



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Humanidades
Unidade Acadêmica de Administração e Contabilidade
Coordenação de Estágio Supervisionado

**O USO DO FMEA COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DOS
ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NUMA INDÚSTRIA DE
MICROELETRÔNICA**

LEANDRO NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Campina Grande - 2011

LEANDRO NASCIMENTO DE OLIVEIRA

**O USO DO FMEA COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DOS
ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NUMA INDÚSTRIA DE
MICROELETRÔNICA**

Relatório de Pesquisa apresentado ao curso de Bacharelado em Administração da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial das exigências para obtenção do título de Bacharel em Administração.

Orientador: Prof^ª. Lucia Santana de Freitas, Dr^ª.

Campina Grande – 2011

COMISSÃO DE ESTÁGIO

Membros:

Leandro Nascimento de Oliveira
Aluno

Lucia Santana de Freitas, Doutora
Professora Orientadora

Marielza Barbosa Alves, Mestre
Coordenadora de Estágio Supervisionado

Campina Grande - 2011

LEANDRO NASCIMENTO DE OLIVEIRA

**O USO DO FMEA COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E
IMPACTOS AMBIENTAIS NUMA INDÚSTRIA DE MICROELETRÔNICA**

Relatório aprovado em ____ de _____ de _____

Lucia Santana de Freitas, Doutora
Orientadora

Adriana Salete Dantas de Farias, Mestre
Examinador

Maria de Fátima Martins, Mestre
Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças para conseguir concluir com êxito a caminhada rumo à conclusão do curso de administração. Agradeço a minha esposa Rita de Cássia, por acompanhar com paciência, e me auxiliar nos momentos difíceis que passei durante o período estudos. Agradeço também aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado procurando entender e incentivando-me a perseverar. Agradeço à professora Lucia, que me orientou pacientemente, de forma que eu conseguisse concluir as pesquisas em tempo hábil, com resultados satisfatórios. Agradeço aos amigos Luciano e Tales pelo auxílio e pelo tempo compartilhado durante nossa passagem pela universidade. Por último, agradeço a empresa utilizada no estudo, que concedeu tempo e recursos para que o trabalho fosse realizado e concluído com sucesso.

OLIVEIRA, Leandro Nascimento de. **O uso do FMEA como ferramenta de avaliação dos aspectos e impactos ambientais numa indústria de microeletrônica.** 83 f. Relatório de Pesquisa (Bacharelado em Administração) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.

Resumo

Este relatório baseia-se na aplicação da ferramenta de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA) com o objetivo de identificar os aspectos e impactos ambientais numa indústria de microeletrônica localizada na cidade de Campina Grande – PB. Na fundamentação teórica, mostra-se que existem diversas ferramentas para a realização de trabalhos voltados à gestão ambiental, e que a FMEA pode ser adaptada para este fim, de forma a analisar os pontos em que uma empresa pode causar danos ambientais, e quais medidas devem ser tomadas para mitigar estes danos, sendo então uma ferramenta útil para a avaliação dos impactos ambientais de processos produtivos. Quanto à metodologia utilizada, foi realizada uma pesquisa caracterizada como exploratória e descritiva, utilizando o método de estudo de caso. Os dados foram tratados de forma qualitativa e quantitativa, através dos parâmetros elaborados com o intuito de mensurar os impactos ambientais, para uso com a ferramenta FMEA. Através da aplicação da ferramenta, foi constatado que a empresa estudada realiza o descarte de diversos tipos de resíduos de produtos químicos, eletrônicos, de embalagens e de materiais usados no processo produtivo a partir dos seus dois processos industriais, gerando 13 tipos de aspectos, sendo 6 considerados como de baixa intensidade, 3 de média ou moderada intensidade e 4 de alta intensidade, dentre os quais 2 dos resíduos e impactos potenciais não são eliminados adequadamente, 6 são eliminados parcialmente, e 5 são eliminados totalmente.

Palavras-chave: FMEA. Resíduos. Aspectos Ambientais. Impactos Ambientais. Práticas Ambientais.

OLIVEIRA, Leandro Nascimento de. **The use of FMEA as a tool for evaluating the environmental aspects and impacts in the microelectronics industry.** 83 p. Research Report (Bachelor's degree in Administration) – Federal University of Campina Grande, Paraíba, 2011.

Abstract

This report is based on applying the tool of Analysis of Failure Modes and Effects (FMEA) with the aim of identifying environmental aspects and practices in the microelectronics industry in the city of Campina Grande – PB. In the theory, shows that there are several tools to carry out works related to environmental management, and that the FMEA can be adapted for this purpose in order to analyze the points at which a company may cause environmental damage and what measures should be taken to mitigate these damage, and then a useful tool for assessing the environmental impacts of production processes. Regarding the methodology used, we conducted a survey characterized as exploratory and descriptive, using the case study. The data were treated qualitatively and quantitatively using the parameters established with the purpose of measuring the environmental impacts, for use with the FMEA tool. Through the application of the tool, we found that the studied company performs various types of disposal of waste chemicals, electronics, packaging and materials used in the production process from its two manufacturing processes, generating 13 different topics and 6 considered of low intensity, 3 medium or moderate and 4 high intensity, among which 2 of the waste and potential impacts are not properly eliminated, 6 are eliminated partially, and 5 are eliminated altogether.

Keywords: FMEA. Waste. Environmental Aspects. Environmental Impacts. Environmental Practices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os diversos usos da avaliação de impacto ambiental	20
Figura 2: Fluxograma da análise FMEA	25
Figura 3: Exemplo de Formulário de FMEA	26
Figura 4: Exemplo de parâmetros para determinação do índice de Gravidade (G) ou Severidade (S)	27
Figura 5: Exemplo de parâmetros para determinação do Índice de Ocorrência (O)	28
Figura 6: Exemplo de parâmetros para determinação do Índice de Detecção (D)	28
Figura 7: Exemplo de Ações Recomendadas	29
Figura 8: Exemplo de Aplicação do FMEA em um SGA	31
Figura 9: Diretrizes para classificar o índice de gravidade do impacto	31
Figura 10: Diretrizes para classificar o índice de ocorrência da causa	31
Figura 11: Diretrizes para classificar o índice grau de detecção	32
Figura 12: Aplicações do Método de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA) em diversas áreas/setores	33
Figura 13: Materiais na composição do computador	39
Figura 14: Modelo de tabela da ferramenta FMEA utilizada na pesquisa	45
Figura 15: Critérios para pontuação da Magnitude dos impactos ambientais	46
Figura 16: Critérios para pontuação da Frequência dos impactos ambientais	47
Figura 17: Critérios para pontuação do Volume dos resíduos	47
Figura 18: Etapas do processo produtivo de placas de circuito impresso da Empresa X	50
Figura 19: Etapas do processo produtivo de microcomputadores e microcomputadores portáteis da Empresa X	52
Figura 20: Tabela do FMEA aplicada aos setores de produção da Empresa X	59
Figura 21: Resumo de resíduos, volumes gerados e reciclados, e ações da empresa	68

SUMÁRIO

1	Introdução	9
2	Fundamentação Teórica	13
2.1	Gestão Ambiental Organizacional	13
2.2	Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	19
2.2.1	Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA)	21
2.2.1.1	Modelo de FMEA segundo Bastos (2006).....	26
2.2.1.2	FMEA aplicada à Gestão Ambiental segundo Andrade e Turrioni (2000) e Vandenbrande (1998)	30
2.2.1.3	Aplicações do FMEA	33
2.3	Evolução e Caracterização do Setor	35
2.3.1	O setor de eletroeletrônica e microeletrônica	35
2.3.2	Impactos ambientais do setor de eletroeletrônicos e de microeletrônicos	38
2.3.3	Iniciativas dos setores em relação às questões ambientais	40
3	Metodologia	44
4	Apresentação e Análise dos Resultados	49
4.1	A Empresa	49
4.2	Etapas dos Processos Produtivos e seus respectivos impactos	50
4.3	Avaliação com a Ferramenta FMEA	58
5	Considerações Finais	70
	Referências	74

1 INTRODUÇÃO

A atividade econômica global pode ser dividida em 3 setores: primário, que compreende a agricultura ou o extrativismo, secundário, que compreende a indústria de transformação de bens e terciário, que compreende a prestação de serviços. Por fazer parte do setor secundário, a atividade industrial compreende a transformação da matéria-prima em produtos ou bens para o consumo.

A indústria pode também ser classificada como Indústria de Bens de Produção, que trabalha com a matéria-prima bruta, Indústria de Bens Intermediários, que produz equipamentos para outros tipos de indústrias e Indústria de Bens de Consumo, que produz artigos para o mercado consumidor.

Dentro da indústria de bens intermediários e de bens de consumo, tem-se a indústria eletroeletrônica, que por sua vez, produz insumos e equipamentos eletro-eletrônicos. Segundo Tavares (2001), a indústria eletroeletrônica está aumentando sua participação na economia, estando presente nos serviços, na indústria em geral, nos setores de informática e telecomunicações e nos bens de consumo, os quais necessitam cada vez mais de componentes eletrônicos, à medida que seus produtos evoluem e apresentam funcionalidades mais complexas. A indústria eletroeletrônica, por sua vez, se constitui um complexo eletrônico.

De acordo com Melo (1995), o complexo eletrônico engloba os setores cuja dinâmica é função, principalmente, do avanço da tecnologia microeletrônica, a qual engloba a eletrônica de consumo, informática, telecomunicações e automação industrial, incluindo o próprio setor de componentes eletrônicos. Dessa forma, seus produtos estão inseridos em todas as atividades econômicas e sociais, com difusão sempre crescente, transformando inclusive padrões de produção.

Dentro da produção de equipamentos eletrônicos, tem-se a indústria de equipamentos de informática, que, a partir da década de 70, teve iniciada a produção em grande escala de microcomputadores, que aliada ao desenvolvimento de novos softwares, e da criação de produtos baseados em arquiteturas abertas, ampliou os mercados acessíveis a empresas de menor porte e viabilizou o acesso direto do usuário ao computador. O microcomputador acabou se tornando um misto de equipamento de trabalho e de bem de consumo durável.

No Brasil, a indústria de informática sofreu transformações profundas a partir da década de 90, impulsionada pelas mudanças no padrão de concorrência global, com o fim da

reserva de mercado, e a entrada em vigor da Lei 8.248/91 (nova Lei de Informática) e queda das tarifas de importação. Dessa forma, o Brasil passou a obter uma crescente demanda por equipamentos desta área.

Diante deste contexto econômico, especialmente para países emergentes como o Brasil, as indústrias se vêem obrigadas a melhorar sua capacidade tecnológica, bem como adotar práticas de preservação ambiental e de melhoria do ambiente de trabalho, para enfrentar a concorrência que se apresenta em termos globais e atender a crescente demanda pelos seus produtos.

Segundo Lima (2006), essas mudanças resultam em uma necessidade da empresa mostrar uma imagem positiva, que consiste em ações relacionadas à qualidade dos produtos e serviços prestados, preservação do meio ambiente e melhoria de vida dos funcionários e das comunidades.

Porém, as indústrias deparam-se com um cenário de degradação ambiental crescente, através dos dejetos industriais, da emissão de poluentes atmosféricos e outros fatores que são alimentados principalmente pelo crescimento do processo industrial da indústria eletroeletrônica, em especial, aquela relacionada com a microeletrônica.

O consumo desenfreado dos recursos naturais acabou gerando um impacto em nível global. Conforme Gasi e Ferreira (2006), atualmente cerca de metade dos rios do mundo estão seriamente degradados ou contaminados, o que gera problemas de abastecimento, as concentrações de CO₂ na atmosfera são 30% mais elevadas que no ano de 1750 e mais de 2 bilhões de hectares de solo estão degradados devido à atividade humana, além das questões relativas à poluição dos oceanos e da derrubada de florestas.

Assim, sabe-se que quando o ser humano afeta significativamente no ambiente, também influi indiretamente no local onde vive e no próprio suprimento de matérias-primas. A escassez de água ou sua contaminação afetam o abastecimento e prejudicam a saúde, a erosão do solo e as chuvas ácidas prejudicam a agricultura, a poluição de praias e parques provoca a perda de paisagens e a conseqüente diminuição do turismo, dentre outros problemas.

Neste sentido, a adoção de práticas ambientais se torna imprescindível para a indústria, em especial para a microeletrônica, principalmente voltada para a redução do consumo de matéria-prima, o descarte de materiais após o processo de industrialização, o descarte dos produtos no final do ciclo, dentre outros, de forma a cumprir as exigências da legislação em âmbito federal, estadual ou municipal, diminuir o impacto ambiental de suas atividades,

prestar contas de sua responsabilidade junto a sociedade e meio ambiente de maneira mais proativa.

De acordo com Santos (2010), cada vez mais as empresas tendem a procurar meios para se tornarem “verdes”, tanto no âmbito social quanto para ter um diferencial competitivo, pois a tendência é reduzir energia e emissão de CO₂ de forma a ganhar lucro e ter reconhecimento no mercado, pois atualmente a responsabilidade social é um requisito básico para que uma empresa permaneça no mercado.

Para isso, a indústria deve obter meios e utilizar ferramentas para identificar os aspectos e impactos ambientais inerentes à sua atividade, principalmente para que controle o consumo de matérias-primas, e o descarte de materiais, e adote práticas ambientais no seu processo produtivo.

Diante deste contexto, se levanta o seguinte problema de pesquisa: Quais os aspectos e impactos ambientais de uma indústria de microeletrônica?

O objetivo geral deste trabalho é identificar os aspectos e impactos ambientais numa indústria de microeletrônica. Os objetivos específicos consistem em: a) identificar as etapas do processo produtivo desta indústria, b) levantar os impactos ambientais decorrentes de cada etapa do seu processo produtivo, c) avaliar os impactos ambientais identificados através da ferramenta (FMEA), e d) conhecer as práticas ambientais adotadas pela empresa.

O maior desafio do estudo reside na dificuldade de levantar os aspectos ambientais decorrentes do processo produtivo da indústria, e sua conseqüente avaliação para a tomada de ações de contenção dos problemas observados e adoção de práticas ambientais compatíveis com sua atividade.

A importância do estudo reside no fato de poder auxiliar a empresa estudada a conhecer os impactos ambientais relacionados à sua atividade, de forma que esta possa desenvolver mecanismos de controle destes impactos, assegurando que seu processo atenda às questões ambientais de forma proativa. A importância para a área de gestão ambiental reside na demonstração de uma ferramenta que pode ser aplicada em indústrias de microeletrônica, de forma a agregar um maior conhecimento sobre os problemas ambientais neste tipo de atividade, contribuindo assim para aumentar a base teórica relacionada à gestão ambiental.

Quanto a estrutura deste trabalho, está organizado em 5 capítulos, organizados da seguinte forma: O Capítulo 1 compreende a introdução, que insere o leitor no fenômeno em estudo através de uma apresentação e breve histórico do tema, identificando o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, o desafio, a justificativa do estudo, a importância, a contribuição e a estrutura do trabalho. O Capítulo 2 compreende a fundamentação teórica,

que apresenta as bases teóricas relacionadas à Gestão Ambiental Organizacional, Avaliação de Impacto Ambiental e Evolução e Caracterização do Setor. O Capítulo 3 trata dos aspectos metodológicos, abordando o tipo e fontes de pesquisa, o tratamento dado aos dados coletados, a ferramenta utilizada e o período de realização do estudo, o sujeito e os aspectos operacionais da pesquisa. O Capítulo 4 aborda a apresentação e análise dos resultados, apresentando uma breve descrição da empresa, as etapas dos processos produtivos e seus respectivos aspectos e impactos, e a avaliação com a ferramenta FMEA. Por fim, o Capítulo 5 compreende as considerações finais, onde são apresentadas as conclusões gerais do estudo realizado, bem como algumas propostas de soluções que podem ser implantadas nos processos produtivos da empresa, de forma a contribuir com a redução de impactos ambientais, além de algumas sugestões para futuros trabalhos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão Ambiental Organizacional

Atualmente, as empresas realizam suas atividades em um ambiente dinâmico, o qual exige delas grandes esforços para promover a inovação constante em seus processos e produtos, focando seu desempenho interno, como também desenvolvendo práticas que auxiliem seu desempenho no ambiente externo.

Nesse contexto externo, as empresas acabam se deparando com exigências no âmbito político-legal e global, que, dentre as diversas determinações aplicáveis às atividades das empresas, principalmente àquelas do ramo industrial, exigem um crescente investimento nas questões ambientais, de forma que a empresa utilize-se de práticas corretas perante a legislação definida em seu ambiente de atuação.

