



Uma revisão na literatura sobre métodos FMEA aplicados na avaliação de impactos ambientais

Fabio Puglieri (EESC - USP) puglieri@usp.br

Aldo Roberto Ometto (EESC- USP) aometto@sc.usp.br

Resumo: Este artigo se propõe em apresentar uma revisão na literatura em FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) aplicados à adequação ambiental para servir de base para novos estudos ou mesmo na elaboração de um novo método FMEA ambiental. Para isto, foram estudados quatro diferentes artigos abordando o método, trazendo comparações e análises críticas quanto à aplicabilidade como ferramentas de DfE.

Palavras-chave: FMEA ambiental; Design for Environment; Gestão Ambiental.

1. Introdução

Para ROZENFELD et al. (2006), o desenvolvimento de produtos pode ser considerado um processo de negócio cada vez mais crítico para o sucesso das empresas, principalmente devido à crescente internacionalização dos mercados, aumento da diversidade e redução do ciclo de vida dos produtos.

O interesse dos clientes e usuários está aumentando em relação aos aspectos e impactos ambientais dos produtos (NBR ISO 14062, 2004). HARRINGTON e KNIGHT (2001) enumeram também outras questões ambientais importantes para o sucesso das empresas, como melhoria na eficiência do processo, melhoria na imagem pública, reduções de custos e melhor acesso ao capital. Desta maneira, diversos métodos de adequação ambiental de produtos estão sendo desenvolvidos por pesquisadores, universidades e empresas. Este conjunto de métodos integra o termo conhecido com DfE (Design for Environment) ou em português, Projeto para o Meio Ambiente. O DfE pode ser definido como uma abordagem de desenvolvimento de produtos que visa reduzir os impactos ambientais do produto em todas suas fases do ciclo de vida.

Uma destas metodologias de DfE é o FMEA, ou análise de modos e efeitos de falha. Diante da publicação de materiais sobre o assunto nos últimos anos, verificou-se a necessidade de estudar como o FMEA tem sido adaptado para a adequação ambiental de produtos e processos e qual a possibilidade de sua aplicação em empresas de pequeno, médio e grande porte.

Desta forma, o objetivo deste artigo é apresentar diversos métodos de FMEA ambientais publicados em periódicos e congressos nacionais e internacionais, e analisá-los quanto à aplicabilidade no desenvolvimento de produtos. Este artigo trata de um levantamento preliminar que servirá de alicerce para a elaboração de uma dissertação de mestrado.

2. Procedimentos Metodológicos

Do ponto de vista da abordagem do problema, este artigo apresenta uma pesquisa qualitativa, e sob o ponto de vista dos objetivos pode ser classificada como exploratória, pois objetiva tornar o problema mais familiar e construir hipóteses. Para tal, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bases de dados da Internet sobre artigos científicos publicados em periódicos sobre a temática FMEA, buscando adquirir mais informações deste método em



aplicações dirigidas a melhoria ambiental.

3. FMEA tradicional

Utilizado com maior intensidade na indústria automobilística a partir da década de 70, o FMEA pode ser definido como “uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise de falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo.” (TOLEDO e AMARAL, 2006). Ou seja, em outras palavras podemos dizer que o FMEA busca aumentar a confiabilidade, definida por SLACK et al. (2002) como a capacidade de um produto ter um desempenho esperado em um determinado intervalo de tempo, reduzindo então a probabilidade que falhas ocorram, sendo estas responsáveis por insatisfação do consumidor, e até em casos mais severos, acidentes que colocam em risco a vida do usuário.

O FMEA pode ser aplicado tanto ao desenvolvimento de produtos, quanto ao processo, sendo as etapas de aplicação exatamente iguais, alterando-se apenas os objetivos. Deste modo, é possível se classificar o FMEA de produto como uma ferramenta que evita que falhas ocorram no produto decorrentes da fase de projeto, enquanto que o FMEA de processo busca evitar que falhas ocorram na fase de processo com base nas especificações de projeto.

