falhas ocorram, sendo isto é realizado através de uma análise de potenciais geradores de falhas e da proposição de melhorias em projetos, processos e produtos (SAVIOTTI & URYAN, 2011).

Fernandes e Rebelato (2006), descrevem como passos genéricos a serem executados na construção do FMEA os seguintes: (i) detecção do molde da falha já conhecida e das potenciais, (ii) detecção da severidade e dos efeitos de cada molde de falha, (iii) detecção das prováveis causas e da probabilidade de acontecimento de cada molde de falha, (iv) detecção da probabilidade de identificação de novos moldes de falha e (v) análise da potencialidade de oferecimento de risco de cada molde de falha e o estabelecimento dos parâmetros para sua redução ou extinção

Tratando-se de modos de falha, Chrysler Corporation et al. (2000) atribuem, para cada um dos detectados, três índices: (i) “O” de Ocorrências, o qual determina a probabilidade de um evento específico ou sistemática ocorrer; (ii) “S” de Severidade, o qual pondera a acuidade do impacto da falha; (iii) “D” de Detecção, tratando-se da capacidade do sistema atual em identificar um modo de falha antes que ele ocorra de fato e (iv) “NPR”, o qual trata-se da multiplicação dos três índices anteriores, gerando um escore para o risco de falha. O índice NPR tem por objetivo hierarquizar as falhas para o direcionamento das ações de monitoramento e melhoria no sistema. Logo, quanto maior for o índice NPR, maior será a prioridade daquele modo de falha e/ou de um subconjunto de falhas (PUENTE, 2002).

Com relação aos tipos e/ou classes da ferramenta FMEA, Stamatis (2003), Fernandes e Rebelato (2006) apontam para três níveis básicos:

- ✓ *FMEA para o Sistema*: utilizado na análise de sistemas e subsistemas nas primeiras fases de projeto e concepção de produto;
- ✓ *FMEA de Projeto ou Produto*: aplicada na avaliação da pré-manufatura dos produtos, ou seja, está direcionada à prevenção de potenciais falhas geradas por anomalias de projeto, podendo falhas deste gênero, ocorrer mesmo com o produto estando de acordo com suas especificações de projeto;
- ✓ *FMEA de Processo*: atua na prevenção de potenciais falhas durante a manufatura do produto, ou seja, evita falhas no processo, podendo ser tanto processos de transformação quanto processos de montagem.

Com base nas definições, níveis e tipos de aplicações e relações da ferramenta FMEA

supracitados por Stamatis (2003), Toledo e Amaral (2004), faz-se possível o estudo e proposição de um formato expandido da ferramenta FMEA, conforme objetivos predispostos desta pesquisa.

3. Procedimentos Metodológicos

No que diz respeito a um modelo teórico-conceitual, Miguel et. al., (2012, p. 65) descreve que este se trata de uma proposição fundamentada em “discussões conceituais a partir da literatura, revisões bibliográficas e modelagens conceituais”.

Não obstante, em relação à atribuição da nova funcionalidade à ferramenta, para obtenção de informações em torno de seleção de variáveis, buscou-se para coleta de dados empíricos, por empresas que utilizam a FMEA em seu sistema de produção. Empresas das quais produzem em larga escala e que, conseqüentemente, possuem grande quantidade de variáveis a serem monitoradas, das quais a possibilidade de utilização da função adicional a FMEA aqui proposta, fosse cabível.

Desta forma, para obtenção dos dados empíricos necessários que pudessem apoiar a proposta desta pesquisa, deu-se a coleta de dados através da estruturação de um questionário contendo perguntas abertas diretamente relacionadas à estrutura, controle e monitoramento dos processos de manufatura, como também perguntas relacionadas à seleção de variáveis para compor e/ou melhorar o controle e monitoramento da qualidade dos processos e, conseqüentemente, dos produtos em empresas metalúrgicas fabricantes de componentes para a produção de automóveis, ônibus e caminhões, possuindo unidades instaladas na cidade de Porto Alegre – RS.

Selecionaram-se duas empresas com base em sua abrangência de segmento de mercado no setor de produção de peças e componentes automobilísticos, por motivos de acessibilidade e por possuírem produção em larga escala. Estas foram denominadas como empresas “Alpha” e “Beta”.