Porém, tem-se um quadro em que a economia tende a pressionar as empresas a produzir, utilizando-se cada vez mais dos insumos disponíveis e com a preocupação de atender a demanda dos mercados, paralelo ao uso de mecanismos para superação dos problemas relacionados à produção e uso dos recursos naturais, e ao combate dos efeitos que as etapas produtivas geram no espaço ambiental. Entretanto, esses mecanismos estão muito aquém da real necessidade de proteção ambiental. De acordo com Brown (2002), a economia global atual foi formada por forças de mercado e não por princípios de ecologia, e que infelizmente, ao deixar de refletir os custos totais dos bens e serviços, o mercado presta informações enganosas aos tomadores de decisões econômicas, em todos os níveis; isso acabou criando uma economia fora de sincronia com o meio ambiente, que vem a destruir o ecossistema que dá suporte aos processos produtivos.

Este cenário econômico é aplicado ao contexto mundial, o qual está enfrentando um novo escopo mercadológico que tenta integrar as questões de crescimento e desenvolvimento econômico, com a questão ambiental, os sistemas de gestão ambiental, e o princípio de desenvolvimento sustentável. Atualmente, com o avanço da globalização e a criação de redes mundiais de comunicação, as estruturas de produção e consumo passam por grandes mudanças, o que exige novas formas de perceber, equacionar e resolver problemas, dentre os quais podemos destacar os ambientais.

Segundo Barbieri (2004), com o surgimento dessa necessidade crescente de investimentos na área ambiental, reforçada pelo avanço da conscientização ocorrido em meados da década de 70, as empresas vem desenvolvendo um processo de gestão ambiental de forma a administrar e minimizar os impactos ambientais, o que, segundo Borges (2005), ocorre diante da compreensão de que a solução dos problemas ambientais ultrapassa o alcance do poder público.

Segundo Moretti *et al* (2004) a gestão ambiental consiste em um conjunto de medidas e procedimentos bem definidos e adequadamente aplicados, que visam à redução e controle dos impactos introduzidos por um empreendimento sobre o meio ambiente. Dessa forma, a gestão ambiental auxilia no gerenciamento ambiental de cada instituição, minimizando os problemas ambientais dela advindos, utilizando-se de idéias como a de desenvolvimento sustentável, que consiste na manutenção de capital natural de forma a permitir o bem estar das gerações futuras.

Na gestão ambiental organizacional a participação de todos os indivíduos acaba sendo de extrema importância, sendo ela alcançada por programas de educação ambiental agregados ao processo de implantação e execução do sistema, com o intuito de despertar a participação consciente dos indivíduos, de forma que estes colaborem com sugestões e propostas para ações que permitam a reavaliação contínua do processo.

O termo gestão ambiental organizacional, ou gestão ambiental empresarial, por sua vez, é bastante abrangente. Segundo Aguilar (2009), ele é usado para designar ações ambientais em determinados espaços geográficos e outras modalidades de gestão que incluam aspectos ambientais, podendo ser definida como um conjunto de políticas, programas e práticas administrativas e operacionais que se preocupam com a saúde e a segurança das pessoas e a proteção do meio ambiente através da eliminação ou minimização de impactos e danos ambientais decorrentes do planejamento, implantação, operação, ampliação, realocação ou desativação de empreendimentos ou atividades, incluindo-se todas as fases do ciclo de vida de um produto, sendo a gestão ambiental empresarial voltada para as companhias, corporações, firmas, empresas ou instituições.

Assim, segundo Jabbour *et al* (2009), as empresas tentam responder aos desafios ambientais desenvolvendo esforços na condução de alterações no tipo, na quantidade e na qualidade dos insumos alocados ao seu processo produtivo, criando ou aperfeiçoando seus programas de manutenção de máquinas e equipamentos e também realizando alterações no padrão de desenvolvimento de seus produtos e/ou serviços, além de promover a

conscientização dos seus fornecedores, clientes e funcionários, para que estes desenvolvam práticas e programas que estejam de acordo com a questão ambiental.

Dessa forma, quando a gestão ambiental é incorporada aos processos de uma empresa, acaba proporcionando a capacidade de inserir, em suas práticas, políticas, métodos e objetivos, o respeito ao meio ambiente por meio do atendimento às normas legais, regulamentadoras, e de negócios que ofereçam maior proteção ao meio ambiente.

Para por em prática o conceito de gestão ambiental, ou gestão ambiental organizacional, as empresas podem utilizar-se de várias ferramentas que irão auxiliar na obtenção de resultados condizentes com as boas práticas ambientais. Dessa forma, diversas ferramentas foram desenvolvidas numa perspectiva preventiva, cada uma refletindo a compreensão e os interesses dos respectivos grupos e instituições que os propuseram, dentre as quais pode-se destacar: Minimização de Resíduos, Prevenção à Poluição (ou P2), Produção mais Limpa (ou P+L), Produção Limpa (PL), Ecoeficiência, Química Verde, Ecodesign, Ecologia Industrial, Sistema de Gestão da Qualidade (ou SGA), Avaliação do Ciclo de Vida (ou ACV) e Avaliação de Impactos Ambientais (ou AIA).

A **Minimização de Resíduos** é um conceito que surgiu no final dos anos 1980, formulado pela Agência Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency – Usepa), após avaliar que, apesar dos esforços daquela época para o controle da poluição, o meio ambiente ainda exigia cuidados especiais.

De acordo com Gasi e Ferreira (2006), seu conceito foi introduzido pela Usepa em 1988 como redução na fonte, integrada aos processos, por meio de substituição de matérias-primas, mudanças tecnológicas, boas práticas operacionais e mudanças nos produtos. Inclui-se também no conceito de Minimização de Resíduos a reciclagem fora do processo por uso direto após recuperação dos resíduos.

A **Prevenção à Poluição (P2)** é um conceito que surgiu em meados do ano de 1990, quando foi promulgada a Lei de Prevenção à Poluição, onde foi estabelecida a hierarquia de gerenciamento de resíduos.

Conforme Gasi e Ferreira (2006), o termo Prevenção à Poluição foi definido como redução na fonte, referindo-se a práticas que reduzam a quantidade de substâncias, perigosas ou não, dos poluentes ou contaminantes que entram em fluxos de resíduos ou são liberados no meio ambiente e que reduzam os riscos à saúde e ao próprio meio ambiente. Ainda segundo Gasi e Ferreira (2006), o termo refere-se a práticas que incluam modificações nos equipamentos, tecnologias, processos, procedimentos, produtos, matérias-primas e processos

administrativos, de forma a reduzir a geração de resíduos através da eficiência no uso dos recursos disponíveis.

O conceito de Prevenção à Poluição não inclui a reciclagem fora do processo, e foca principalmente as organizações, sendo empregado principalmente nos Estados Unidos, Canadá, México e Brasil.

A **Produção mais Limpa (P+L ou produção + limpa)**, segundo Gasi e Ferreira (2006), foi um conceito desenvolvido pelo Pnuma no fim da década de 1990, descrevendo um enfoque preventivo da gestão ambiental, refletindo uma mentalidade de produzir com menor impacto, dentro dos limites tecnológicos e econômicos, não se contrapondo ao crescimento e considerando que resíduos são produtos com valor econômico negativo.

Este conceito é mais abrangente que o P2, pois considera o tratamento ao longo do ciclo de vida dos produtos, agregando também o pós consumo, e inclui também as organizações de produção de bens e serviços, sugerindo a melhoria contínua dos processos produtivos. É usado na Europa, Ásia e África, e em países como a Alemanha e o Brasil.

A **Produção Limpa (PL)**, de acordo com Gasi e Ferreira (2006), representa um estágio de excelência para a indústria que deseja aumentar sua responsabilidade social e ambiental, adotando a precaução, a prevenção do resíduo na fonte, a integração total da produção com a análise do ciclo de vida do produto, e a participação democrática com a divulgação dos riscos dos processos e produtos. Segundo Cardoso (2004), a Produção Limpa busca compreender o fluxo dos materiais na sociedade, investigando a cadeia de produtos.

Ainda segundo Cardoso (2004), a Produção Limpa é um conceito que surgiu em meados da década de 1980, através das campanhas do Greenpeace, sendo abordada de uma forma semelhante ao conceito de Produção mais Limpa.

A **Ecoeficiência** teve seu conceito proposto na Suécia, e segundo o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), ela é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas trazendo qualidade de vida, ao mesmo tempo que reduz o impacto ambiental e o consumo de recursos, a um nível equivalente à capacidade de sustentação da terra.

Para realizar o que é proposto em seu conceito, a ecoeficiência baseia-se em elementos como a redução do consumo de materiais e energia com bens e serviços, redução da dispersão de substâncias tóxicas, reciclagem, uso sustentável dos recursos, aumento da durabilidade de produtos e agregação de valor aos bens e serviços.

De acordo com Gasi e Ferreira (2006), a ecoeficiência é, portanto, uma meta a ser atingida, adotando o enfoque preventivo empregado pela Produção mais Limpa e pela Prevenção à Poluição, incluindo preocupações com a viabilidade econômica e a satisfação dos clientes.

A **Química Verde**, de acordo com Prado (2003), é a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas. Portanto, a química verde tem a preocupação do desenvolvimento de tecnologias e processos incapazes de causar poluição.

A química verde baseia-se nos seguintes princípios: A prevenção da geração de resíduos, o projeto de métodos de síntese que maximizem a incorporação de todos os materiais usados no processo no produto final, e que usem e gerem substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade, projetar produtos químicos eficientes, eliminar o uso de substâncias auxiliares, projetar para a eficiência energética, utilização de matérias-primas e insumos renováveis, evitar ou minimizar a preparação de derivados desnecessários, desenvolver e empregar reagentes catalíticos tão seletivos quanto possível, projetar produtos químicos que se degradem quando completarem suas funções, desenvolver metodologias analíticas para monitoramento dos processos em tempo real e selecionar substâncias e suas formas para uso em processos químicos de forma a minimizar o potencial de acidentes químicos.

O **Ecodesign**, segundo Nascimento e Venzke (2006) *apud* Peneda e Frazão (1994) é definido como o desenvolvimento ambiental consciente do produto, em que há a inserção da preocupação ambiental no seu processo de desenvolvimento. Dessa forma, para a criação do produto levam-se em conta atributos como eficiência, qualidade, funcionalidade, estética, custo e ergonomia, aplicadas às fases de pré-produção, produção, distribuição, uso do produto ou serviço e descarte ou reutilização.

A **Ecologia Industrial** por sua vez possui conceitos desenvolvidos desde a década de 1970. De acordo com Gasi e Ferreira (2006), os conceitos de ecologia industrial estão direcionados ao estudo do relacionamento entre sistemas industriais e atividades econômicas com os sistemas naturais. Assim, a ecologia industrial teria como objetivo copiar um ecossistema natural de forma a obter o maior nível de reciclagem dentro do ecossistema industrial, economizando recursos e prevenindo a poluição.

De acordo com a ABNT (2004), o **Sistema de Gestão Ambiental (SGA)** pode ser definido como a parte do sistema da gestão de uma organização utilizada para desenvolver e implementar sua política ambiental e para gerenciar seus aspectos ambientais.

Como modelo de Sistema de Gestão Ambiental, tem-se o definido pela norma ISO 14001, que prevê a implementação de dezoito elementos para uma gestão eficaz que, segundo Epelbaum (2006) baseia-se em uma série de boas práticas e ferramentas ambientais, da qualidade e empresariais, podendo ser aplicado em qualquer tipo de organização, de qualquer porte e país onde esteja instalada. Como premissas da norma impõem-se o comprometimento com o cumprimento da legislação aplicável, a melhoria contínua do desempenho ambiental e a prevenção da poluição.

Ainda segundo Epelbaum (2006), as empresas que aplicam o Sistema de Gestão Ambiental baseado na Norma ISO 14001, pretendem obter benefícios como o atendimento a critérios de certificação para a venda, satisfazer critérios dos investidores para aumentar o acesso ao capital, melhorar a organização interna e a gestão global, a redução da poluição, conservação de materiais e energia, redução de custos, aumento da conscientização dos funcionários, melhor clima e comunicação internos e aumento do desempenho ambiental dos fornecedores, dentre outros.

A **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**, de acordo com Silva e Kulay (2006) é uma técnica para avaliação de desempenho ambiental de produtos, ao longo de todo o seu ciclo de vida, realizada por meio da identificação de todas as atividades humanas ocorridas no ciclo de vida do produto e pela avaliação dos impactos ambientais potencialmente associados a essas atividades. Este conceito nasceu a partir de diversos esforços para controlar os produtos ao longo da cadeia produtiva, gerando no princípio da década de 1980, a metodologia de ACV. Devido a sua importância, a ACV teve sua estrutura conceitual padronizada pela International Organization for Standardization (ISO), através da série de Normas 14040.

Segundo Silva e Kulay (2006), a ACV baseia-se em um conjunto de procedimentos para atingir os objetivos propostos: definição do sistema de produto, análise do inventário e avaliação de impactos do ciclo de vida.

De acordo com Sánchez (2006), a **Avaliação de Impactos Ambientais (AIA)**, ao identificar as consequências futuras de ações presentes, tem como principal finalidade a análise da viabilidade ambiental de novas decisões de investimento. A AIA é útil também em todas as etapas da vida de um empreendimento, contribuindo no seu planejamento e projeto, implantação e/ou construção, operação e/ou funcionamento e desativação e/ou fechamento. Dessa forma, a AIA é uma das principais ferramentas existentes para auxiliar uma empresa a implantar de forma concisa um sistema que atenda aos requisitos ambientais.

2.2 Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

O termo surgiu da expressão “Environmental Impact Assessment (EIA)”, vinda da Europa, onde foi criada na década de 1970, que traduzida para o português, passou a ser chamada de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Seu uso se difundiu rapidamente a partir de 1975, quando alguns mecanismos internacionais como a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (Organization for Economic Cooperation and Development – OECD), a Comissão da Comunidade Européia (European Community Commission – EEC), alguns órgãos setoriais da Organização das Nações Unidas e grandes agentes financeiros iniciaram gestões para introduzir a AIA em seus programas. Dessa forma, a AIA deu origem a diversas outras ferramentas de gestão ambiental.

Segundo Moreira (1985), a busca de meios que promovessem a incorporação de fatores ambientais à tomada de decisão, fez surgir o processo de avaliação de impacto ambiental (AIA), que se tornou amplamente usado pela sua possibilidade de atender a diversos esquemas institucionais, levando em consideração requisitos técnicos e políticos. Dessa forma, a AIA se tornou um instrumento de política ambiental formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta e de suas alternativas, e que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e por eles devidamente considerados. Ela combina os arranjos institucionais destinados a orientar sua aplicação e os métodos e técnicas usados para a realização dos estudos correspondentes.

O objetivo da AIA é segundo Moreira (1985), enquanto instrumento de política ambiental, auxiliar o processo decisório, com a finalidade de viabilizar o uso dos recursos naturais e econômicos, promovendo através do conhecimento prévio, a discussão e análise dos impactos ambientais positivos e negativos de uma proposta, evitando e corrigindo danos, e otimizando benefícios, para que a eficiência das soluções seja aprimorada.

Conforme Sánchez (2006), a AIA possui diversos papéis, sendo um deles a ajuda à decisão acerca da magnitude e da importância das alterações socioambientais decorrentes de um projeto. A AIA informa sobre as medidas para evitar, reduzir ou compensar os impactos adversos e seus custos de mitigação. Outro papel da ferramenta é o de planejamento de projeto, onde se analisam alternativas, testa hipóteses e propõe soluções de forma a reduzir impactos ambientais e maximizar benefícios econômicos e impactos socioambientais positivos. Um terceiro papel da AIA é de negociação social, com a consulta pública,

divulgação do projeto e do relatório de impacto ambiental, de forma que a sociedade possa opinar no processo. O quarto papel é o de instrumento de gestão ambiental, pois de seu processo resultam diretrizes e orientações para a gestão ambiental do empreendimento.

Na Figura 1 tem-se um resumo dos diversos usos da avaliação de impacto ambiental, como também dos instrumentos de planejamento e gestão, e sua relação com o governo e com a sociedade e/ou partes interessadas.