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)													
Código Peça: ABX4508 Nome da Peça: Pastilha de freio Data: 12/05/2008 Folha: 1/1						<input checked="" type="checkbox"/> FMEA de Produto <input type="checkbox"/> FMEA de Processo							
Descrição	Função	Tipo de	Efeito da	Causa da	Controles	Índices				Ações de Melhoria			
Produto/Processo	produto	Falha	Falha	Falha	Atuais	S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	Índices Atuais
Pastilha de freio do VW GOL 1.0	Permitir a frenagem do veículo	Desgaste acelerado	Acidente/ Colisão do veículo	MP de qualidade inferior	Controle de qualidade realizado pelo fornecedor	10	2	9	180	Busca por novos fornecedores de MP	A. Silva 01/06/2008		

FIGURA 1 – Exemplo de aplicação do FMEA de produto. Fonte: adaptado Toledo e Amaral (2006)

Na figura 1 foi realizado um exemplo de como é aplicado o FMEA de produto. Sua aplicação inicia primeiramente com o planejamento das atividades, que consiste em identificar quais produtos ou processos que serão analisados, formação de equipes pequenas e multidisciplinares, planejamento de reuniões e a preparação da documentação necessária, tais como desenhos, listas de peças, FMEAs anteriores, estatísticas de falhas, etc. (TOLEDO e AMARAL, 2006).

Realizado o planejamento das atividades, a tabela do FMEA deve ser preenchida com as informações a respeito do produto/ processo, como código e nome, assim como a data em que foi feita a aplicação.

As primeiras seis colunas da tabela correspondem sequencialmente a descrição do produto ou processo, a função do produto, ao tipo de falha que está sujeito, ao efeito que a falha pode resultar, a causa da falha, e aos controles atualmente adotados pela empresa para que não ocorram.

Os critérios S, O e D são simplificações dos nomes “severidade”, “ocorrência” e “detecção”, isto é, respectivamente se trata do grau de perigo da falha, a frequência que ocorre e a dificuldade de se observar que a falha está presente em um determinado produto ou processo.

Cada critério recebe um índice numérico que varia entre 1 e 10, conforme anexo A. A multiplicação de cada um destes índices determina o valor de R “risco”, que permite priorizar



ações de melhoria do maior valor para o menor.

Estas ações devem ser descritas, assim como o responsável e o prazo para a implementação. Implantadas as medidas, o FMEA poderá ser aplicado novamente com o objetivo de acompanhar se o risco realmente foi reduzido.

4. Métodos FMEA Ambientais

Através da pesquisa bibliográfica realizada, foram encontrados 4 artigos relacionados a FMEAs ambientais, distribuídos em 2 aplicados ao desenvolvimento de produtos (E-FMEA e o método de Yen e Chen), e outros dois aplicados em processo (Andrade e Turrioni, e Zambrano e Martins).

Por questão de didática, os exemplos de FMEA são apresentados a seguir respeitando a ordem cronológica de publicação.

4.1 E-FMEA

O E-FMEA, conhecido como *Environmental Failure Mode and Effect Analysis*, foi desenvolvido por uma agência de consultoria da Suécia e é apresentado como uma metodologia de DfE para o processo de desenvolvimento de produtos (LINDAHL, 1999).

Este método é uma modificação do FMEA tradicional, mas que ao invés de enfatizar nos riscos de falhas potenciais, sua ênfase está nos aspectos ambientais. O objetivo do E-FMEA é então permitir que melhorias ambientais possam ser realizadas nos produtos logo nas suas primeiras etapas de projeto, identificando e avaliando impactos ambientais potenciais em todas as fases do ciclo de vida do produto (LINDAHL, 2000).

E-FMEA (Environmental FMEA Design)															
Produto				Data		Responsável				Projeto					
Máquina Lava-Roupas				9/8/1999		C.Jonson				XYZ-001					
Características Ambientais					Índices				Ações de Melhoria						
Nº	Fase do CV	Atividade	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	S	I	A	EPN/F	Recomendações	Decisões Tomadas	S	I	A	EPN/F	Dept./Ass.
	Produção	Limpar e pintar o gabinete	Emissões na atmosfera	Redução da camada de ozônio	2	1	2	5/3	Verificar a possibilidade de gabinete pré-pintado						
	Uso	Uso de detergentes	Lançamento no meio aquático	Eutrofização	1	2	1	4/3							
	Descarte	Desmontagem de componentes eletrônicos	Contaminação do solo com materiais tóxicos	Toxicidade	3	2	2	7/8	Os componentes plásticos contém materiais tóxicos?						

FIGURA 2 – Exemplo de E-FMEA. Fonte: adaptado Lindahl (2000)

Como pode ser observado no formulário do E-FMEA na figura 2, o primeiro passo da aplicação deste método consiste em identificar as fases do ciclo de vida (CV) e todas as atividades conectadas a esta fase, como produção, uso, transporte, etc.