A aplicação do questionário às empresas deu-se em meio online, sendo este direcionado via e-mail aos responsáveis pelo controle estatístico de qualidade – CEQ das empresas pesquisadas. Foram estes responsáveis pelo CEQ, os respondentes às perguntas da pesquisa, das quais foram redigidas ao pesquisador através do mesmo arquivo que continha às perguntas. Tal sistemática para o preenchimento do questionário permitiu aos respondentes total liberdade na estruturação das suas respostas, resultando num maior nível de detalhamento para as mesmas.

4. Modelo Teórico-conceitual Expandido da FMEA

Identificou-se inicialmente que o modelo estrutural das planilhas que compõe a ferramenta FMEA, tanto em níveis genéricos trazidos pela literatura, comumente mais utilizadas pelas empresas pesquisadas é a com base em Toledo e Amaral (2004) e apresentada pela figura 1.

Análise do Tipo e Efeito de Falha																			
Cod_pec : Nome da Peça: Data: Folha No. _____ de _____											<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto								
Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	Índices Atuais						
						S	O	D	R				S	O	D	R			

Figura 1 – Modelo estrutural “genérico” para disposição dos dados na FMEA
 Fonte: Toledo e Amaral (2004).

Partindo desta base estrutural, analisaram-se as possíveis relações de causa e efeito entre os níveis de aplicação da ferramenta citados por Stamatis (2003), onde foram identificadas as ligações entre os níveis de Projeto, Processo e Produto.

Ou seja, entende-se por esta pesquisa que as potenciais causas de falha em nível de projeto, estão diretamente vinculadas à geração de novas falhas no nível subsequente, como também e principalmente os efeitos resultantes destas falhas. Estas relações de potenciais causas e efeitos das falhas geram-se em função da interdependência dos níveis em relação à qualidade final do produto que se deseja obter.

Uma vez, havendo determinada falha partida do nível de projeto, todas as demais ações de processo/produção, seguirão as especificações “incorretas” provindas do nível de projeto, gerando consequentemente a falha sobre a qualidade do produto final.

Tendo esta base então, propôs-se um novo *layout* expandido para a FMEA, sendo a primeira etapa do modelo teórico-conceitual objetivado por esta pesquisa. O quadro 1 apresenta o novo *layout*.

Análise do Tipo e Efeito de Falha - FMEA Otimizada																		
Cod. Peça: _____		Nome da Peça: <u>Eixo acoplamento</u>				Descrição do Produto:				O: Ocorrências		Responsável: _____						
Data: ____/____/____		Descrição do Processo:				S: Severidade		D: Detecção		_____		_____						
Folha N° ____ da Verificação N° ____						NPR: Nível de prioridade relativa												
Modo de Potencial Falha	Nível Projeto					Nível Processo					Nível Produto	Ações de Melhoria Recomendadas						
	Potencial Origem da Falha	Potenciais Causas da Falha	Índices				Potencial Origem da Falha Provinda de Projeto	Potenciais Causas da Falha	Índices				Variáveis de Controle Processo	NPRv	Resultado Falha	Nível Projeto	Nível Processo	Nível Variáveis
			O	S	D	NPR			O	S	D	NPR						

Quadro 1 – *Layout* proposto pelo modelo teórico-conceitual expandido da FMEA
 Fonte: Os autores (2013).

Com base no novo *layout*, necessitou-se o desenvolvimento de uma nova sistemática para seu preenchimento com os dados do produto (peça) e seus respectivos processos de produção. Tal sistemática é composta e norteada por respostas provindas de uma série de questionamentos, sendo cada pergunta diretamente ligada a cada campo da estrutura expandida.

São os questionamentos devidamente vinculados a cada campo:

Nível de Projeto:

1. *Potencial Origem da Falha Provinda de Projeto:* Quais as características (falhas e causas de falhas provindas do projeto) que pode gerar falhas em nível de processo?
2. *Potenciais Causas da Falha:* Quais as causas que podem ter dado origem às falhas no processo, provenientes do nível de projeto?
3. Quais as causas que podem ter dado origem a esta falha no projeto?

Nível de Processo:

1. *Modos de Potencial Falha:* Qual a falha identificada para o produto em análise?
2. *Potencial Origem da Falha:* O que pode gerar esta falha em nível de projeto?