Fase do Empreendimento	Instrumentos de planejamento e gestão	Relação com o governo	Relação com a sociedade/ partes interessadas
Planejamento e Projeto	Avaliação de impacto ambiental; Análise de risco; Investigação e avaliação do passivo ambiental; Análise de ciclo de vida.	Licença prévia; Outras licenças exigíveis.	Audiência pública; Reuniões públicas; Programas de comunicação.
Implantação/construção	Monitoramento ambiental; Programas de gestão ambiental; Sistema de gestão ambiental; Auditoria Ambiental.	Licença de instalação; Relatórios de monitoramento; Relatórios de andamento; Vistorias e fiscalização.	Comitês de acompanhamento; Relatórios de atividades; Programas de comunicação.
Operação/funcionamento	Monitoramento ambiental; Programas de gestão ambiental; Sistema de gestão ambiental; Auditoria ambiental; Avaliação de desempenho ambiental; Contabilidade ambiental e provisão financeira.	Licença de operação; Normas e padrões ambientais; Relatórios de monitoramento e de desempenho.	Comitês de acompanhamento; Relatório de desempenho ambiental; Balanço social; Relatório de sustentabilidade.
Desativação/fechamento	Investigação e avaliação do passivo ambiental; Plano de fechamento ou de desativação e avaliação de impacto ambiental; Plano de recuperação de áreas	Normas e padrões ambientais; Valores de referência (solos e águas subterrâneas); Futura autorização de	Relatório de desempenho ambiental; Audiência pública; Reuniões públicas.

	degradadas ou plano de remediação dos solos contaminados; Monitoramento ambiental; Auditoria ambiental.	fechamento.	
--	---	-------------	--

Figura 1: Os diversos usos da avaliação de impacto ambiental.
Fonte: Sánchez (2006).

De acordo com Sánchez (2006), as principais etapas para preparação de um estudo de impacto ambiental são as seguintes: O **planejamento**, de forma a identificar as questões-chave, ou os prováveis impactos mais relevantes, através da caracterização e definição do ambiente e do empreendimento, em seguida tem-se a **execução**, que compreende o diagnóstico ambiental da área do empreendimento e a análise dos impactos com um prognóstico da situação ambiental futura. Esse processo de planejamento e execução gera medidas de gestão ambiental específicas para o empreendimento estudado.

Assim, a Avaliação de Impactos Ambientais constitui uma das tarefas mais importantes para a implementação de medidas de controle de impactos ambientais em diversos tipos de organizações, podendo ser utilizada conjuntamente com outras ferramentas, como a FMEA, a qual possui notável aplicação na identificação e diagnóstico de problemas ambientais, o que vem a fornecer uma base mais consistente de controle ambiental.

2.2.1 Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA)

Com o intuito de avaliar os impactos ambientais de uma atividade, podem-se usar diversas ferramentas similares à AIA, com o mesmo intuito de avaliar em que pontos um empreendimento pode causar danos ambientais, e quais medidas devem ser tomadas para mitigar estes problemas. Dessa forma, tem-se a ferramenta de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, derivado do inglês Failure Mode and Effects Analysis, mais conhecido pela sigla FMEA.

De acordo com Matos e Milan (2009), a FMEA é uma ferramenta gerencial desenvolvida em 1949 por militares americanos, como objetivo de determinar o efeito da ocorrência de falha em sistemas e em equipamentos do exército americano. Na década de 60, foi desenvolvida e aprimorada pela NASA – Administração Nacional de Aeronáutica e

Espaço (do inglês National Aeronautics and Space Administration), quando foi tomando espaço nos setores aeronáuticos. A partir de 1988, esta ferramenta começou a ser utilizada em empresas como a Ford e General Motors em seus programas avançados de planejamento da qualidade em projetos e processos.

Muitos conceitos já foram levantados para esta ferramenta. Conforme Matos e Milan (2009) o FMEA é um método analítico utilizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa. O FMEA consiste em levantar os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho de um processo, produto ou sistema, identificando e hierarquizando as falhas, apontando o potencial de risco de cada uma, e auxiliando na elaboração de um plano de ação para sanar os problemas encontrados.

Para Helman e Andery (1995), o FMEA é um método de produtos ou processos, industriais e/ou administrativos, usado para identificar todos os possíveis modos de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema, mediante um raciocínio basicamente dedutivo. Conforme Stamatis (1995) é um método analítico padronizado de análise de produtos ou processos, usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do sistema, e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa.

Para Stamatis (1995), os principais benefícios da utilização do FMEA são a melhoria da qualidade, a segurança dos produtos e serviços, a melhoria da imagem da empresa e da sua competitividade, o auxílio no aumento da satisfação do cliente, a redução do custo e tempo de desenvolvimento de produtos, o auxílio no diagnóstico de processos e o estabelecimento de prioridades para implantação de ações corretivas.

Araújo *et al* (2001) expõem a existência de dois tipos de FMEA, sendo uma de produto ou projeto, e outra de processo. Para Moura (2000), uma FMEA de projeto é uma técnica analítica utilizada pela equipe responsável pelo projeto para assegurar que os modos de falha potenciais e suas causas associadas sejam considerados e endereçados. Ainda conforme Moura (2000), a FMEA de projeto dá suporte ao desenvolvimento do projeto reduzindo os riscos de falhas, por:

- a) Auxiliar na avaliação objetiva dos requisitos do projeto e soluções alternativas;
- b) Considerar requisitos de manufatura e montagem no projeto inicial;
- c) Aumentar a probabilidade de que os modos de falhas potenciais e seus efeitos nos sistemas e na operação tenham sido considerados no processo de desenvolvimento ou projeto;

- d) Proporcionar informações adicionais para auxiliar no planejamento de programas de desenvolvimento e de ensaios de projeto eficientes e completos;
- e) Desenvolver uma lista de modos de falhas potenciais classificadas de acordo com os seus efeitos no cliente, estabelecendo um sistema de priorização para melhorias do projeto e ensaios de desenvolvimento;
- f) Proporcionar uma forma de documentação aberta para recomendar e rastrear ações de redução de risco;
- g) Proporcionar referências para que no futuro ajudem na análise de problemas, na avaliação de alterações de projeto e no desenvolvimento de projetos avançados.

Assim, na FMEA de produto identificam-se cada componente do sistema e os possíveis modos de falha associados, assim como seus efeitos no sistema em questão, e no produto como um todo.

Conforme Moura (2000), uma FMEA de processo é uma técnica analítica utilizada pelo engenheiro e a equipe responsável pela manufatura com a finalidade de assegurar que os modos de falha potenciais e suas causas sejam avaliados. Ainda conforme Moura (2000), a FMEA de processo:

- a) Identifica os modos de falhas potenciais do processo relacionados ao produto;
- b) Avalia os efeitos potenciais da falha ao cliente;
- c) Identifica as causas potenciais de falhas do processo de manufatura ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas para redução da ocorrência ou melhoria da eficácia da detecção das falhas;
- d) Classifica modos de falha potenciais;
- e) Documenta os resultados do processo de manufatura ou montagem.

Assim, a FMEA de processo é utilizada para análise detalhada de sistemas produtivos que possam afetar a confiabilidade do produto, identificando assim os modos de falhas potenciais no processo e seus efeitos no cliente.

Segundo Helman e Andery (1995), as principais etapas usadas para execução da FMEA são: definir o processo ou produto a ser analisado, definir a função do processo ou produto, identificar os possíveis modos de falha, identificar os possíveis efeitos de cada modo de falha para as pessoas que sofrem impacto do processo ou produto, estimar a severidade dessas falhas, identificar as causas raízes das possíveis falhas, estimar a probabilidade de ocorrência da falha, identificar o meio de detecção do modo de falha, estimar a probabilidade de essa falha ser detectada antecipadamente, determinar as prioridades e definir planos de

ação para diminuir o risco. Toledo e Amaral (2008) especificam cinco etapas para aplicação do modelo FMEA:

- a) Planejamento: Realizada pelo responsável pela aplicação da metodologia, compreendendo a descrição dos objetivos e abrangência da análise (produtos e/ou processos), formação dos grupos de trabalho, planejamento das reuniões e preparação da documentação;
- b) Análise de Falhas em Potencial: Realizada pelo grupo de trabalho no momento do preenchimento do formulário. Define a função e características do produto ou processo, tipo de falha potencial para cada função, efeitos do tipo de falha, causa possível da falha e controles atuais;
- c) Avaliação de Riscos: Onde são definidos os índices de gravidade (G) ou severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos;
- d) Melhoria: O grupo lista todas as ações que podem ser realizadas para diminuir os riscos, sendo analisadas quanto a sua viabilidade, para definir-se quais serão implantadas;
- e) Continuidade: Uma vez realizada uma análise para um produto ou processo qualquer, a FMEA deve ser revisada sempre que ocorrerem alterações neste produto ou processo específico, ou deve-se revisar periodicamente, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação.

Silva *et al* (2006) sugerem a elaboração de uma análise via FMEA a partir do fluxograma demonstrado na Figura 2:

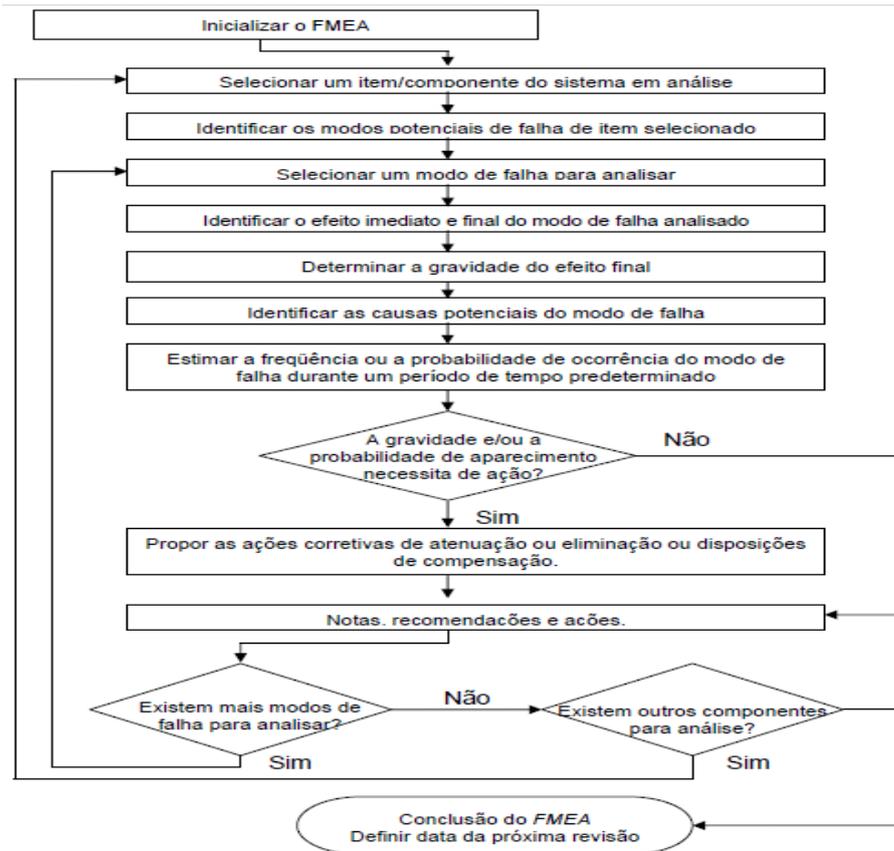


Figura 2 – Fluxograma da análise FMEA.
Fonte: Silva *et al* (2006).

Analisando a Figura 2, tem-se que deve ser feita uma identificação e hierarquização dos diversos subsistemas e componentes, e definir os critérios a serem utilizados para dividir o sistema para análise. Em seguida deve-se realizar uma lista das funções a desempenhar pelo elemento, tendo em conta o cliente, e depois deve-se fazer a seleção dos que serão analisados. Após isto, realiza-se o levantamento dos modos potenciais de falha.

Ainda analisando a Figura 2, a gravidade do modo de falha é uma avaliação do impacto do efeito do modo de falha sobre o funcionamento do dispositivo que está a ser analisado. É atribuída uma classificação de gravidade ao efeito de falha, ou Índice de Gravidade (G) ou Severidade (S), usando-se uma escala de 1 a 10, onde 1 corresponde a uma gravidade nula ou imperceptível, e 10 a pior possibilidade ao nível de conseqüências. Segundo Ribeiro (2009), para cada modo de falha potencial, deve-se identificar e descrever as causas mais prováveis que estiveram na origem do seu aparecimento; as causas independentes e mais prováveis para cada modo de falha potencial devem ser identificadas e descritas. Deve-se determinar a ocorrência do modo de falha potencial, pois esta variável designa a frequência ou probabilidade de aparecimento de cada modo de falha.

2.2.1.1 Modelo de FMEA segundo Bastos (2006)

A Figura 3 mostra um exemplo de formulário de FMEA a ser preenchido:

FMEA																			
Processo	Função	Tipo de Falha	Efeito da Falha	G	Causa da Falha	Controles Atuais			D	R	Ações		Índices						
						Prevenção	O	Detecção			Recomendadas	Tomadas	G	O	D	R			

Figura 3 – Exemplo de Formulário de FMEA.
Fonte: Bastos (2006).

Conforme Bastos (2006), a realização do FMEA ocorre através do preenchimento de um formulário específico, pela equipe multifuncional, obedecendo aos critérios de clareza e objetividade.

Nos campos delimitados pelo formulário da Figura 3, cabem as seguintes instruções de preenchimento:

- a) Processo: Identificar a etapa de processo e do produto em questão;
- b) Função: Identificar quais características devem ser atingidas;
- c) Tipo de Falha: Identificar como a característica pode não ser atingida e o que pode dar errado;
- d) Efeito da Falha: Identificar quais os efeitos e as conseqüências imagináveis decorrentes de falhas;
- e) Gravidade (G) ou Severidade (S): Preenchido a partir de valores tabelados, indicando o grau de gravidade;
- f) Causa da Falha: Identificar as causas potenciais que podem levar ao tipo de falha;
- g) Controles Atuais – Prevenção: Identificar as medidas de prevenção da causa existentes;
- h) Controles Atuais – Ocorrência (O): Valores tabelados, indicando a probabilidade da causa ocorrer;
- i) Controles atuais – Detecção: Identificar as medidas existentes para detectar as falhas;
- j) Detecção (D): Valores tabelados, indicando quão eficaz é o método de detecção, retirado da tabela;
- k) Resultado ou Risco (R): Obtido a partir do produto entre os índices G (gravidade) ou Severidade (S), O (ocorrência) e D (detecção);

- l) Ações Recomendadas: Preenchido a partir de ações previstas para redução do índice “R”;
- m) Ações Tomadas: Preenchido a partir de ações efetivamente implementadas para redução do índice “R”.

Para utilizar o formulário de FMEA, é necessário recorrer aos valores tabelados dos índices de gravidade (G) ou Severidade (S), de ocorrência (O) e de detecção (D). O índice de gravidade ou severidade está associado aos efeitos das falhas sobre a manufatura e sobre o cliente, sendo, portanto a alteração do projeto necessária para alterá-lo. A Figura 4 ilustra um exemplo de parâmetros para determinação do índice de gravidade:

Índice de Gravidade (G) ou Severidade (S)			
Descrição	Efeito no Cliente	Efeito na Manufatura	Índice
Perigoso sem aviso prévio	... sem aviso prévio.	... sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	Podem por em perigo o operador (máquina ou montagem) com aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/Item inoperável (perda das funções primárias).	Sucata (100%)	8
Alto	Veículo/Item operável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	Sucata (<100%) – Com Seleção	7
Moderado	Veículo/Item operável, mas item(s) de Conforto com desempenho inoperante. Cliente insatisfeito.	Sucata (<100% - Sem Seleção	6
Baixo	Veículo/Item operável, mas item(s) de Conforto com desempenho reduzido.	Retrabalho (100%)	5
Muito Baixo	Itens de Ajuste. Acabamento/Chiado e Barulho não conformes. (>75% Notam).	Seleção – Sem Sucata – Retrabalho (<100%)	4
Menor	Itens de Ajuste. Acabamento/Chiado e Barulho não conformes. (50% Notam).	Retrabalho (<100%) – Fora da estação de Trabalho.	3
Muito Menor	Itens de Ajuste. Acabamento/Chiado e Barulho não conformes. (< 25% Notam).	Retrabalho (<100%) – Dentro da estação de Trabalho.	2
Nenhum	Sem efeito identificado.	Pequena inconveniência no operador ou na operação.	1

Figura 4 – Exemplo de parâmetros para determinação do Índice de Gravidade (G) ou Severidade (S).
Fonte: Bastos (2006).