O passo seguinte é a identificação dos aspectos ambientais envolvidos, tais como emissões atmosféricas ou contaminação do solo, e logo em seguida os impactos ambientais (efeito estufa, redução da camada de ozônio, etc).

Diferentemente do FMEA tradicional, os critérios de atribuição de pesos são diferentes neste método. Os três critérios apresentados são: S = controle de documentos, I = imagem pública e A = consequências ambientais. Cada um deles recebe um índice numérico variando de 1 a 3, cuja soma resulta no Número de Prioridade Ambiental (sigla EPN). O critério F que é mostrado ao lado do EPN significa a possibilidade de melhoria ambiental. Para ele é



designado um valor entre 1 a 9, sendo o número menor (1) quando não há nenhuma possibilidade de melhoria e o maior (9) quando as possibilidades de melhoria são muito boas. Na atribuição de índice para o critério F, devem-se considerar esforços em tempo, custo e necessidades técnicas.

O último passo do E-FMEA é a recomendação de ações, que servirão de base para que decisões sejam tomadas. Implantadas estas decisões, o E-FMEA poderá ser aplicado sucessivas vezes a fim de diminuir o índice EPN.

4.2 Andrade e Turrioni (2000)

ANDRADE e TURRIONI (2000) descreveram uma sistemática FMEA para análise de riscos ambientais, onde foi realizado um estudo de caso no processo de consumo e abastecimento de água.

Os autores descreveram uma seqüência de 12 passos para auxiliar na aplicação deste FMEA, juntamente com um exemplo, como está apresentado abaixo:

FMEA Nº 01 DATA FMEA 09/03/2000			Coordenador: WWP Equipe: BGN / MKL / FTT / SAT							Pág: 01 de 01 Revisão: 01					
PROCESSO	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	G	CAUSA POTENCIAL	O	FORMA ATUAL DE CONTROLE	D	IRA	AÇÃO RECOMENDADA	RESPONS./ DATA PREVISTA	RESULTADOS				
											AÇÕES REALIZADAS	G	O	D	IRA
Utilização da água dos poços artesanais	Utilização imprópria para o consumo humano	Comprometimento da saúde	5	Falta de identificação das tubulações de água potável	3	Não existe	10	150	Identificação das tubulações de água	ODQ 04/04/2000	Tubulações foram identificadas	5	1	2	10
	Comprometimento das nascentes	Escassez de água	9	Consumo indiscriminado	1	Verificação mensal do consumo	1	9	Programa de conscientização para o uso da água	FTT 10/05/2000					
Utilização da água potável	Vazamento nas tubulações	Uso dos recursos naturais	6	Falhas de manutenção	2	Manutenção e inspeção visual	5	60	Informar vazamento à manutenção						

FIGURA 3 – Estudo do consumo e abastecimento de água. Fonte: adaptado Andrade e Turrioni (2000)

Antes de iniciar o FMEA da figura 3, o primeiro passo para aplicação do método proposto consiste em definir a equipe responsável, e esta deve ser preferencialmente multidisciplinar, assim como os itens do Sistema de Gestão Ambiental que serão considerados, ou seja, o escopo da avaliação de risco ambiental.

O próximo passo sugerido pelo método é a preparação prévia para coleta de dados, que consiste na “(...) elaboração de uma listagem ampla, embora não exaustiva, dos elementos que podem auxiliar a organização na identificação de seus aspectos ambientais” (ANDRADE e TURRIONI, 2000). Também é proposto realizar uma pré-filtragem dos aspectos ambientais mais importantes.

Já relacionada diretamente ao FMEA, a primeira atividade consiste na identificação do processo ou função. Em seguida, deve ser feita a identificação dos aspectos e impactos ambientais relacionados ao processo ou função descritos anteriormente.

Antes de iniciar a determinação dos índices de G, O, D e IRA, é importante identificar a causa potencial das falhas e caso exista uma forma de controle já aplicada, preencher o campo destinado a esta informação.

O critério G corresponde a “Gravidade do Impacto”, sendo que seus índices numéricos podem variar de “1” a “2”, quando o impacto no meio ambiente é praticamente inexistente, até “9” ou “10”, quando há sérios impactos ambientais sobre o meio ambiente.

Com relação ao critério O de “Ocorrência da causa”, os índices variam de “1” a “2” quando é altamente improvável sua ocorrência (algo em torno de 1:1.000.000), até “9” ou “10”, quando é muito alta (aproximadamente 1:2).