Variáveis de Controle – Processo sobre Produto: Quais as variáveis de processo que monitoram as características geradoras das possíveis falhas de processo? Sendo estas as que refletirão na qualidade final do produto.

Nível de Produto:

1. *Resultado da Falha:* Que tipo de falhas no produto final pode surgir devido ao mapeamento de potenciais falhas em níveis de projeto e processo?

Ações de Melhoria Recomendadas:

Nível de Projeto: Quais ações devem ser tomadas em nível de projeto para o "amortecimento" das potências falhas?

Nível de Processo: Quais ações devem ser tomadas em nível de processo para o "amortecimento" das potências falhas?

Nível de Variáveis: Quais ações devem ser tomadas sobre as variáveis de monitoramento e controle para o "amortecimento" ou mesmo eliminação das falhas?

A sistemática de questionamentos para o preenchimento da estrutura expandida, não contempla o preenchimento dos índices "S" – Severidade, "O" – Ocorrências e "D" – Detecção. Tais índices serão preenchidos de acordo com a realidade da falha em análise, com base numa escala de valores variando de 1 a 10. Este intervalo de valores foi estabelecido com base no manual de referência de Moura (2000), que vincula uma sentença qualitativa a cada valor dentro deste intervalo.

As sentenças e seus respectivos valores vêm expostos nos quadros 2, 3 e 4.

Índice "S" – Severidade	
Valor	Situação
1	Não gera risco à integridade da qualidade do produto final.
2	Gera um risco muito baixo à integridade da qualidade do produto final.
3	Gera um risco baixo à integridade da qualidade do produto final.
de 4 a 6	Gera um risco moderado à integridade da qualidade do produto final.
de 7 a 8	Gera um risco alto à integridade da qualidade do produto final.
de 9 a 10	Afeta gravemente a integridade da qualidade do produto final.

Quadro 2 – Sentenças e valores para o índice de Severidade "S".
Fonte: Adaptado de Moura (2000).

Índice "O" – Ocorrência	
Valor	Situação
1	Não existe probabilidade de ocorrência da falha.
2	Existe uma probabilidade muito baixa de ocorrência da falha.
3	Existe uma probabilidade baixa de ocorrência da falha.
de 4 a 6	Existe uma probabilidade moderada de ocorrência da falha.
de 7 a 8	Existe uma probabilidade alta de ocorrência da falha.
de 9 a 10	A falha ocorre de fato.

Quadro 3 – Sentenças e valores para o índice de Ocorrência "O".
Fonte: Adaptado de Moura (2000).

Índice "D" – Detecção	
Valor	Situação
Probabilidade de uma falha ser identificada antes do controle e processo subsequentes, ou ainda, antes que o produto deixe o local de manufatura ou montagem.	
1	Probabilidade de ocorrência: Quase certamente
2	Probabilidade de ocorrência: Muito alta

3	Probabilidade de ocorrência: Alta
4	Probabilidade de ocorrência: Moderadamente alta
5	Probabilidade de ocorrência: Moderada
6	Probabilidade de ocorrência: Baixa
7	Probabilidade de ocorrência: Muito baixa
8	Probabilidade de ocorrência: Remota
9	Probabilidade de ocorrência: Muito remota
10	Probabilidade de ocorrência: Quase impossível

Quadro 4 – Sentenças e valores para o índice se Detecção “D”.
 Fonte: Adaptado de Moura (2000).

Nesta etapa, ainda tem-se o índice resultante “NPR” – Nível de Prioridade Relativa, para cada nível. O NPR trata-se do valor resultante da multiplicação entre os três índices anteriores. Será este índice resultante, que demonstrará e estabelecerá o nível de importância das Potenciais Causas da Falha em análise, direcionando a análise e posterior tomada de ações especificamente para os problemas raiz.

Uma vez tendo os NPRs calculados para as potenciais causas de falha nos dois primeiros níveis de produção, consegue-se obter o “NPRv” – Nível de Importância Relativa da Variável. Este índice é construído através da somatória entre os NPRs dos níveis de Projeto e Processo.