O índice de ocorrência se dá pela probabilidade de uma causa ocorrer durante o processo ou mesmo no produto, e sua redução é possível através do controle ou intensificação

da prevenção das causas, ou realização de alterações no projeto e/ou processo. A Figura 5 ilustra um exemplo de parâmetros para determinação do índice de ocorrência:

Índice de Ocorrência (O)			
Probabilidade	Taxas de Falhas	PPK	Índice
Muito Alta	100 por mil	< 0.55	10
	50 por mil	0.55	9
Alta	20 por mil	0.78	8
	10 por mil	0.86	7
Moderado	5 por mil	0.94	6
	2 por mil	1.00	5
	1 por mil	1.10	4
Moderada	0.5 por mil	1.20	3
Baixa	0.1 por mil	1.30	2
Remota	0.010 por mil	1.67	1

Figura 5 – Exemplo de parâmetros para determinação do Índice de Ocorrência (O).

Fonte: Bastos (2006).

Segundo Bastos (2006), o índice de detecção indica se a forma de controle é capaz de detectar erros no processo ou produto. A Figura 6 ilustra um exemplo de parâmetros para determinação do índice de Detecção (D). A partir da Figura 6, nota-se que, quanto mais investimentos em tecnologias, treinamentos, ou outras formas de detecção, menor se torna o índice. As letras A, B e C são utilizadas para classificar o tipo de detecção a ser feita para identificação de falhas e significam a utilização de detecção à prova de erro, inspeção com sistema de medição, e inspeção visual, respectivamente:

Índice de Detecção (D)					
Descrição	A	B	C	Método Sugerido	Índice
Quase Impossível			x	Não pode detectar ou não é verificado.	10
Muito Remota			x	Controle é alcançado somente com verificação aleatória ou indireta.	9
Remota			x	Controle é alcançado somente com inspeção visual.	8
Muito Baixa			x	Controle é alcançado somente com dupla inspeção visual.	7
Baixa		x	x	Controle é alcançado com CEP.	6
Moderada		x		Controle é baseado em medições por variáveis, ou em medições do tipo passa/não passa feitas em 100% das peças depois que deixam a estação.	5

Moderadamente Alta	x	x		Detecção de erros em operações subseqüentes, ou medições feitas na preparação de máquina e na verificação da primeira peça (somente para casos de preparação de máquina).	4
Alta	x	x		Detecção de erros na estação, ou em operações subseqüentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante.	3
Muito Alta	x	x		Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	2
Muito Alta	x			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito à prova de erros pelo projeto do produto/processo.	1

Figura 6 – Exemplo de parâmetros para determinação do Índice de Detecção (D).
Fonte: Bastos (2006).

As ações recomendadas são realizadas a partir de alguns critérios definidos no FMEA pela equipe responsável pelo preenchimento. A Figura 7 ilustra um exemplo de ações recomendadas:

Ações Recomendadas
Gravidade/Severidade (G) – 9;
Priorizar conforme $R = (G \times O \times D)$;
Foco das ações devem ser reduzir: SEVERIDADE → PREVENÇÃO → DETECÇÃO (nesta ordem).

Figura 7 – Exemplo de Ações Recomendadas.
Fonte: Bastos (2006).

De acordo com Ribeiro (2009), após analisar as informações, deve-se verificar se a gravidade e/ou probabilidade de aparecimento necessita de ação. Caso seja necessário, deve-se propor e documentar possíveis ações corretivas para a melhora dos resultados. Dessa forma, deve-se fazer esta análise para todos os componentes e modos de falhas existentes, e manter sempre uma documentação de todo o processo, realizando revisões periódicas.

Conforme Rosa e Garrafa (2009), ao identificar os possíveis efeitos de cada modo de falha, devem-se classificar os modos de falha quanto à severidade dos efeitos por eles causados. Ao definir as causas raízes das possíveis falhas, devem-se identificar os atuais meios de prevenção, que reduzem a probabilidade de ocorrência dessa falha. Assim, cada causa é classificada quanto a sua probabilidade de ocorrência. Ao identificar o meio de detecção de modo de falha, deve-se associá-lo a um valor pré-determinado.

De acordo com Helman e Andery (1995), o método mais usado para determinar as prioridades é o Número de Prioridades de Risco (NPR), obtido pela multiplicação da pontuação dada para as classificações de severidade, ocorrência e detecção, o que gera valores situados numa faixa crescente, indicando níveis de baixíssimo risco, até risco crítico. Nos exemplos das Figuras 3 e 7, o NPR está representado pelo Resultado ou Risco (R).

2.2.1.2 FMEA aplicada à Gestão Ambiental segundo Andrade e Turrioni (2000) e Vandenbrande (1998)

Andrade e Turrioni (2000) e Vandenbrande (1998) expõem um modelo de análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do FMEA, onde descrevem os passos da sistemática de utilização do FMEA no Sistema de Gestão Ambiental de uma empresa:

Passo 1: Definição da equipe responsável: Através de equipe multidisciplinar, pois os riscos podem se apresentar de diversas formas, onde alguns conhecimentos específicos sejam necessários para sua identificação;

Passo 2: Definição dos itens do Sistema de Gestão Ambiental que serão considerados: Deve-se definir quais os itens a serem considerados pela empresa e seu SGA;

Passo 3: Preparação prévia para coleta de dados;

Passo 4: Pré-filtragem dos aspectos ambientais considerados: Etapa necessária para filtrar elementos que possam estar fora do controle de empresa, ou que extrapolem os limites que caracterizam os itens do SGA;

Passo 5: Identificação do processo/função a ser analisado: Na Figura 8, a coluna “Processo” descreve o processo/função onde serão analisados os riscos ambientais;

Passo 6: Identificação dos aspectos e impactos ambientais: Na Figura 8, as colunas “Aspecto Ambiental” e “Impacto Ambiental” devem ser preenchidas de acordo com o processo descrito na coluna “Processo”;

Passo 7: Identificação das causas das falhas: Na Figura 8, a coluna “Causa Potencial” deve descrever a causa dos aspectos e impactos;

Passo 8: Identificação dos controles atuais de detecção das falhas ou causas: Na Figura 8, a coluna “Forma Atual de Controle” corresponde aos controles atuais do processo/função, que são descrições dos modos de falha que podem ser detectados ou prevenidos;

FMEA N°		Coordenador:				Pág.:											
DATA FMEA:		Equipe:				Revisão:											
Processo	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	G	Causa Potencial	O	Forma Atual de Controle	D	IRA	Ação Recomendada	Respons. e Data Prevista	Resultados						
											Ações Realizadas	G	O	D	IRA		

Figura 8 – Exemplo de Aplicação do FMEA em um SGA.

Fonte: Andrade e Turrioni (2000).

Passo 9: Determinação dos índices de criticidade: Corresponde às colunas “G”, “O”, “D” e “IRA” da Figura 8, onde: “G” (Gravidade de Impacto) parte de uma análise do efeito do risco para avaliação de sua gravidade, que é estimado em uma escala de 1 a 10 conforme Figura 9. Trata-se da gravidade de um impacto ambiental de um modo potencial de falha relativo ao meio ambiente. Uma redução no índice de gravidade pode ser conseguida através de uma alteração do projeto do produto/processo;

Gravidade do Impacto	Índice
Difícilmente será visível. Muito baixa para ocasionar um impacto no meio ambiente.	1 - 2
Não-conformidade com a política da empresa. Impacto baixo ou muito baixo sobre o meio ambiente.	3 - 4
Não-conformidade com os requisitos legais e normativos e possíveis prejuízos para a reputação da empresa. Prejuízo moderado ao meio ambiente.	5 - 6
Sério prejuízo ao meio ambiente.	7 - 8
Há sérios riscos ao meio ambiente.	9 - 10

Figura 9 – Diretrizes para classificar o índice de gravidade do impacto.

Fonte: Vandenbrande (1998).

“O” (Ocorrência da Causa) parte de uma análise do efeito do risco para avaliação de sua probabilidade de ocorrência, com base em uma escala de 1 a 10, conforme Figura 10:

Ocorrência da Causa	Probabilidade	Índice
Remota: é altamente improvável que ocorra.	Menos do que 1 em 1.000.000	1 - 2
Baixo: ocorre em casos isolados, mas as probabilidades são baixas.	1 em 20.000 a 1 em 2.000	3 - 4
Moderado: tem probabilidade razoável de ocorrer (com possível início	1 em 80 a 1 em 2.000	5 - 6

e paralização).		
Alta: ocorre com regularidade e/ou durante um período razoável de tempo.	1 em 8 a 1 em 80	7 – 8
Muito alta: inevitavelmente irá ocorrer durante longos períodos típicos para condições operacionais.	Mais ou menos 1 em 2	9 – 10

Figura 10 – Diretrizes para classificar o índice de ocorrência da causa.
Fonte: Vandenbrande (1998).

“D” (Grau de Detecção) parte de uma análise de uma causa do risco para avaliação do grau de controle possível de ser exercido sobre ele, sendo estimado em uma escala de 1 a 10, conforme Figura 11:

Grau de Detecção	Índice
Os controles atuais certamente irão detectar, quase de imediato, que o aspecto e a reação podem ser instantâneos.	1 – 2
Há alta probabilidade de que o aspecto seja detectado logo após a sua ocorrência, sendo possível uma rápida reação.	3 – 4
Há uma possibilidade moderada de que o aspecto seja detectado num período razoável de tempo antes que uma ação possa ser tomada e os resultados sejam vistos.	5 – 6
É improvável que o aspecto seja detectado ou levará um período razoável de tempo antes que uma ação possa ser tomada e os resultados sejam vistos.	7 – 8
O aspecto não será detectado em nenhum período razoável de tempo ou não há reação possível (condições operacionais normais).	9 - 10

Figura 11 – Diretrizes para classificar o índice grau de detecção.
Fonte: Vandenbrande (1998).

“IRA” (Índice de Risco Ambiental) é obtido pela multiplicação dos índices anteriores, e fornece uma escala hierarquizada da relevância de cada produto/processo/função analisados, podendo variar entre 1 e 1.000.

Passo 10: Análise dos riscos ambientais e plano de ações: Devem ser atribuídos responsáveis e datas previstas para a realização das ações, conforme a coluna “Respons. e Data Prevista”, na Figura 8;

Passo 11: Revisão do plano de ação: Consta a descrição das ações realizadas visando reduzir o índice de Risco Ambiental;

Passo 12: Revisão do FMEA sempre que necessário: Deve ser realizada uma reavaliação periódica do produto/processo/função para os quais foram sugeridas ações.

Segundo Andrade e Turrioni (2000) cabe à empresa definir a periodicidade destas análises, devendo levar em consideração:

- a) Alterações de leis ambientais existentes e pertinentes à organização;
- b) Surgimento de novas leis ambientais;
- c) Modificações do processo produtivo e serviços associados;
- d) Reclamações das partes interessadas;
- e) Incidentes ambientais potenciais;
- f) Lançamento de novos produtos;
- g) Um aspecto que anteriormente era considerado significativo pode, após uma melhoria de processo, não gerar mais impactos significativos reais ou potenciais.

Dessa forma, o FMEA pode ser utilizado na definição de aspectos e impactos ambientais nos diversos tipos de atividades e empresas existentes.

2.2.1.3 Aplicações do FMEA

Devido sua flexibilidade, o FMEA pode ser utilizado em diversas áreas ou setores. Para Toledo e Amaral (2008) a metodologia FMEA passou a ser aplicada de diversas maneiras, sendo hoje utilizadas para diminuir as falhas de produtos e processos, processos administrativos, análises de fontes de risco em engenharia de segurança, na indústria de alimentos, dentre outras. Assim, vários pesquisadores relatam adaptações nas tabelas para obtenção dos valores correspondentes à severidade, probabilidade de ocorrência e detecção para aplicação em áreas bem diversas. Na Figura 12 tem-se um resumo de algumas aplicações onde a ferramenta já foi utilizada.

Área/Setor	Estudo	Autor/ano
Gestão Ambiental	Uma metodologia de análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do FMEA.	Andrade e Turrioni (2000)
Gestão Ambiental	Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental.	Zambrano e Martins (2007)
Gestão Ambiental	Sugestões para uma proposta do uso de novas ferramentas tecnológicas de informação para um sistema de gestão ambiental – ISO 14000.	Pereira <i>et al</i> (2002)
Gestão Ambiental	Utilização da metodologia FMEA para análise dos	Zambrano e Martins

	impactos ambientais em uma empresa do ramo de usinagem.	(2003)
Gestão Ambiental	Implementação do Sistema de Gestão Ambiental no Prédio da Engenharia Mecânica - UFRGS	Campani <i>et al</i> (2006)
Processos agroindustriais	Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: subprocesso colheita da canola.	Rosa e Garrafa (2009)
Serviço Hospitalar	Failure mode and effects analysis: a useful tool for risk identification and injury prevention.	Paparella (2007)
Prestação de Serviços	Using FMEA to assess outsourcing risk.	Welborn (2007)
Sistemas de Segurança	Automated multiple failure FMEA. Reliability Engineering and System Safety.	Prince e Taylor (2002)
Transportes Aéreos	Risk assessment modeling in aviation safety management.	Lee (2006)
Instalações Nucleares	Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control systems.	Guimarães e Lapa (2004)
Gestão de Empresas	Aplicação sistêmica do modo de análise de falhas e efeitos (FMEA) para o desenvolvimento de indicadores de desempenho de empresas de pequeno porte.	Matos e Milan (2009)
Sistemas de Informação	FMEA – Análise dos Modos de Falha e Efeitos. Metodologia de Qualidade em Projetos de Sistemas de Informação.	Ribeiro (2009)

Figura 12: Aplicações do Método de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (FMEA) em diversas áreas/setores.

Fonte: Elaboração própria baseada em pesquisas sobre FMEA.

Dessa forma, nota-se que o FMEA pode ser alterado, de forma a ser utilizado no processo de definição do risco de ocorrência de impactos ambientais em diversas atividades.

ABNT (2004) destaca que uma organização deve estabelecer e manter procedimentos para identificar os aspectos ambientais de suas atividades, produtos ou serviços que possam ser controlados, e sobre os quais ela influencie, de forma a determinar aqueles que possam ter impacto significativo sobre o meio ambiente.

Para auxiliar neste processo, deve-se primeiro definir aspectos, impactos e riscos ambientais. Conforme ABNT (2004), aspecto ambiental é o elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente, e o impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização. O risco ambiental, por

sua vez, é a probabilidade de o impacto ambiental ocorrer. A análise de riscos tem como finalidade diagnosticar, avaliar e gerenciar o risco imposto ao meio ambiente e ao homem.

Assim, a FMEA é uma ferramenta que pode ser utilizada em diversos tipos de organizações, principalmente aquelas que contribuem com a geração de grandes quantidades do “lixo eletrônico”, que contém muitas substâncias tóxicas, sendo grande motivo de preocupação para a sociedade, os governos e as empresas geradoras, as quais pode-se incluir as empresas ou indústrias microeletrônicas.

2.3 Evolução e Caracterização do Setor

2.3.1 O setor de eletroeletrônica e microeletrônica

O complexo eletrônico compreende os setores relacionados à tecnologia microeletrônica, sendo eles os setores de eletrônica de consumo, informática, telecomunicações, automação industrial, e o setor de componentes eletrônicos. Dessa forma, seus produtos estão presentes em todas as atividades econômicas e sociais, em especial para a indústria da informática, automobilística, aeronáutica e aeroespacial, ganhando maior espaço a cada dia. De acordo com Melo *et al* (1995), sua importância econômica em termos de valor da produção e geração de emprego vem-se mostrando constantemente em crescimento, principalmente em países como os Estados Unidos, Japão, China e alguns países da Europa.

O mercado de Placas de Circuito Impresso (PCIs) é o maior impulsionador do crescimento do setor eletroeletrônico, principalmente porque este é um produto comercializado em todos os países do mundo. De acordo com Oliveira e Silveira (2009), a maior concentração de fábricas de PCIs está nos Estados Unidos, Japão, China e em alguns países da Europa. O comércio é realizado tanto por meio de compra e venda de “placas nuas”, onde a placa é adquirida somente com as trilhas e furos, como por meio das placas já montadas.

No Brasil, o setor de eletroeletrônica vem demonstrando altos índices de crescimento nos últimos anos. Segundo Puga e Junior (2011), o setor de eletroeletrônicos tem uma perspectiva de investimento de R\$ 33 bilhões entre os anos de 2011 e 2014, com taxas de crescimento de 8,2% frente ao período de 2006 a 2009.