Já o critério D, originado de “Detecção”, pode ter valores mínimos de “1” a “2” quando os impactos forem certamente detectados, ou valores máximos entre “9” a “10”, quando não são possíveis de serem detectados.

Através da multiplicação dos critérios G, O e D, chega-se no índice IRA, que mede o risco ambiental daquela função ou processo. Para os IRAs com valores mais altos, ações deverão ser recomendadas e depois de implantadas, o FMEA deverá ser novamente aplicado com objetivo que o risco ambiental foi minimizado, conforme é apresentado na figura 3.

4.3 Yen e Chen (2005)

O FMEA elaborado por estes dois pesquisadores de Taiwan considerou a integração de uma matriz de relação ao método a fim de auxiliar no processo de recomendações e tomada de decisão no desenvolvimento de produtos sustentáveis.

As intensidades destas relações são definidas através de símbolos, conforme a figura abaixo:

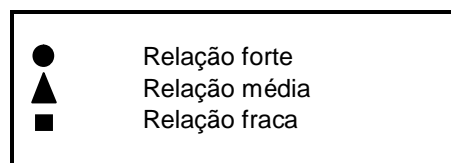


FIGURA 4 – Diagrama de relação

Da mesma forma observada nos métodos anteriores, a aplicação neste caso também é apresentada como uma sequência de passos. A figura abaixo apresenta um exemplo do método para um aspirador a vácuo.

Fase do ciclo de vida	Elementos de eficiência ambiental Falha ambiental		Reduzir a intensidade de material em produtos e serviços	Reduzir a intensidade de energia em produtos e serviços	Reduzir a dispersão de tóxicos	Aumentar a reciclagem de materiais	Maximizar o uso sustentável de recursos renováveis	Estender a durabilidade dos produtos	Aumentar a intensidade de serviços dos produtos	Índices			
										E	C	R	Eco-RPN
	Efeito	Causa											
Uso	Não otimização da funcionalidade dos produtos	Execução difícil	■				■	▲	●	2	3	1	6
	Manutenção incômoda	Limpeza difícil	■					▲	●	2	4	1	8
	Consumo de energia	Baixa eficiência		●						4	3	1	12
	Saúde	Barulho			▲				●	3	4	1	12
		Emissões			●				■	3	3	1	9

FIGURA 5 – Exemplo de aplicação da integração FMEA e Matriz. Fonte: adaptado Yen e Chen (2005)

O passo inicial consiste em identificar as falhas ambientais potenciais (causas e efeitos) para todas as fases do ciclo de vida do produto, que pode ser possível através de



sessões de *brainstorming*.

No momento seguinte deve ser feito a avaliação do índice Eco-RPN, ou número de prioridade de risco ambiental. Este número consiste em multiplicar os índices de três critérios propostos: Impacto ambiental (E), perspectiva do consumidor (C) e cumprimento com as normas (R). Estes índices variam entre “1” e “5”, onde “1” significa baixo impacto ambiental, pouca importância para o consumidor e total conformidade com as normas ambientais; por outro lado, o índice “5” expressa alto impacto ambiental, alta perspectiva para o consumidor e nenhuma conformidade com as normas ambientais. Deste modo, os índices com maior Eco-RPN tem prioridade na tomada de decisão.

4.4 Zambrano e Martins (2007)

Elaborado para avaliar o risco de impactos ambientais em processos produtivos, ZAMBRANO e MARTINS (2007) apresentaram uma metodologia de FMEA onde realizaram estudos de caso em seis pequenas empresas localizadas na cidade de São Carlos (SP), distribuídas entre os setores: alimentício, metal-mecânica, plásticos, têxtil, kits de diagnóstico para exames laboratoriais e marmoraria.

A figura a seguir apresenta uma tabela de FMEA cuja aplicação foi realizada no processo de extrusão de uma empresa de tubos e mangueiras de PVC (plásticos).