Cada variável elencada na estrutura de análise é condizente às potenciais causas das falhas nos níveis de projeto e processo, ou seja, as variáveis elencadas no nível de “Variáveis de Controle Processo sobre Produto”, tratam-se das variáveis que monitoram a característica diretamente ligada às potenciais causas das falhas do modo de falha em análise. Tais variáveis são exatamente as variáveis de monitoramento e controle da qualidade do processo, das quais refletem diretamente sobre a qualidade do produto final.

Partindo dos valores obtidos pelo NPRv, consegue-se identificar quais variáveis são mais relevantes para o modo de falha em análise. É neste momento que a característica adicional do modelo expandido da FMEA proposto por esta pesquisa se destaca, como sendo também uma seletora de variáveis críticas do monitoramento e controle da qualidade do processo/produto.

Entretanto, a seleção de variáveis realizada pela proposta desta pesquisa, já vem sendo realizada desde o momento em que são preenchidos os campos da nova estrutura da FMEA proposta, de maneira que as variáveis elencadas para análise de um modo de falha pontual são somente às variáveis capazes de mensurar as possíveis causas desta falha.

Ou seja, o modo de falha em análise provém do universo de determinado produto, contendo este, teoricamente, mais do que um único modo de falha. Entende-se assim que o conjunto do qual contém todas as variáveis de monitoramento e controle de variáveis deste produto possui um tamanho j . Uma vez lançadas na estrutura da FMEA expandida, gera-se automaticamente um subconjunto de variáveis p , sendo este $p < j$. Entretanto o subconjunto p trata-se das variáveis elencadas para um pontual modo de falha e, não ainda, as variáveis críticas para aquele modo de falha.

Assim, de posse dos NPRv consegue-se identificar as variáveis de maior valor e/ou de maior importância, sendo estas críticas à qualidade final do produto se não monitoradas de forma mais efetiva. Com isto forma-se então um terceiro subconjunto de variáveis c , onde $c < p < j$. Ou seja, a nebulosidade das informações geradas pelas variáveis do conjunto j , como citada por Covões (2011), começa a ser diminuída, uma vez que a quantidade de informações

começa a ser reduzida.

Repetindo estes processos a todos os modos de falhas possíveis e analisados de determinado produto, obtêm-se os subconjuntos c_i destes modos de falhas. Da união destes c_i obtém-se o subconjunto c de variáveis críticas da qualidade do produto em questão. Desta forma, identificado o subconjunto c de variáveis críticas, a estratégia de ações a serem efetuadas sobre o monitoramento e controle destas, pode ser construída e estabelecida através de sua descrição no campo “Ações de Melhoria Recomendadas” no “Nível Variáveis”, dando assim o *link* para o segundo ciclo de análise dos modos de falhas do produto em questão.

Vale salientar que em determinadas situações, o subconjunto c de variáveis críticas pode se alterar em número de variáveis, como também as próprias variáveis podem ser diferentes. Estas possíveis alterações nos ciclos subsequentes de análises pode ser gerado por diversos fatores, como por exemplo, mudanças nas especificações do produto, entre outras.

Ainda, ligada à seleção de variáveis, a sistemática para esta utilizada pela proposta da FMEA expandida, consegue atender o estabelecimento de uma ordem hierárquica das variáveis de acordo com seus níveis de importância sobre a qualidade do processo/produto, como citado por Guyon e Elisseeff (2003).

Para que a proposta pudesse ser testada, esta foi aplicada sobre os dados de um modo de falha de um produto produzido pela empresa “Alpha”, sendo este produto um eixo de acoplamento para determinada seção de transmissão de um veículo automotor.

4. Teste do modelo teórico-conceitual da FMEA expandida

O teste da ferramenta foi realizado sobre o estudo de um modo de falha provindo do processo de retificação cilíndrica do eixo de acoplamento supracitado. Assim, respondendo à sistemática de questionamentos para o preenchimento da estrutura expandida da FMEA e elencado os índices de acordo com a realidade do processo, obteve-se a FMEA expandida para o modo de potencial falha analisado exposta pelo quadro 5.

Tendo a estrutura da FMEA expandida preenchida para o modo de potencial falha, neste caso, a extrapolação das medidas e tolerâncias do diâmetro do eixo e seus respectivos índices, foi possível obter os valores de NPRs desejados para análise.