Muito desse crescimento tem sido favorecido pela criação de uma infra-estrutura de pesquisa e ensino de pós-graduação nas áreas de ciência e tecnologia, pelo aumento do aquecimento no mercado de trabalho, expansão do crédito as pessoas físicas, aumento dos níveis de confiança do consumidor, das políticas de transferência de renda, maior acesso da população a bens eletrônicos e o crescente uso de telefonia, a demanda por produtos de telecomunicação e informática, necessidades de equipamentos na área de exploração de petróleo, desenvolvimento do setor de energia elétrica e automotivo, aliados a implantação de Programas Governamentais como o PNBL – Plano Nacional de Banca Larga, e a UCA – Um Computador por Aluno.

Para Tavares (2001), a aplicação dos diversos incentivos no país, permitiu a instalação de muitos empreendimentos nos setores de informática, telecomunicação e eletrônica de consumo, de forma que atendessem a maior parte da demanda interna por produtos acabados, porém com elevado conteúdo de importações e poucas exportações. O setor de eletrônica de consumo opera quase que totalmente instalado na Zona Franca de Manaus, com exceções no Estado de São Paulo, e engloba os segmentos de vídeo, áudio e alguns outros produtos. Em termos de qualidade, esse segmento tem conseguido oferecer ao mercado interno produtos de qualidade semelhante aos produtos internacionais, porém com preços pouco competitivos devido à carga tributária, que acaba influenciando também na capacidade de exportação do país.

Segundo Oliveira e Silveira (2009), a produção de Placas de Circuito Impresso (PCIs), necessárias em todos os setores do segmento eletroeletrônico, vem aumentando a competitividade da indústria eletroeletrônica nacional, permitindo a quebra de kits de produção nos setores que formam o complexo eletrônico. Porém, a concorrência dos países asiáticos traz grandes riscos à produção local; a maior parte deste problema se deve ao fato de, no Brasil, existir apenas um fornecedor de matéria prima, obrigando as empresas a realizar a importação destes materiais dos países asiáticos, que trabalham com preços reduzidos. Assim, os fabricantes brasileiros correspondem a uma oferta pulverizada entre várias pequenas empresas, que atuam ao lado de alguns grandes fabricantes.

Conforme Cintra (2007), a cadeia de produtos eletrônicos de consumo no Brasil reproduz o oligopólio mundial composto pelos principais fabricantes da indústria eletroeletrônica mundial, com a participação de indústrias nacionais como a CCE, Gradiente, Evadim, Etautec-Philco e Semp Toshiba, esta última uma joint-venture com a Toshiba do Japão. Essas empresas multinacionais adotam uma estratégia de intermediárias, em função da sua ligação com a matriz e da utilização de plataformas de produtos mundiais.

Apesar de todo o crescimento interno observado, para Tavares (2001), o Brasil fica à margem do processo de crescimento mundial da indústria eletrônica, pois o mercado mundial de produtos eletrônicos foi crescentemente dominado pelas economias emergentes, sendo que várias delas obtiveram ganhos comerciais ampliados e crescentes saldos positivos em suas balanças comerciais, em oposição à situação que se estabeleceu no Brasil.

De acordo com Melo *et al* (1995), o fato mais relevante na evolução da informática ocorreu no final da década de 1970, quando foi iniciada a produção em grande escala de microcomputadores, e o desenvolvimento de novas formas de software, que reduziram tanto o porte e o preço dos equipamentos, quanto viabilizaram o acesso direto do usuário ao computador, transformando-o em um equipamento de trabalho e bem de consumo. Essas mudanças resultaram na diminuição das barreiras à entrada na indústria de computadores, como também na criação de arquiteturas abertas, o que aumentou a compatibilidade entre equipamentos de fabricantes diversos.

Ainda conforme Melo *et al* (1995), os microcomputadores possuem grande influência no crescimento do setor de informática, se comparados aos computadores de médio e grande porte. Atualmente, vê-se que existe um crescimento do comércio de microcomputadores portáteis, de forma que sua participação no mercado esta se igualando aquela de microcomputadores comuns (ou microcomputadores de mesa).

A oferta de alguns componentes, como os microprocessadores, está concentrada em apenas duas empresas: Intel e AMD, que correspondem a quase 100% dos microprocessadores comercializados. Para outros componentes, como dispositivos de memória e placas-mãe, a diversificação de mercado e a grande oferta trouxe maior acessibilidade e uma grande diminuição do preço dos microcomputadores e microcomputadores portáteis.

Segundo Melo *et al* (1995), no Brasil, as mudanças relacionadas à indústria de informática foram mais intensas na década de 90, onde as mudanças no padrão de concorrência global, a entrada em vigor da Lei de Informática (Lei 8.248/91, que instituiu, em linhas gerais, incentivos e contrapartidas para as empresas), a queda das tarifas de importação e o estabelecimento do PPB (Processo Produtivo Básico) como critério de valor agregado para a informática, deram um grande impulso ao setor. Paralelo a isso, tem-se a Política Nacional de Informática (PNI), que incluiu entre suas prioridades o desenvolvimento da capacitação tecnológica das empresas brasileiras no âmbito dos seus produtos e processos produtivos. Esse crescimento fez com que as empresas nacionais buscassem associações com parceiros externos, de forma a garantir o acesso a novas tecnologias e produtos. Paralelo a esse

movimento das empresas nacionais, muitos fabricantes internacionais inseriram-se no mercado local.

Para Tavares (2001), outro fator que impulsionou o crescimento do setor de informática no país foi o esforço empreendido pelo governo federal na criação de uma infraestrutura de pesquisa e ensino de pós-graduação nas áreas de ciência e tecnologia, como objetivo de desenvolver produtos e sistemas de informática antes importados.

Conforme Melo *et al* (1995), o abastecimento de componentes eletrônicos no país se dá principalmente por fornecedores de Taiwan, porém atualmente vê-se uma crescente produção de componentes internamente, viabilizado pelas associações de empresas nacionais com os grandes fabricantes mundiais. Hoje, itens como monitores de vídeo, gabinetes, fontes de potência e teclados tem expressiva participação de fabricantes nacionais.

Segundo Tavares (2001), a indústria de hardware está praticamente toda localizada no Centro-Sul do País, com algumas pequenas plantas em Manaus e em Ilhéus. Esta indústria tem ênfase na montagem, em nível CKD (completely knocked down), de microcomputadores, monitores e PCIs, além da utilização de gabinetes e peças de plástico, circuitos integrados a semicondutores, discos rígidos, cenoscópios e algumas PCIs, todos importados.

2.3.2 Impactos ambientais do setor de eletroeletrônicos e de microeletrônicos

Todo o crescimento do setor eletroeletrônico traz consigo um grave problema que começa a ganhar espaço para discussões, relacionado ao destino do chamado “lixo eletrônico”. Esse lixo contém substâncias tóxicas como o mercúrio, cádmio e chumbo, que podem contaminar o meio ambiente, e seu gerenciamento pressiona as empresas geradoras a buscar soluções para seu controle e descarte. De acordo com Aguilar (2009), os resíduos eletrônicos representam em torno de 5% de todo o lixo produzido pela humanidade. O Brasil produz em média 2,6Kg de lixo eletrônico por habitante, o equivalente a menos de 1% da produção mundial de resíduos, porém, este número está aumentando; cerca de 50 milhões de toneladas de eletrônicos são descartados por ano em todo o mundo.

Segundo Leite *et al* (2009), grande parte do “lixo eletrônico” é formado por computadores e outros produtos do setor de informática; este lixo é alimentado pela rápida obsolescência desses materiais. Segundo Holzmann *et al* (2009), em países desenvolvidos, o tempo médio de vida útil de um computador é de aproximadamente dois anos, enquanto no

Brasil, a média é de 4,5 anos. Porém, a tendência é que estes números diminuam, tendo em vista o crescimento acelerado da venda do produto.

Ainda de acordo com Leite *et al* (2009), cerca de 240 quilos de combustíveis fósseis, 22 quilos de produtos químicos e 1.500 quilos de água são necessários para construir um único computador, ou seja, consome até 10 vezes o seu próprio peso. A Figura 13 resume a composição média de computadores:

Composto	%
Metais Ferrosos	32%
Plástico	23%
Metais não-ferrosos (chumbo, cádmio, belírio, mercúrio)	18%
Vidro	15%
Placas eletrônicas (ouro, platina, prata e paládio)	12%

Figura 13 – Materiais na composição do computador.
Fonte: Leite *et al* (2009) apud PNUMA (2007)

Além de todos os materiais que compõem os aparelhos eletrônicos, tem-se também aqueles materiais utilizados no processo de transformação, como óleos para motores, gases expelidos por máquinas, água utilizada em processos de limpeza, dentre outros. Estes materiais indiretos também causam danos ao meio ambiente, e devem ser tratados de maneira adequada, de forma a atender a legislação vigente.

Segundo Santos e Souza (2009) até o ano de 2004 foram descartados cerca de 315 milhões de microcomputadores em todo o mundo. No Brasil, neste mesmo período, houve o descarte de cerca de 1 milhão de equipamentos. Isto causa, além da ocupação de grandes espaços, o problema da toxicidade de alguns metais pesados que compõem os equipamentos.

Muitos dos componentes encontrados nos equipamentos eletrônicos podem ser reciclados ou reutilizados. Quando tais equipamentos são descartados, há uma agressão dupla ao meio ambiente, resultado da disposição incorreta dos resíduos, e pela perda de matérias-primas que poderiam ser reutilizadas.

De acordo com Aguilar (2009), o chumbo, o mercúrio, o cádmio, o cromo e o arsênio são metais componentes de computadores que, naturalmente, não fazem parte de nenhum organismo, e não desempenham funções nutricionais e nem bioquímicas, em

microorganismos, plantas ou animais. Assim, sua presença ou contato com organismos vivos é extremamente prejudicial. Sua disposição em lixões comuns acabam contaminando o solo e a água. Sua extração do meio ambiente já causa danos, desde o transporte, até o uso de água na fabricação dos bens finais.

O mercúrio, muito utilizado em computadores, monitores e TVs de tela plana pode causar danos cerebrais e ao fígado. O chumbo, também muito utilizado, pode causar náuseas, perda de coordenação e memória, podendo levar à morte.

Por essas razões, é extremamente importante que esses metais sejam reciclados dos equipamentos em desuso para serem reaproveitados nos novos. Esta é a forma de fechar o ciclo de um setor de eletroeletrônico, reutilizando recursos naturais não renováveis e que têm um custo muito alto, como ouro, prata, cobre, ferro, alumínio e outros, que não podem ser desperdiçados.

2.3.3 Iniciativas dos setores em relação às questões ambientais

Várias leis e normas surgem constantemente para regular o descarte de materiais nocivos ao meio ambiente. Segundo Holzmann *et al* (2009) atualmente, a questão ambiental tem alcançado destaque para as organizações, mostrando-se em sistemas corporativos conscientes e ativos como uma meta que vai além das certificações e comprometimento com as legislações vigentes. Diversas empresas adotam práticas ambientalmente responsáveis que se traduzem em vários benefícios para a sociedade, e também economicamente para a empresa.

Leite (2003) afirma que algumas legislações ecológicas estão impondo o uso de selos verdes para identificar produtos corretos com o meio ambiente, identificação para os produtos de pós-consumo que podem ou não ser descartados nos aterros sanitários e as restrições ao uso de produtos que utilizaram matérias-primas secundárias no seu conteúdo. Assim a legislação influencia a logística reversa, de forma a obrigar as empresas a tomar atitudes quanto à destinação dos seus resíduos.

De acordo com Leite *et al* (2009), as Nações Unidas já começaram a mobilizar-se para viabilizar a reciclagem do “lixo eletrônico” com o lançamento do programa StEP (Solving the E-Wast Problem), que almeja a criação de padrões mundiais de processos de reciclagem de

sucata eletrônica e a harmonização das legislações nacionais. O StEP conta com o apoio das maiores empresas fabricantes de equipamentos de informática e telecomunicações do mundo.

Conforme Leite *et al* (2009), no cenário mundial, a diretiva Waste, Electrical and Electronic Equipment (WEEE), estabelece quotas de recuperação de produtos e redução na quantidade de lixo eletrônico que chega aos aterros, e também responsabiliza os produtores e importadores de produtos eletroeletrônicos pelo ciclo de vida dos seus produtos, onde devem arcar com os custos de coleta seletiva, transporte, tratamento e reciclagem. Tem-se também a diretiva Restriction on the use of Hazardous Substances (RoHS), que tem como objetivo evitar ou diminuir a quantidade de produtos tóxicos e metais pesados que ingressam na União Européia. Essa legislação proíbe o uso de substâncias como cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cromo hexavalente (Cr(VI)), bifenilos polibromados (PBBs), éteres difenil-polibromados (PBDEs) e chumbo (Pb).

A Convenção de Basileia (The Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal) é um tratado firmado em 1989 e tem como objetivo fiscalizar o tráfego de lixo eletrônico no mundo. De acordo com Aguilar (2009), a preocupação com o envio de materiais e peças que não podiam mais ser utilizados, principalmente para países em desenvolvimento, alcançou níveis preocupantes, colaborando para a adoção desse tratado.

O Energy Star 5.0 é um selo que cobra dos fabricantes uma maior eficiência energética nos produtos. Segundo Aguilar (2009), o Energy Star 5.0 é oriundo da agência de proteção do meio ambiente dos EUA, e é um dos selos mais cobiçados pelas empresas que já atentaram à importância das questões ambientais.

De acordo com Santos e Souza (2009), países como o Japão, China, alguns países Europeus e parte dos EUA, adotaram o programa de solda sem chumbo, também conhecida como tecnologia “lead free”. Neste programa, não é admitida a comercialização de quaisquer produtos eletroeletrônicos que contenham chumbo acima de 0,1% ou 1.000 PPM em peso de cada item eletrônico, pois o chumbo é o metal mais presente em módulos eletrônicos, e participa em 37% do peso de uma liga de solda, devendo ser substituído por outros metais não danosos.

Nesse contexto, as empresas começam a implementar processos de logística reversa. Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1999), a logística reversa pode ser entendida como o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, do custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques em processo, produtos acabados e informações relacionadas do ponto de consumo ao ponto de origem com o objetivo de re-agregar valor ou efetuar o

descarte adequadamente; as atividades de logística reversa consistem em coletar os materiais utilizados, danificados ou até mesmo rejeitados, produtos fora de validade, a embalagem e transporte do ponto do consumidor final até o revendedor. Esse processo possibilita tanto a diminuição dos impactos ambientais causados por produtos elétricos e eletrônicos, quanto tornar as organizações mais sustentáveis.

Outra ferramenta que é amplamente utilizada para otimizar os processos de uma empresa com relação aos aspectos e impactos ambientais, econômicos e sociais existentes é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que, segundo Holzmann *et al* (2009), contempla a análise de todo o processo de fabricação do produto, desde a retirada da matéria-prima até a destinação do produto pós-uso pelo consumidor, funcionando também como facilitadora na tomada de decisões e antecipação a possíveis legislações futuras, bem como ferramenta de melhoria contínua nos sistemas de gestão ambiental. Conforme Prado (2007), o processo de ACV pode ser utilizado em conjunto com outras ferramentas como auditorias e diagnósticos ambientais, e modelos de quantificação de impactos ambientais.

No mundo, existem exemplos de empresas que já promovem de maneira aberta sua preocupação com o meio ambiente. Conforme Aguilar (2009), a IBM recicla 75% do seu material de escritório, e 99,75% do descarte dos seus parques tecnológicos tem seu destino em empresas de coleta seletiva. A Apple desenvolve produtos com foco no meio ambiente, através tecnologias que demandem menor consumo de energia, e uso de matérias primas que não sejam nocivas à saúde.

No Brasil, a discussão sobre o papel social das empresas ganha cada vez mais força, pois diante da integração de mercado, queda de barreiras e surgimento de novos concorrentes, as empresas viram-se obrigadas a mudarem suas estratégias de negócios e padrões gerenciais para que pudessem enfrentar os desafios e aproveitarem as oportunidades decorrentes da ampliação de seus mercados, além de se responsabilizar pela preservação ambiental e pelo bem-estar social, que atualmente são condições necessárias para o sucesso de um empreendimento.