Descrição das saídas-função	Tipo	Efeito do impacto ambiental	Causa do impacto ambiental	Controles atuais	S	O	D	A	R	Controles ambientais - Ações recomendadas
Consumo de energia elétrica	R	Utilização de recursos naturais	A energia elétrica é utilizada na operação dos equipamentos		2	3	2	3	36	Melhoria contínua dos processos para minimizar o consumo de energia elétrica
Consumo de água	R	Utilização de recursos naturais	A água é utilizada para resfriar os tubos extrudados	A água é encaminhada para uma estação de tratamento de efluentes e retorna ao processo	2	3	2	2	24	Melhoria contínua dos processos para reduzir o consumo de água
Óleo lubrificante utilizado na extrusora	P	Contaminação do solo ou da água		O óleo lubrificante utilizado é devolvido para o fornecedor.	3	1	1	3	9	
Refugo da extrusora	P	Contaminação do solo		O material é triturado e retorna ao processo	2	1	1	2	4	

FIGURA 6 – Estudo de caso de FMEA numa empresa de plásticos. Fonte: adaptado Zambrano e Martins (2007)

Conforme proposto pelos autores, a primeira atividade a ser realizada é de descrever as entradas e saídas das etapas do processo. No caso da extrusão da empresa de plásticos, teríamos como entradas os insumos, rosca de aço, bucha do cilindro (também de aço), óleo lubrificante, água e energia elétrica. Como saída, material extrudado (tubo ou mangueira), refugo, roscas e buchas utilizadas, óleo lubrificante e água.

Pela figura 6, a primeira coluna consiste em descrever as saídas e suas funções no processo produtivo.



Em “tipo de impacto ambiental”, foram classificados como “R” (real) aqueles impactos que são gerados cotidianamente na empresa e como “P” (potencial) os que possam vir a ocorrer.

O efeito do impacto ambiental descreve os meios envolvidos, que pode ser a água, o solo, o ar ou mesmo o consumo de recursos naturais, enquanto que a causa do impacto ambiental permite explicar como ocorre o impacto ambiental.

Em “controles atuais” devem ser registradas atitudes adotadas pela empresa para impedir que o impacto ocorra, e quando nada é realizado, então a linha fica em branco.

Os critérios “S”, “O”, “D” e “A” indicam respectivamente “severidade”, “ocorrência”, “detecção” e “abrangência”, que variam de “1” a “3” conforme aumenta a severidade e a abrangência, a ocorrência fica mais freqüente e a detecção mais difícil. A multiplicação entre os quatro critérios nos dá o índice “R” de “risco ambiental”, que serve de parâmetro para estabelecer prioridades na tomada de decisão.

A última coluna deste FMEA (controles ambientais – ações recomendadas) é para serem descritas ações necessárias para mitigar os impactos ambientais.

5. Discussões dos Métodos

Como alternativa de análise dos métodos FMEA para aplicação na avaliação de impactos ambientais durante todo ciclo de vida do produto, foram adotadas 7 características desejadas para ferramentas de DfE, de modo que elas possam ser efetivas e eficientes, conforme aponta HAUSCHILD et al. (2005).

As sete características desejadas são colocadas abaixo:

- Simples – o método deve ser fácil de usar;
- Custo razoável – o custo de aquisição e treinamento deve ser razoável;
- Bem definido – o método deve deixar bem claro como é avaliado;
- Objetivo – dois ou mais técnicos devem chegar no mesmo resultado;
- Válido – o método deve medir, indicar e predizer o que pretende;
- Robusto – deve ser insensível a mudanças no âmbito da aplicação;
- Melhora o entendimento e predição – outras ferramentas de suporte e modelos podem promover e auxiliar na predição de processos e parâmetros de produtos.

Métodos FMEA				
Características DfE	E-FMEA	Andrade e Turroni	Yen e Chen	Zambrano e Martins
Simples	x	o	x	o
Custo razoável	o	o	o	o
Bem definido	o	o	o	o
Objetivo	o	o	o	o
Válido	o	x	o	x
Robusto	o	o	o	o
Melhora o entendimento e predição	o	o	o	o

FIGURA 7 – Tabela comparativa entre os métodos



O E-FMEA e o método de Yen e Chen não foram classificados como “simples” na análise de impactos ambientais. As dificuldades encontradas no método E-FMEA podem ser resumidas em: diferenças quando comparadas ao FMEA tradicional, como o índice EPN que é a soma dos três critérios S, I e A; e o não estabelecimento de formas de avaliação de tempo, custo e necessidades técnicas quando deve ser atribuído valor ao índice F, o que pode tornar esta atividade ambígua. Quanto à integração do FMEA à matriz de Yen e Chen, os autores propõem um *checklist* para auxiliar na identificação dos modos, efeitos e causas das falhas ambientais, porém este *checklist* não é apresentado, tornando estas atividades mais demoradas.

Os métodos de FMEA apresentados por Andrade e Turrioni (2000) e Zambrano e Martins (2007) não foram considerados válidos, pois não integram a análise de todas as fases do ciclo de vida do produto, embora se mantenham válidos para a análise ambiental de processos.