Através destes índices, foi possível apontar para a Potencial Origem do modo de falha em análise, a principal Potencial Causa da Falha, sendo esta causa gerada por informações incorretas providas do cliente, neste caso. Esta foi detectada então, em nível hierárquico de importância, por um NPR de 12 pontos, sendo a principal Potencial Causa de Falha para o nível de projeto.

Na sequência, identificou-se a Potencial Origem da Falha Provinda de Projeto, tratando-se esta do efeito sobre o processo da Potencial Origem da Falha em nível de projeto. Da mesma forma que em nível de projeto, foram elencados os índices e obtidos os NPRs, onde com um valor NPR de 12 pontos novamente, a principal Potencial Causa da Falha em nível de processo, está vinculada à máquinas desreguladas em função de setup errado.

No nível adiante, de variáveis, elencou-se na estrutura da FMEA expandida qual(is) variável(eis) são capazes de mensurar o modo de falha em análise em todos os níveis de produção (projeto e processo). Neste caso, seguindo a análise das principais Potenciais Causas da Falha nos níveis de projeto e processo que, coincidentemente, foram em ordem hierárquica as primeiras em relação às Potenciais Origem da Falha dos níveis ante sequentes, obteve-se um NPRv de 24 pontos para a variável Diâmetro ao longo da peça, colocando-a hierarquicamente no topo da lista das variáveis do subconjunto c de variáveis críticas em relação a este modo de falha.

Análise do Tipo e Efeito de Falha - FMEA Otimizada																		
Cod. Peça: _____			Descrição do Produto: <u>Eixo de acoplamento em aço 1020.</u>				O: Ocorrências			Responsável: _____								
Nome da Peça: <u>Eixo acoplamento</u>			Descrição do Processo: <u>Retificação cilíndrica do diâmetro.</u>				S: Severidade											
Data: ____/____/____							D: Detecção											
Folha Nº ____ da Verificação Nº ____							NPR: Nível de prioridade relativa											
Modo de Potencial Falha	Nível Projeto				Nível Processo				Nível Produto		Ações de Melhoria Recomendadas							
	Potencial Origem da Falha	Potenciais Causas da Falha	Índices				Potencial Origem da Falha Provida de Projeto	Potenciais Causas da Falha	Índices				Variáveis de Controle Processo sobre Produto	NPRv	Resultado Falha	Nível Projeto	Nível Processo	Nível Variáveis
			O	S	D	NPR			O	S	D	NPR						
Estrapolação (±) das medidas e tolerâncias do diâmetro especificado.	Erro na expressão das medidas e tolerâncias no desenvolvimento computacional do projeto da peça.	Informações incorretas providas do cliente.	1	3	4	12	Setup incorreto dos equipamentos utilizados no processo com base nos dados imprecisos providos do projeto.	Máquina desregulada em função de <i>setup</i> errôneo.	1	3	4	12	Diâmetro ao longo da peça.	24	Peças não-conformes. Diâmetros fora de especificação; Peças não montam nos rolamentos.	Verificação das especificações técnicas providas do cliente. Verificação e correção dos erros identificados no desenvolvimento técnico/gráfico da peça.	Revisão do fluxo e especificações técnicas de processo.	Aumento da frequência de tomada de dados no subconjunto de variáveis com > NPRv.
		Erro no desenvolvimento técnico e gráfico da peça.	2	3	1	6		Utilização de rebolo não apropriado para retificação exigida.	2	3	1	6	Nível de rugosidade.	12				
		Erro na interpretação das especificações técnicas	1	6	2	12		Equipamentos ajustados (regulados) fora das especificações técnicas exigidas e/ou descalibrados.	1	5	2	10	Existência de raio na superfície retificada.	22				
		Falta de clareza nas especificações de acabamentos secundários.	1	3	1	3		Não realização dos acabamentos secundários.	1	2	1	2	Ângulo incorreto de acabamento das arestas.	5				

Quadro 5 – Aplicação da proposta de FMEA expandida
 Fonte: Os Autores.

Seguindo a interpretação do teste da ferramenta, a segunda variável crítica de maior importância hierárquica, somando um total NPRv de 22 pontos, trata-se da variáveis Existência de raio na superfície retificada, tornando-se está crítica, em função das Potenciais Causas da Falha dos níveis ante sequentes. Desta forma, temos que o subconjunto c de variáveis críticas é composto pelas variáveis: Diâmetro ao longo da peça e Existência de raio na superfície retificada.