Conforme Leite *et al* (2009), no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) já propõe avanços para uma legislação de responsabilidade ambiental. Segundo os autores Leite *et al* (2009), algumas empresas brasileiras já adotam medidas para prevenção de riscos ambientais. Um exemplo é a Itautec, que possui contratos com seus clientes, que retornam o computador para a reciclagem após certo período de uso. Os materiais descaracterizados são enviados para os seus respectivos recicladores. Essa prática auxilia na melhoria da imagem da empresa, além de retirar de circulação os produtos obsoletos que

acabariam perfazendo o “mercado cinza”, ou mercado paralelo. Outras empresas, como a San Lien, coletam e recebem sucata de eletrônicos, as descaracteriza, e envia o material para reciclagem no exterior. A empresa Vivo, adotou urnas nas quais os consumidores podem descartar celulares, baterias e acessórios. O montante arrecadado com a reciclagem é revertido principalmente para instituições de caridade. O Banco do Brasil desenvolveu um novo data Center que usa geradores que emitem menos poluentes. A água utilizada no setor é captada da chuva, e a refrigeração é feita com gases não agressivos à camada de ozônio.

Segundo Aguilar (2009), o Brasil possui a Rede nacional de reciclagem de computadores, que contempla a implantação de Centros de Recondicionamento e Reciclagem de Computadores (CRC), contido no Projeto Computadores para Inclusão (CI), cujo objetivo é recuperar milhares de computadores descartados anualmente pelos órgãos governamentais e pela iniciativa privada e destiná-los à iniciativas de inclusão digital. Essa iniciativa é baseada no projeto Computers for Schools (CFS) do Canadá, que possui apoio de organizações não-governamentais na coleta, reparo e distribuição de computadores doados por governos, empresas e indivíduos.

O Brasil também possui o Selo Procel de economia de energia, que tem por objetivo orientar o consumidor no momento da compra, mostrando os produtos que possuem os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria de equipamento, além de estimular a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente.

Porém o Brasil ainda está muito distante de solucionar os problemas ambientais advindos das suas empresas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos provavelmente irá atender de forma especial o lixo eletrônico, porém sua implantação demandará tempo. Conforme Aguilar (2009), as leis do país não são tão rigorosas. A maioria dos fabricantes de eletroeletrônicos no Brasil é multinacional e segue as normas das matrizes que, por sua vez, seguem diretrizes internacionais. Quanto aos fabricantes menores e fornecedores, são obrigados a seguir estas normas internacionais para que consigam fornecer alguns produtos.

3 METODOLOGIA

Segundo Vergara (2009) a pesquisa exploratória é realizada em uma área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado, sendo, portanto uma sondagem, e a pesquisa descritiva, por sua vez, expõe características de determinada população ou fenômeno, servindo de base para explicar os fenômenos que descreve. Portanto, quanto aos fins ou objetivos, esta pesquisa é classificada como **exploratória** pelo fato de estudar uma indústria de microeletrônica, onde não existem muitos estudos descritos na literatura abordando os aspectos, impactos e práticas ambientais deste tipo de organização, e **descritiva**, pois faz-se a descrição dos processos da organização e seus respectivos aspectos e impactos ambientais, através da utilização da ferramenta FMEA.

De acordo com Vergara (2009), uma pesquisa de campo é uma investigação realizada onde ocorre ou ocorreu um fenômeno ou que dispõe de elementos para explicá-lo, utilizando-se de entrevistas, questionários ou outros meios para levantar dados, enquanto o estudo de caso é circunscrito a uma ou poucas unidades, podendo ser uma empresa, com caráter de profundidade e detalhamento. Dessa forma, quanto aos meios ou objeto, esta pesquisa é classificada como uma **pesquisa de campo**, pois caracteriza-se pelo contato direto do investigador com o fenômeno em estudo, com para avaliar os processos e os aspectos e impactos das atividades de uma indústria de microeletrônica, e um **estudo de caso**, pois permite um amplo detalhamento e conhecimento da empresa estudada, através de um estudo profundo de seu processo produtivo.

Assim, o caso estudado foi na Empresa X, situada na cidade de Campina Grande, que trabalha com a produção e comercialização de microcomputadores, microcomputadores portáteis e placas de circuito impresso, portanto inserida na área de microeletrônica e propensa a gerar resíduos nocivos ao meio ambiente.

As fontes utilizadas no estudo foram as Primárias e Secundárias. Conforme Andrade (1997), as fontes primárias de pesquisa podem utiliza-se de observações, entrevistas (estruturadas ou semi-estruturadas), história de vida, questionários (fechados, abertos e mistos), formulários e pesquisas de mercado para operacionalizar a pesquisa, de forma a recolher e reter os dados obtidos, enquanto as fontes secundárias de pesquisa incluem a pesquisa bibliográfica e documental, através de bibliotecas, acervos de arquivos públicos ou particulares. Assim, esta pesquisa utilizou como **fontes primárias** de pesquisa um roteiro de entrevista **semi-estruturada**, onde a coleta de informações se deu através de um roteiro

baseado nas etapas do processo produtivo, de forma a descrever todo o processo, os impactos referentes a cada etapa e as práticas adotadas em relação à questão ambiental, no qual os entrevistados – Diretor Industrial, Gerente de Produção e dois Supervisores – mantiveram-se livres para falar sobre o tema proposto. Ainda como fonte primária de pesquisa, foi utilizado um **questionário** aplicado aos membros representativos da empresa, representados pelo Diretor Industrial, o Gerente de Produção e dois Supervisores dos processos produtivos, além da **observação participante** do pesquisador, o qual estava inserido no caso a ser estudado, por trabalhar na empresa há cinco anos. Quanto às **fontes secundárias** de pesquisa, foram utilizados documentos, relatórios, manuais, formulários, dentre outros.

De acordo com Reis (2008), a abordagem qualitativa da pesquisa é utilizada para analisar os dados e as informações colhidas na literatura e pesquisa indireta e direta, tendo como objetivo interpretar e dar significados aos fenômenos analisados. A abordagem quantitativa da pesquisa caracteriza-se pelo uso da quantificação na coleta e no tratamento das informações por meio de técnicas estatísticas, com o intuito de garantir resultados e evitar distorções de análise e de interpretação, traduzindo em números as informações analisadas e dados coletados. Dessa forma esta pesquisa realizou uma **análise qualitativa** no que diz respeito à identificação do processo produtivo, impactos e práticas ambientais da empresa, de forma a serem analisados utilizando a ferramenta FMEA. A **análise quantitativa** foi realizada através da utilização da ferramenta FMEA, de forma a caracterizar e avaliar de forma quantitativa os aspectos e impactos gerados pela empresa, propondo ao final da análise, ações de controle. A Figura 14 mostra a ferramenta FMEA adaptado a partir do modelo desenvolvido por Andrade e Turrioni (2000):

LOGO DA EMPRESA	DESCRIÇÃO DO FORMULÁRIO							Nº DOC.:			
								PÁG.:			
								REV.:			
ASSUNTO: IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS											
Etapa do Processo	Resíduo Gerado	Causa Potencial	Identificação		Avaliação				Conceito (Intensidade do Impacto)	Ação de Controle ou Contenção	Ações da Empresa
			Aspectos	Impactos	≧	≡	>	TOT			

LEGENDA

M	F	V	TOT
Magnitude	Frequência	Volume	Total da Soma M+F+V

Figura 14: Modelo de tabela da ferramenta FMEA utilizada na pesquisa.
Fonte: Elaboração própria baseada nos modelos desenvolvidos por Andrade e Turrioni (2000).

Para esta adaptação, os campos onde o responsável pelo plano de ação e data prevista, e os resultados foram omitidos, além do parâmetro de Grau de Detecção, pois a característica do atual estudo reside apenas na descrição e mensuração dos dados. Outros campos foram apenas renomeados; o campo Processo passou a se chamar “Etapa do Processo”, Forma Atual de Controle passou a se chamar “Ações da Empresa”, Ação Recomendada passou a se chamar “Ação de Controle ou Contenção”, Gravidade ou G passou a se chamar “Magnitude” ou “M”, Ocorrência ou O passou a se chamar “Frequência” ou “F”, e o IRA passou a se chamar “TOTAL”. Foram acrescentados os campos “Resíduo Gerado” e “Volume” ou “V”. Todas as modificações foram desenvolvidas visando uma melhor adaptação a empresa estudada, além de gerar uma melhor facilidade de compreensão dos dados ao final da análise.

Os campos foram preenchidos conforme os requisitos abaixo:

- **Etapa do processo:** Inserir o nome do processo responsável pela geração do resíduo, e identificar o processo produtivo no qual está incluído;
- **Resíduo Gerado:** Inserir o resíduo gerado pela atividade;
- **Causa Potencial:** Descrição da ação que possa resultar na geração dos resíduos;
- **Identificação:**
 - **Aspectos:** Elemento resultante do processo da empresa que possa interagir com o meio ambiente. Neste caso, insere-se a descrição da ação. Ex.: Descarte de papel/papelão;
 - **Impactos:** Modificação do meio ambiente resultado da ação dos processos da empresa. Neste caso, insere-se o resultado dos aspectos no meio ambiente.
- **Avaliação:**
 - **M ou Magnitude:** Representa a gravidade do impacto, considerando sua abrangência espacial (dimensão do dano) e reversibilidade (capacidade de remediar), podendo ser pontuada conforme critério da figura abaixo:

Magnitude	Critério	Pontuação
Baixa	Impacto desprezível/restrito ao local de ocorrência, reversível com ações imediatas, sem possibilidade de danos pessoais.	1
Média	Impacto considerável ao local de ocorrência, reversível com ações mitigadoras, com danos pessoais reversíveis.	2
Alta	Impacto de grande extensão e/ou consequência irreversíveis, mesmo com ações mitigadoras, com danos pessoais irreversíveis.	3

Figura 15: Critérios para pontuação da Magnitude dos impactos ambientais.

Fonte: Elaboração própria baseada nos modelos desenvolvidos por Andrade e Turrioni (2000).

- **F ou Frequência:** Representa a probabilidade de ocorrência do impacto, podendo ser pontuada conforme critério da figura abaixo:

Frequência	Critério	Pontuação
Baixa	Impacto improvável de ocorrer.	1
Média	Impacto provável de ocorrer.	2
Alta	Impacto esperado que ocorra	3

Figura 16: Critérios para pontuação da Frequência dos impactos ambientais.

Fonte: Elaboração própria baseada nos modelos desenvolvidos por Andrade e Turrioni (2000).

- **V ou Volume:** Representa a quantidade do resíduo gerado no mês, podendo ser pontuada conforme critério da figura abaixo:

Volume	Critério	Pontuação
Baixo	Resíduo gerado menor que 499Kg (VOL<499) mensais.	1
	Resto de óleo usado do compressor menor que 5L (VOL<5L) mensais.	
Médio	Resíduo gerado maior que 500Kg e menor que 1.999Kg (500<VOL<1999) mensais.	2
	Resto de óleo usado maior que 5L e menor que 10L (5L<VOL<10L) mensais.	
Alto	Resíduo gerado maior que 2.000Kg (VOL<2000) mensais.	3
	Resto de óleo usado maior que 10L (VOL<10L) mensais.	

Figura 17: Critérios para pontuação do Volume dos resíduos.

Fonte: Elaboração própria baseada nos modelos desenvolvidos por Andrade e Turrioni (2000).

- **TOT ou Total:** Dado pela soma $M + F + V$.
- **Conceito (Intensidade do Impacto):** Preenchido conforme o resultado apresentado no Total. Caso o resultado esteja entre 1 e 3 ($1 \leq \text{TOTAL} \leq 3$), o campo será preenchido com o termo “Baixa”, pois sua classificação conforme os critérios indica magnitude, volume e frequência baixas, representando um impacto pequeno ou nulo. Caso o Total tenha um resultado entre 4 e 6 ($4 \leq \text{TOTAL} \leq 6$), este campo deve ser preenchido com o termo “Média ou Moderada”, pois este total indica que algum dos critérios apresentou um nível médio, sendo suficiente para que sejam tomadas ações de contenção ou controle. Caso o Total tenha um resultado entre 7 e 9 ($7 \leq \text{TOTAL} \leq 9$), este campo deve ser preenchido com o termo “Alta”, pois este total indica que algum dos critérios apresentou um nível alto, necessitando de medidas especiais de ação de contenção ou controle.

- **Ação de Controle ou Contenção:** Ação para controlar ou mitigar o impacto ambiental de algum aspecto, proveniente das atividades geradoras. Devem-se inserir também as práticas ambientais recomendadas para o tratamento do impacto ambiental, baseadas nas especificações de cada tipo resíduo, em instruções contidas nas embalagens dos produtos, e em documentações provenientes dos fornecedores, como a FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico).
- **Ações da Empresa:** Apresentar as ações que já são tomadas pela empresa em relação aos impactos descritos, ou as ações que estão em processo de implantação.

As Figuras 14, 15, 16 e 17 foram elaboradas baseando-se no modelo de FMEA desenvolvido por Andrade e Turrioni (2000), e adaptados aos processos produtivos da empresa estudada.

A pesquisa foi realizada no período de **2 a 13 de Maio de 2011**, respeitando a disponibilidade da empresa e dos entrevistados para responder os questionamentos. Assim, foram entrevistados 4 indivíduos, sendo 1 diretor industrial, 1 gerente de produção e 2 supervisores dos setores de produção, considerados representativos, por terem conhecimento aprofundado dos processos produtivos e administrativos da empresa, sendo portanto conhecedores dos impactos e práticas ambientais, e tendo o controle dos demais membros da empresa. Dessa forma também foram definidos os **sujeitos da pesquisa**, por fornecerem os dados que formaram a base para a definição dos aspectos, impactos e práticas ambientais requeridos pelo estudo.

Quanto aos aspectos operacionais da pesquisa, inicialmente foram entrevistados o Diretor Industrial e o Gerente de Produção da Empresa X, de forma a definir e identificar o processo produtivo, os impactos e as práticas ambientais desenvolvidos. A partir das informações coletadas nestas entrevistas, foi elaborado um questionário baseado no FMEA e adaptado aos processos da empresa, para a avaliação dos impactos descritos anteriormente. Este questionário foi aplicado junto ao Diretor Industrial, ao Gerente de Produção, e a dois supervisores dos setores de produção estudados, de forma a cruzar as informações e chegar a uma avaliação única e precisa dos impactos levantados. Assim, a avaliação final deu-se com o uso da ferramenta FMEA, onde foram listados os processos e impactos levantados, sua avaliação, as práticas a serem adotadas, além de apresentar aquelas já implantadas pela empresa.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 A Empresa

A Empresa X, especializada em Tecnologia e Soluções em Hardware para o mercado corporativo, foi fundada no ano de 2005, e atua principalmente na região Nordeste do País. Sua unidade fabril está localizada em Campina Grande, Estado da Paraíba, pólo regional de desenvolvimento, focado em setores com elevado potencial de agregação de valor e gerador de empregos e renda, notadamente em tecnologia da informação, constituindo assim um berço de engenheiros e técnicos em tecnologia de informação, ou seja, mão-de-obra qualificada para o desenvolvimento das atividades industriais na área de informática. Sua unidade comercial está localizada na cidade de Recife, Estado de Pernambuco.

A Empresa X produz equipamentos de informática, dentre os quais estão microcomputadores, microcomputadores portáteis e placas de circuito impresso, comercializando também diversos periféricos como monitores e impressoras.

Em 2007 a Empresa X alcançou a certificação segundo a NBR ISO 9001:2000 do seu processo de montagem e comercialização de microcomputadores, tendo seu sistema migrado em 2009 para a nova versão da Norma NBR ISO 9001:2008, e a extensão do seu escopo de certificação para: Montagem e comercialização de microcomputadores e microcomputadores portáteis.

No ano de 2009 a Empresa X implantou mais um processo de montagem em sua indústria, a linha de montagem SMD e PTH, para produção de placas de circuito impresso, visando atender sua demanda interna e futuramente a demanda externa, evidenciando cada vez mais a busca pela constante atualização tecnológica da empresa e um melhor posicionamento no mercado. Em 2010 este novo processo de montagem foi incluído no escopo de certificação ISO 9001:2008.

A partir da crescente preocupação mundial com as questões ambientais, conforme as exigências legais e a visualização dos seus processos internos como geradores de resíduos perigosos para o meio ambiente, a Empresa X iniciou a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental integrado ao Sistema de Gestão da Qualidade, passando a ser chamado por Sistema de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente.

A maior preocupação da empresa X é com a qualidade dos seus produtos e serviços, para que os mesmos gerem satisfação constante para seus clientes. Para tanto, a Empresa X investe constantemente em capacitação técnica de seus colaboradores, bem como em pesquisas que garantam a constante atualização tecnológica de seus produtos. Além da qualidade, a Empresa X preocupa-se com a preservação ambiental e para isso vem conscientizando seus colaboradores e parceiros quanto às boas práticas ambientais, e monitorando os seus processos visando à redução dos impactos adversos no meio ambiente.