Com relação às características como custo, definição, objetividade, robustez e melhoria do entendimento e predição, todos os métodos foram classificados como sendo adequados.

6. Considerações Finais

Os métodos FMEA encontrados apresentaram algumas diferenças quanto à estrutura e formas de aplicação. Nos dois modelos propostos pelos autores internacionais (o E-FMEA e o modelo de YEN e CHEN) na avaliação de impactos ambientais no desenvolvimento de produtos, os critérios tradicionais severidade, ocorrência e detecção foram substituídos por impacto ambiental, imagem pública (ou perspectiva do consumidor) e concordância com normas e documentação, além de considerarem todas as fases do ciclo de vida que os impactos ocorrerão. A falta desta análise “berço ao túmulo” nos métodos de Andrade e Turrioni (2000) e Zambrano e Martins (2007) foi considerada como uma característica negativa para aplicação como ferramenta de DfE.

Uma consideração a ser realizada é no que se refere à aplicabilidade dos modelos propostos. Nos quatro artigos estudados somente um foi aplicado dentro do ambiente empresarial, sendo que os demais partiram de exemplos ilustrativos. Esta questão reforça que os métodos ambientais de eco-design e DfE ainda são pouco utilizados, ficando limitados a algumas poucas e grandes empresas (PIGOSSO e FILHO, 2007)

A integração do FMEA a outros métodos, como à matriz de YEN e CHEN (2005), também se apresentou como uma alternativa de inserir a análise de falhas ambientais em diversas fases do desenvolvimento de produtos, como no levantamento de requisitos de clientes.

Referências

- ANDRADE, M.R.S.; TURRIONI, J.B. *Uma Metodologia de Análise dos Aspectos e Impactos Ambientais Através da Utilização do FMEA*. ENEGEPE, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14062: Gestão Ambiental – Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- HARRINGTON, H.J.; KNIGHT, A. *A Implementação da ISO 14000: como atualizar o SGA com eficácia*. São Paulo: Atlas, 2001.
- HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. *From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives*. Annals of the CIRP 54/2, 2005.
- LINDAHL, M. *E-FMEA – A new promising tool for efficient design for environment*. Proceedings of the 1st International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, EcoDesign 99.



February 1-3, Tokyo, Japan, p. 734-739.

LINDAHL, M. *Environmental Effect Analysis (EEA) – an Approach to Design for Environment*. Royal Institute of Technology, Stockholm, 2000.

PIGOSSO, D.C.A.; FILHO, A.G. *Proposta de roteiros para a sistematização do uso de métodos e ferramentas do ecodesign*. IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Curitiba, 19 a 21 de novembro de 2007.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H. e SCALICE, R.K. *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.

SLACK, N.; CHAMBER, S.; HARDLAND, C.; HARRISON, A. e JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 2002.

TOLEDO, J.C.; AMARAL, D.C. *FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha*. GEPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisas em Qualidade, DEP - UFSCar, 2006.

YEN, S.B.; CHEN, J.L. *An Eco-Innovative Tool by Integrating FMEA and TRIZ Methods*. IEEE, 2005.

ZAMBRANO T.F.; MARTINS, M.F. *Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental*. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 14, n.2, p.295-309, maio-ago. 2007.

**ANEXO A**

Severidade		
Índice	Grau de Severidade	Critério
1	Mínimo	O cliente nem percebe o problema
2	Pequeno	Pequena redução de desempenho e leve descontentamento do cliente
3		
4		
5	Moderado	Deterioração significativa do desempenho e insatisfação do cliente
6		
7		
8	Alto	O produto deixa de operar, causando grande insatisfação no cliente
9		
10	Muito Alto	Idem ao anterior, porém afetando a segurança, podendo levar à morte

Anexo 1: Índices de severidade do FMEA

Ocorrência		
Índice	Probabilidade	Proporção
1	Remota	1:1.000.000
2	Pequena	1:20.000
3		1:4.000
4		1:1.000
5	Moderada	1:400
6		1:80
7		1:40
8	Alta	1:20
9		1:8
10	Muito Alta	1:2

Anexo 2: Índices de ocorrência do FMEA

Detecção		
Índice	Probabilidade	Proporção
1	Muito Grande	Certamente será detectado
2		
3	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
4		
5	Moderada	Provavelmente será detectado
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		
9	Muito Pequena	Certamente não será detectado
10		

Anexo 3: Índices de detecção do FMEA