Entretanto, para que se tivesse certeza de que as variáveis apontadas pela FMEA expandida fossem de fato as variáveis críticas em relação a este modo de falha, estas foram comparadas à situação de aplicação do eixo analisado, tal que, esta peça não permite diferenças maiores do que 0,002mm ao longo de seu diâmetro, como também um raio maior do que 0°, em função da montagem de rolamentos em sua sessão longitudinal.

Por fim, no que tange ao nível de produto, neste caso de modo de falha, somente seria possível identificar o efeito deste sobre a qualidade do produto final. Neste caso, a sentença seria: Peça não conforme. Diâmetros fora de especificações. Peça não monta nos rolamentos. Ou seja, a peça em caso de diâmetros abaixo dos especificados e da tolerância seria rejeitada, e em casos de diâmetro maiores, geraria retrabalhos, prevalecendo então o modo de falha sobre a qualidade final do produto.

5. Considerações finais

De forma geral, o modelo teórico-conceitual da ferramenta FMEA expandida objetivou gerar uma estrutura da qual pudessem ser visualizadas as relações existentes entre determinado modo de falha global, e sua decomposição nos três principais níveis de produção de um produto (os níveis de projeto, processo e produto), como também as variáveis de monitoramento e controlem da qualidade do produto em foco.

Tal visualização foi possível através do desmembramento completo e detalhado de um determinado modo de falha, buscando suas causas raízes de origem, como também as variáveis críticas de processo capazes de mensurar as causas, para que estas sejam então priorizadas e monitoradas de forma mais intensiva, buscando a diminuição do modo de falha, ou até mesmo sua eliminação.

Desta forma, pôde-se constatar que através da análise dos potenciais modos de falha e da vinculação das variáveis de processo capazes de mensurar e controlar a qualidade do processo, em função da prevenção da ocorrência destes modos de falha, se faz possível elencar quais destas variáveis necessitam maior prudência, otimizando desta forma o processo de monitoramento e controle da qualidade do processo e produto em questão.

Além da função adicional de seletora de variáveis, esta proposta expandida da ferramenta FMEA, buscou pela otimização da própria análise, tornando-a mais pontual, detalhada e efetiva em termos extensão de análise, tomando uma sequencia única de análise desde o nível de projeto até o resultado sobre a qualidade do produto final, sendo isso possível de apresentação e análise em um único documento, ao contrário de vários documentos dos quais os modelos atuais de FMEA propõem.

Referências

COVÕES, T. F.; HRUSCHKA, E.R. *Towards improving cluster-based feature selection with a simplified silhouette filter*. Information Sciences, v. 181, p. 3766-3782, 2011.

ROSSINI, K. *Seleção de variáveis no desenvolvimento, classificação e predição de produtos*. 2011. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Poro Alegre – RS, 2011.

- GUYON, I., ELISSEEFF, A.** *An introduction to variable and feature selection.* Journal of Machine Learning Research, v.3, p.1157–1182, 2003.
- REUNANEN, J.** *Overfitting in Making Comparisons Between Variable Selection Methods.* J. Mach. Learn. Res., v. 3, p. 1371-1382, 2003.
- TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C.** *FMEA - Análise de Modo e Efeito de Falhas: conceitos básicos, método e aplicação.* (Apostila), 2004.
- SAVIOTTI, C.; URYAN, A.** *Métodos QFD e FMEA para o desenvolvimento de novo produto - conceituação e estudo de caso.* Exacta, v. 9, n. 1, 2011, pp. 29-40.
- FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G.** *Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA.* Revista Gestão & Produção, v. 13, n. 2, 2006, pp. 245-259.
- CHRYSLER CORPORATION; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION.** *Análise de modo e efeito de falha potencial, FMEA, manual de referência.* São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 2000, 44 p.
- PUENTE, J. et al.** *A decision support system for applying failure mode and effects analysis.* The International Journal of Quality & Reliability Management, v. 19, 2002, pp.137-150.
- STAMATIS, D. H.** *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution.* 2. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003. 494 p.
- MIGUEL, P. A. C. et al.** *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.* 2ª ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2012. 260p.