4.2 Etapas dos Processos Produtivos e seus respectivos impactos

Com base nos dados primários e secundários obtidos, chegou-se a uma definição dos processos produtivos e dos seus respectivos aspectos e impactos ao meio ambiente. A Empresa X possui dois processos produtivos, sendo o primeiro voltado para a produção de placas de circuito impresso, denominado Produção SMD/PTH (Figura 18), e o segundo voltado para a produção de microcomputadores e microcomputadores portáteis, denominado Produção Fine Assembly (Figura 19):

O processo de produção de placas de circuito impresso, ou Produção SMD/PTH, e os aspectos e impactos resultantes consistem nas seguintes etapas:

Produção SMD/PTH			
Etapa	Descrição	Aspecto	Impacto
1. Recebimento de Material	A matéria prima a ser utilizada, bem como os produtos químicos necessários para fabricação são recebidos, separados e organizados de forma a estarem preparados para alimentar as máquinas e postos de trabalho.	Descarte de papel/papelão, isopores, espumas e plástico das embalagens das matérias primas.	Alteração da qualidade do solo. Prejuízo para a fauna e flora.
2. Alimentação de máquinas e postos de trabalho	Os componentes eletrônicos são colocados nas máquinas de inserção de componentes, e os postos de trabalho são abastecidos com os materiais apropriados. Produtos químicos como soldas são	-	-

	colocados no nas máquinas e fornos.		
3. Máquina de inserção de componentes	A placa “nua” é inserida na máquina de inserção de componentes, os quais são inseridos e fixados através da placa, sendo presos por uma pasta de solda.	Descarte de resíduos de pasta de solda.	Alteração da qualidade do solo e da água. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.
4. Máquina de revisão	A máquina revisa a placa com os componentes inseridos de forma a identificar problemas com o processo de inserção.	-	-
5. Forno 1	A placa com os componentes inseridos passa para o forno, de forma que a pasta de solda derreta e fixe os componentes.	Exaustão de gases na atmosfera.	Alteração da qualidade do ar. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.
6. Revisão 1	A placa é revisada visualmente, de forma a detectar danos ou falhas na montagem.	-	-
7. Inserção manual de componentes	Os componentes de maior tamanho ou com materiais plásticos são inseridos manualmente.	-	-
8. Forno 2	A placa com os componentes de maior tamanho ou plásticos inseridos passa para o 2º forno, de forma que a solda presente neste forno fixe-os.	Descarte de resíduos de solda e exaustão de gases na atmosfera.	Alteração da qualidade do solo, água e ar. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.
9. Revisão 2	As placas são revisadas na saída do 2º forno, de forma a eliminar os terminais eletrônicos dos componentes e resíduos de solda.	Descarte de resíduos de solda.	Alteração da qualidade do solo e da água. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.
10. Testes	As placas são testadas em todas as suas funções, para detectar possíveis defeitos no processo produtivo.	-	-
11. Serialização e Embalagem	As placas aprovadas são serializadas e embaladas em embalagens anti-estáticas e caixas apropriadas.	-	-
12. Reparo	As placas reprovadas no processo produtivo passam por novos testes, e são consertadas por uma equipe técnica.	Descarte de resíduos de solda e eletrônicos.	Alteração da qualidade do solo e da água. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.
13. Uso geral	Energia elétrica para equipamentos e iluminação, água para uso geral,	Descarte de lâmpadas fluorescentes, o	Alteração da qualidade do solo, do ar, e da água.

	produtos químicos para limpeza e uso de compressor de ar.	consumo de energia elétrica, descarte de embalagens de produtos de limpeza e descarte do óleo do compressor de ar.	Aumento na demanda de energia elétrica. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.
--	---	--	--

Figura 18: Etapas do processo produtivo de placas de circuito impresso da Empresa X.
Fonte: Elaboração própria.

A Produção SMD/PTH conta com um total de 48 funcionários, distribuídos em três turnos de funcionamento, e sua capacidade estimada de produção é de 120.000 pentes de memória RAM, ou 8.400 placas mãe para microcomputadores portáteis, ou 14.400 placas mãe para microcomputadores por mês. As etapas deste processo produtivo que demandam maior atenção quanto aos aspectos e impactos ambientais são as máquinas de inserção de componentes, fornos, revisão e reparo, pois compreendem a geração de resíduos de solda, pasta de solda, eletrônicos, e emissão de gases, sendo motivo de preocupação por parte da empresa, pela necessidade de um controle rígido dos rejeitos que podem causar danos graves ao meio ambiente, devido a sua composição química.

O processo de produção de microcomputadores e microcomputadores portáteis, e os aspectos e impactos resultantes consistem nas seguintes etapas:

Produção Fine Assembly			
Etapa	Descrição	Aspecto	Impacto
1. Recebimento de Material e serialização	A matéria-prima é recebida, registrada no sistema da empresa e serializada.	Descarte de papel/papelão, isopores, espumas e plástico das embalagens das matérias primas.	Alteração da qualidade do solo. Prejuízo para a fauna e flora.
2. Separação de material e controle de seriais	A matéria-prima é separada conforme os pedidos de venda aprovados para montagem, de forma a montar um kit de peças que integram o item.	-	-
3. Tampografia	Com o cliente definido, o processo de tampografia estampa a logomarca do cliente no item e nos periféricos.	Descarte de resíduos de tinta, solventes, diluentes, catalisadores e papéis contaminados.	Alteração da qualidade do solo e da água. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.

4. Alimentação de postos de trabalho	Os itens são distribuídos nos postos de trabalho da linha de montagem.	-	-
5. Montagem	Os montadores integram as peças em uma montagem em série, de forma que cada montador controle apenas uma etapa da montagem.	Descarte de resíduos de papel/papelão e plástico de algumas embalagens de peças, e metal dos gabinetes de microcomputadores.	Alteração da qualidade do solo. Prejuízo para a fauna e flora.
6. Testes (Burn-In)	Os itens passam por uma bateria de testes, onde todas as suas funções são testadas exaustivamente à procura de falhas de montagem ou de peças.	-	-
7. Controle de Qualidade e Inspeção	Após testados, uma porcentagem dos itens é inspecionado para verificar a presença de outras falhas, ou de problemas físicos.	-	-
8. Embalagem	Caso sejam aprovados, os itens são embalados com plásticos apropriados, e encaixotados.	Descarte de resíduos de papel/papelão e plástico.	Alteração da qualidade do solo. Prejuízo para a fauna e flora.
9. Reparo	Os itens reprovados no processo produtivo passam por novos testes, e são consertados por uma equipe técnica.	Descarte de resíduo eletrônico.	Alteração da qualidade do solo e da água. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.
10. Uso geral	Energia elétrica para equipamentos e iluminação, água para uso geral, produtos químicos para limpeza e uso de compressor de ar.	Descarte de lâmpadas fluorescentes, o consumo de energia elétrica, descarte de embalagens de produtos de limpeza e descarte do óleo do compressor de ar.	Alteração da qualidade do solo, do ar, e da água. Aumento na demanda de energia elétrica. Prejuízo para a saúde humana, fauna e flora.

Figura 19: Etapas do processo produtivo de microcomputadores e microcomputadores portáteis da Empresa X.
Fonte: Elaboração própria.

A Produção Fine Assembly conta com um total de 40 funcionários, distribuídos em dois turnos de funcionamento, e sua capacidade estimada de produção é de 12.000 microcomputadores, ou 8.400 microcomputadores portáteis por mês. As etapas deste processo produtivo que demandam maior atenção quanto aos aspectos e impactos ambientais são a

tampografia e reparo, pois compreendem a geração de resíduos de eletrônicos, e de tinta, solventes, diluentes, catalisadores e papéis contaminados, que são causadores potenciais de poluição e danos ao meio ambiente.

Ainda com base nos dados primários e secundários obtidos, o descarte dos materiais descritos nos aspectos ambientais observados em ambos os processos da Empresa X podem ser detalhados da seguinte forma:

- a) **Descarte de papel/papelão:** Identificado na etapa 1 da Produção SMD/PTH (Figura 18), e etapas 1, 5 e 8 da Produção Fine Assembly (Figura 19). Todos os processos de recebimento de material, montagem e embalagem produzem resíduos de papel/papelão, por estarem em contato direto com a matéria-prima embalada nestes materiais; estes processos geram em torno de 1.200 Kg do material por mês. Seu descarte inadequado pode causar uma alteração da composição e contaminação do solo, visto que podem conter marcas impressas ou metalizadas. Outro fator de importância no correto descarte do papel/papelão é a possibilidade de que o material seja reaproveitado ou reciclado, o que diminui a necessidade de fabricação e a degradação ambiental pela destruição de matas para plantio das árvores produtoras da matéria-prima. A causa potencial deste aspecto é a negligência ao descartar os resíduos e/ou a não reciclagem.

- b) **Descarte de isopores:** Identificado nas etapas 1 dos processos de Produção SMD/PTH (Figura 18) e Produção Fine Assembly (Figura 19). Todos os processos de recebimento de material produzem resíduos de isopor, por estarem em contato direto com a matéria prima embalada nestes materiais; estima-se que estes processos geram em torno de 20 Kg do material por mês. Seu descarte inadequado pode causar a alteração da composição do solo, visto que os isopores são um tipo de plástico produzido a partir de um derivado do petróleo, o benzeno, e precisam de cerca de 500 anos para se decompor, sendo também cancerígenos, podendo vir a provocar a contaminação do solo, trazendo posteriores prejuízos à fauna e flora. A causa potencial deste aspecto é a negligência ao descartar os resíduos e/ou a não reciclagem.

- c) **Descarte de espumas:** Identificado nas etapas 1 dos processos de Produção SMD/PTH (Figura 18) e Produção Fine Assembly (Figura 19). Todos os processos de recebimento de material produzem resíduos de espuma, por estarem em contato direto

com a matéria prima acondicionada em caixas protegidas com este material; estima-se que estes processos geram em torno de 18 Kg de espuma por mês. Seu descarte inadequado pode causar a alteração da composição do solo, visto que as espumas podem ser constituídas por derivados do petróleo, além de silicone, estanho e corantes, dependendo do uso à que forem empregadas, podendo adquirir períodos de decomposição próximos ao dos plásticos e isopores (100 a 400 anos), vindo a provocar a contaminação do solo, trazendo posteriores prejuízos à fauna e flora. A causa potencial deste aspecto é a negligência ao descartar os resíduos e/ou a não reciclagem.

- d) **Descarte de plásticos:** Identificado na etapa 1 da Produção SMD/PTH (Figura 18), e nas etapas 1, 5 e 8 da Produção Fine Assembly (Figura 19). Todos os processos de recebimento de material, montagem e embalagem produzem resíduos de plástico (plásticos com consistência mais rígida, e também alguns flexíveis), por estarem em contato direto com a matéria prima embalada nestes materiais; estes processos geram em torno de 250 Kg do material por mês. Seu descarte inadequado pode causar a alteração da composição do solo, visto que alguns destes plásticos possuem marcas impressas ou metalizadas, além de necessitarem de um grande período para se decompor naturalmente (em média, 100 anos), o que pode provocar a contaminação do solo pelos compostos presentes em sua formulação, e posteriores prejuízos à fauna e flora. A causa potencial deste aspecto é a negligência ao descartar os resíduos e/ou a não reciclagem.
- e) **Descarte de resíduos de tinta, solventes, diluentes, catalisadores e papéis contaminados:** Identificado na etapa 3 da Produção Fine Assembly (Figura 19). O processo de tampografia utiliza as tintas, solventes e diluentes para promover a personalização das peças, e sua limpeza com uso de papéis. Assim, são descartadas diversas embalagens e resíduos desses produtos químicos, como também alguns papéis contaminados, perfazendo uma média de 10 Kg mensais. Segundo a documentação dos produtos químicos (FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico), os mesmos podem prejudicar o solo e a água, resultando também na contaminação da fauna e flora, devendo então seus resíduos ser incinerados. O contato direto com algumas dessas substâncias pode também trazer riscos à saúde humana. A causa potencial deste aspecto é a negligência no momento do descarte dos resíduos e/ou o derramamento acidental.

- f) **Descarte de metal:** Identificado na etapa 5 da Produção Fine Assembly (Figura 19). Durante o processo de montagem de gabinetes de microcomputadores, algumas chapas de metal são cortadas, e utiliza-se rebites para unir as peças, gerando resíduos de metal no processo, gerando cerca de 380Kg do material por mês. As ligas e metal podem ser constituídas de diversas matérias primas, podendo levar de 10 a 50 anos para se decompor naturalmente. Assim, eles podem afetar a qualidade e composição do solo. A causa potencial deste aspecto é a negligência no momento do descarte dos resíduos de metal e/ou a não reciclagem.
- g) **Descarte de resíduos de solda e pasta de solda:** Identificados nas etapas 3, 5, 8 e 9 e 12 da Produção SMD/PTH (Figura 18). A máquina de inserção de componentes recebe a pasta de solda, que ajuda a fixar os componentes eletrônicos na placa de circuito impresso; no final do processo, restam alguns resíduos da pasta, que contém muitos elementos nocivos ao meio ambiente. O mesmo descarte acontece nos fornos, na revisão e nos postos de reparo, onde existe o descarte da solda no momento da limpeza dos equipamentos, do conserto e da revisão; em média, cerca de 550 Kg de rejeitos deste material são descartados por mês no processo produtivo. Segundo a documentação dos produtos químicos (FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico), a solda é constituída por estanho, prata e cobre, os quais podem alterar a composição do solo, e causar o envenenamento da água, tornando-a imprópria para o consumo, afetando diretamente a fauna, flora, e a saúde humana. Dessa forma, a causa potencial deste aspecto é a negligência no momento de descartar os resíduos de solda e de pasta de solda, e/ou a falta de manutenção nas máquinas.
- h) **Descarte de resíduos eletrônicos:** Identificados na etapa 12 da Produção SMD/PTH (Figura 18), e etapa 9 da Produção Fine Assembly (Figura 19). Os setores de reparo são responsáveis pelo descarte da maior parte do lixo eletrônico da empresa. Ao consertar algumas peças, muitos componentes são inutilizados, ou peças completas são identificadas como defeituosas, resultando no seu descarte, que gera, em média, 1200 Kg de resíduos mensais. Os componentes e peças contêm diversos metais ferrosos, plástico, metais não-ferrosos (chumbo, cádmio, belírio, mercúrio), vidro, e placas eletrônicas (compostas por ouro, platina, prata, paládio), portanto, altamente nocivos ao meio ambiente, podendo afetar gravemente a composição do solo e provocar o

envenenamento da água, desencadeando prejuízos à fauna e flora locais, além de afetar a saúde humana. Dessa forma, a causa potencial deste aspecto é a negligência no momento do descarte do material, e/ou a não reciclagem.

- i) **Exaustão de gases na atmosfera:** Identificados nas etapas 5 e 8 da Produção SMD/PTH (Figura 18). Os fornos trabalham a altas temperaturas, de forma a derreter a solda responsável pela fixação dos componentes eletrônicos. Devido à composição da solda, alguns elementos químicos são expelidos durante o processo, resultando em uma exaustão de gases que afetam diretamente a atmosfera. A empresa realizou, através de terceiros, a medição da exaustão dos equipamentos, onde foi constatada a presença de componentes nocivos, em baixa quantidade, mas que podem contaminar a fauna e flora, além de fornecer riscos à saúde humana. Dessa forma, a causa potencial deste aspecto é o não uso de filtros nos fornos do setor, ou a falta de manutenção nos mesmos.
- j) **Descarte de lâmpadas fluorescentes:** Uso geral em todos os setores da Empresa X, com um volume médio de 3,3 Kg por mês, ou 11 lâmpadas. A causa potencial deste aspecto é a negligência no momento de descartar as lâmpadas fluorescentes em lixo comum e/ou a não reciclagem. Seu descarte inadequado pode contaminar o solo e a água, pois as lâmpadas fluorescentes são compostas de metais pesados, como o mercúrio, que é altamente poluente. Assim, a fauna e a flora podem sofrer contaminação pelos resíduos.
- k) **Consumo de energia elétrica:** Uso geral em todos os setores da Empresa X. Devido à natureza dos processos produtivos, alguns equipamentos necessitam funcionar em tempo integral, o que impede seu desligamento. A causa potencial deste aspecto é o consumo contínuo das máquinas e da iluminação da empresa. O uso inadequado da oferta de energia elétrica pode resultar em uma maior demanda pelo recurso.
- l) **Descarte de embalagens e resíduos de produtos de limpeza:** Uso geral em todos os setores da Empresa X, com volume estimado em 7 Kg mensais. A causa potencial deste aspecto é a negligência no momento de descartar os recipientes e resíduos dos produtos em lixo comum, ou por derramamento acidental. Seu descarte inadequado pode provocar a contaminação do solo e dos lençóis freáticos devido à composição

química dos produtos (Ex.: Alquil Benzeno, Sulfonato de Sódio, além de alguns derivados de petróleo), apesar da maioria dos componentes químicos ser biodegradável.

- m) **Descarte do óleo lubrificante do compressor de ar:** Uso geral nos setores de produção da Empresa X, com volume estimado em 15L mensais. A causa potencial deste aspecto é a negligência no momento de descartar o óleo do compressor em local inapropriado, e/ou o derramamento acidental no solo, e/ou a não reciclagem. Seu descarte inadequado pode provocar a contaminação do solo, o envenenamento dos lençóis freáticos, e a contaminação do ar, pois a poluição gerada pelo descarte de 1 tonelada deste material é equivalente ao esgoto doméstico de uma cidade com 40 mil habitantes, e sua queima indiscriminada, sem o tratamento prévio, gera emissões de óxidos metálicos, dioxina e óxidos de enxofre, trazendo também sérios danos à fauna e flora locais, além de prejuízos à saúde humana.

Em posse dessas informações, e com base em um questionário aplicado junto ao Diretor Industrial, ao Gerente de Produção e a dois Supervisores dos processos produtivos da Empresa X, seguiu-se o preenchimento do formulário baseado na ferramenta FMEA, para conceituar os aspectos e impactos apresentados, definir ações de controle ou contenção, e apresentar as práticas existentes na empresa.

4.3 Avaliação com a Ferramenta FMEA

Abaixo, a aplicação da ferramenta FMEA baseada nas informações obtidas à partir das informações coletadas. Para a identificação do Processo produtivo, adota-se “Processo 1” para Produção SMD/PTH, “Processo 2” para Produção Fine Assembly, e “Processo 1 e 2” para ambos:

EMPRESA		FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS DA EMPRESA X										N° DOC.: 001	
X		ASSUNTO: IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS										PÁG.: 001	
		Identificação		Avaliação*				Conceito e do Impacto)		Ação de Controle ou Contenção		Ações da Empresa	
Etapa do Processo	Resíduo Gerado	Causa Potencial	Aspectos	Impactos	M	F	V	TOT					
Recebimento de Material, montagem e embalagem (Processo 1 e 2)	Papel/Papelão	Descarte inadequado; Não reciclagem.	Descarte de resíduos de papel/papelão.	Contaminação do solo.	1 ↓	1 ↓	2 ↓	4 ↓		Média ou moderada	Remoção do solo contaminado; Entrar em contato com empresas fabricantes de papelão para definir o descarte do solo contaminado; Instalação de coletores específicos para os resíduos; Contratação de uma instituição que realiza coleta do material, ou reciclagem interna.	A empresa instalou lixeiras para coleta seletiva, e mantém parceria com uma cooperativa local que recolhe todo o papelão descartado, para realização de reciclagem. Os demais papéis são separados na coleta seletiva, porém não são destinados à reciclagem, sendo recolhidos pelo sistema municipal de coleta de lixo.	
Recebimento de Material (Processo 1 e 2)	Isopor	Descarte inadequado; Não reciclagem.	Descarte de resíduos de isopor.	Contaminação do solo; Danos à fauna e flora.	1 ↓	1 ↓	1 ↓	3 ↓		Baixa	Remoção do solo contaminado; Instalação de coletores específicos para os resíduos; Entrar em contato com o fabricante do isopor para definir o descarte do solo contaminado; Contratação de uma instituição que realiza a coleta do material, ou reciclagem interna.	Após triturar, a empresa armazena e reutiliza todo o material no processo de embalagem de microcomputadores e periféricos.	

*M = Magnitude, F = Frequência, V = Volume, e TOT = Total (M + F + V)

<p>Máquinas de inserção, fornos, revisão e reparo (Processo 1)</p>	<p>Resíduos de tinta, solvente, diluente, catalisador e papel contaminado.</p>	<p>Descarte inadequado; Derramamento acidental.</p>	<p>Descarte de resíduos de tinta, solvente, diluente, catalisador e papel contaminado.</p>	<p>Contaminação do solo e da água; Danos à saúde humana, fauna e flora.</p>	<p>3 ↓ 1 ↓ 1 ↓</p>	<p>Média ou Moderada</p>	<p>Remoção do solo contaminado; Contenção da água contaminada; Entrar em contato com o fabricante para definir o descarte da água ou solo contaminado; Encaminhar as pessoas doentes para o serviço de saúde local; A empresa deve entrar em contato com o fornecedor do material, para determinar a melhor forma de descarte.</p>	<p>A empresa armazena os recipientes e resíduos dos produtos, bem como os papéis contaminados, pois está desenvolvendo uma parceria com o fornecedor dos produtos localizado na cidade de São Paulo, para que o mesmo providencie o descarte adequado.</p>
<p>Máquinas de inserção, fornos, revisão e reparo (Processo 1)</p>	<p>Resíduos de solda e pasta de solda.</p>	<p>Descarte inadequado; Falta de manutenção.</p>	<p>Descarte de resíduos de solda e pasta de solda.</p>	<p>Contaminação do solo e da água; Danos à saúde humana, fauna e flora.</p>	<p>3 ↓ 2 ↓ 2 ↓</p>	<p>MBa</p>	<p>Remoção do solo contaminado; Contenção da água contaminada; Entrar em contato com o fabricante para definir o descarte da água ou solo contaminado; Encaminhar as pessoas doentes para o serviço de saúde local; Instalação de coletores específicos para os resíduos de solda e pasta de solda; A empresa deve entrar em contato com o fornecedor do material, para determinar a melhor forma de descarte.</p>	<p>A empresa armazena os resíduos de solda e pasta de solda de acordo com as respectivas FISQs. Os rejeitos de solda são enviados para o fornecedor localizado em São Paulo - SP e servem como descarte na aquisição de solda beneficiada. A pasta de solda gera poucos rejeitos, e é coletada pelo fornecedor localizado em Manaus - AM.</p>

De acordo com a Figura 20, foram identificados 13 tipos de resíduos gerados pelas atividades produtivas da Empresa X, dentre os quais apenas 6 foram conceituados como um impacto de **baixa** intensidade, 3 conceituados como de **média ou moderada** intensidade, e 4 como **alta intensidade**, demonstrando que cerca de 54% destes tipos de resíduos, e seus impactos potenciais devem ser analisados com cautela para a tomada de medidas ambientalmente corretas, visto que são de média a alta intensidade. Para todos os impactos levantados, a Empresa X possui ações implantadas, ou em implantação, condizentes com as ações de controle ou correção indicadas na Figura 20, o que demonstra a sua preocupação em manter um controle dos resíduos gerados em seus processos produtivos.

A geração de resíduos de isopor, espuma, plástico, metal, embalagem de produtos de limpeza, e consumo de energia elétrica obtiveram um total de 3 pontos, sendo conceituadas com uma intensidade do impacto considerada **baixa**, devido sua pontuação quanto a magnitude dos impactos gerados, a frequência de acontecimento destes, e o volume dos resíduos. Os resíduos de isopor, por serem gerados em pouca quantidade no processo de separação de materiais, são quebrados ou triturados, e totalmente reaproveitados no próprio processo produtivo, e em outros processos de venda, na embalagem de microcomputadores, microcomputadores portáteis e periféricos, devido à sua capacidade de isolamento e proteção contra impactos. O mesmo acontece com as espumas, as quais podem ser fragmentadas ou não, de acordo com o seu tamanho, e inseridas na embalagem dos produtos, o que caracteriza a total eliminação de ambos os resíduos, e conseqüentemente dos impactos potenciais.

Quanto aos plásticos, todos os resíduos são coletados nos processos de separação de materiais, montagem e embalagem, e acondicionados em lixeiras específicas. Os plásticos flexíveis, semelhantes a sacolas, são armazenados em caixas, que são coletadas mensalmente por uma cooperativa localizada na própria cidade de Campina Grande - PB, que realiza a reciclagem ou venda do material. Em média, o volume total destes plásticos é de 210 Kg mensais. Os plásticos rígidos, que são gerados em pequena quantidade (cerca de 40 Kg mensais), são armazenados em uma área externa da Empresa X, porém não são reciclados, pois as instituições de coleta locais para reciclagem não trabalham com este tipo de material. Assim, a Empresa realiza o descarte através do sistema municipal de coleta de lixo, e está desenvolvendo uma parceria com uma empresa pernambucana, de forma a realizar o processo correto de destinação. Assim, a eliminação dos resíduos de plástico é considerada parcial, assim como é parcial a eliminação dos impactos potenciais.

Os resíduos de metais também são totalmente coletados no processo de produção de microcomputadores e microcomputadores portáteis, durante a montagem dos gabinetes dos

equipamentos. Os resíduos de chapas metálicas e rebites, que correspondem a uma média 380 Kg mensais, são encaixotados e separados em um local específicos da empresa. Mensalmente, uma sucata e uma cooperativa localizadas na própria cidade de Campina Grande – PB, realizam a coleta de todo o material para realizar a reciclagem ou venda, o que caracteriza a total eliminação dos resíduos, e conseqüentemente dos impactos potenciais.

Quanto às embalagens de produtos de limpeza, estas são devidamente separadas durante a coleta seletiva, após o consumo total, perfazendo uma média de 7 Kg de embalagens mensais. Não existe uma preocupação com os produtos químicos existentes, pois estes produtos de limpeza apresentam-se como biodegradáveis, de acordo com as informações existentes nas embalagens, disponibilizadas pelos próprios fabricantes. Porém a Empresa X não destina as embalagens para entidades que realizem a reciclagem do material, descartando-as junto ao sistema municipal de coleta de lixo. Assim, a eliminação das embalagens de produtos de limpeza, bem como a eliminação dos impactos potenciais não é realizada pela Empresa X.

Quanto ao consumo de energia elétrica, apesar de ser classificado como um impacto de baixa intensidade, recebe uma atenção especial. Como os processos produtivos são contínuos, funcionando em três turnos, exigindo que as máquinas, esteiras, computadores de usuários, lâmpadas e postos de testes estejam sempre em funcionamento, tem-se dificuldade em adotar medidas de redução de consumo. A Empresa X está adquirindo equipamentos de medição e monitoramento do consumo de energia, que serão instalados individualmente em todos os setores, tanto produtivos como administrativos. Assim ela pretende detectar os pontos de maior e menor consumo, de forma a planejar medidas e adquirir equipamentos que possam amenizar os impactos. Apesar desta dificuldade, a Empresa X mantém informativos afixados nos diversos ambientes de trabalho, que funcionam como lembretes para os funcionários, de forma a conscientizá-los quanto à economia de energia, e os benefícios tanto para a empresa, quanto para o meio ambiente. Assim, a eliminação do impacto potencial do consumo de energia é considerada parcial.

A geração de resíduos de papel/papelão, tinta, solvente, diluentes, catalisador, papéis contaminados, e lâmpadas fluorescentes obtiveram uma pontuação equivalente à conceituação de intensidade do impacto **média ou moderada**. Os resíduos de papel/papelão, que geram uma média de 1.200 Kg mensais, são recolhidos nos processos de separação material, montagem e embalagem, e separados devidamente em uma área específica da empresa através da coleta seletiva. Os papelões, que correspondem a uma média de 950 Kg, são coletados mensalmente por uma cooperativa localizada na própria cidade de Campina Grande – PB, que

faz a reciclagem do material. Os demais papéis gerados nos processos produtivos são separados, e a Empresa X realiza o descarte através do sistema municipal de coleta de lixo, e não desenvolve nenhum programa para reciclagem do material, apesar de ter evidenciado a procura por cooperativas que realizem o processo. Dessa forma, o eliminação dos resíduos de papel/papelão, bem como a potencialidade do impacto, são considerados parciais.

Para as tintas, solventes, diluentes, catalisadores e papéis contaminados, a empresa adotou a documentação disponibilizada pelo fornecedor dos produtos, denominada FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico), que indicam as melhores formas de tratamento e destinação dos resíduos dos produtos químicos, para desenvolver suas práticas internas. Em geral, estas práticas consistem em armazenar as embalagens e resíduos dos produtos químicos em latões de aço, e providenciar o descarte junto ao fornecedor ou a entidades governamentais. Porém, a empresa ainda está desenvolvendo uma parceria com o próprio fornecedor dos produtos, localizado na cidade de São Paulo – SP, que se prontifica a dar a correta destinação dos materiais de forma mensal, porém, sem que haja custos adicionais para si. Dessa forma, está sendo necessária a armazenagem momentânea até que este impasse seja solucionado. Assim, a eliminação do potencial impacto, e a eliminação dos resíduos, são considerados parciais.

No caso das lâmpadas fluorescentes, estas são separadas em lixeira apropriada, e em local isolado dos funcionários da empresa, de forma a evitar quebras acidentais ou contaminação, com uma média de 3,3 Kg (ou 11 lâmpadas) mensais, considerado um baixo volume de resíduos. Apesar dos riscos envolvidos com o manuseio de lâmpadas, a Empresa X ainda estuda a parceria com uma outra empresa pernambucana de coleta deste material. Porém, as empresas de coleta de lâmpadas realizam este serviço apenas quando existe uma disponibilidade mínima de resíduos, com média superior a 350 lâmpadas. Assim, a Empresa X mantém a coleta e armazenagem, que caracterizam uma eliminação parcial do impacto potencial e dos resíduos.

A geração de resíduos de solda e pasta de solda, peças e componentes eletrônicos, óleo, e emissão de gases obtiveram uma pontuação igual ou superior a 7 pontos, o que equivale à conceituação de intensidade do impacto **alta**, principalmente por causa da alta magnitude dos impactos, e moderados volumes e frequências de geração dos resíduos. Nestes casos, o tratamento que deve ser dado pela empresa em relação aos resíduos gerados é de extrema importância para que os impactos para o meio ambiente não sejam irreversíveis ou de grande extensão.

Os resíduos de solda e pasta de solda são armazenados de acordo com suas FISPQs (Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico), o que obriga a Empresa X a utilizar os recipientes vindos dos fabricantes para esta coleta. Mensalmente, são gerados de 550 Kg de rejeitos em média. Todos os resíduos de solda, também chamados de “borra de solda”, são acondicionados em latas de metal específicas para o material, fornecidas juntamente com a matéria-prima. A cada 2 meses, esse material é enviado para o fornecedor, localizado na cidade de São Paulo – SP, servindo como moeda de troca na aquisição de nova solda beneficiada. A pasta de solda recebe o mesmo tratamento, porém é enviada para um fornecedor localizado na cidade de Manaus – AM, para que seja realizado o descarte correto do material; neste caso, a pasta não serve como moeda de troca. Dessa forma, o impacto potencial e os resíduos de solda e pasta de solda são eliminados totalmente.

Os resíduos eletrônicos são separados durante o processo de reparo, onde há o descarte do material apresentado com defeito e sem possibilidade de reparo, contemplando componentes eletrônicos, fios e cabos, placas de circuito impresso, mouses, teclados, etc. Estes resíduos são colocados em lixeiras identificadas especificamente para este fim. Após esta separação, os resíduos são encaixotados, pesados e devidamente identificados, e depois armazenados em uma área específica do estoque da Empresa X. Assim, os resíduos são destinados a uma empresa paraibana localizada na cidade de Bayeux – PB, com uma periodicidade média de 3 meses, onde são descaracterizados e segregados de acordo com os tipos de material, sendo posteriormente enviados para empresas no exterior do país que realizam o reaproveitamento. Assim, os impactos potenciais e os resíduos são eliminados totalmente.

Os resíduos de óleo lubrificante são recolhidos e armazenados em tambores, em uma área externa da empresa devidamente isolada e protegida contra vazamentos. Dos 15L de óleo lubrificantes gerados mensalmente, apenas 4L ou 5L são coletados por uma loja da própria cidade de Campina Grande – PB, que comercializa equipamentos e ferramentas agrícolas, reutilizando o óleo para lubrificar os motores dos seus produtos. Esta loja faz a coleta de forma não formal, no momento da manutenção trimestral do compressor de ar da Empresa X, e não manifestou interesse em realizá-lo de forma a se comprometer com o correto descarte. A Empresa X está buscando convencer a loja com a coleta total dos resíduos, gerando um certificado que ateste o processo e o compromisso ambiental de ambas as partes. Assim, os impactos potenciais, e os resíduos de óleo lubrificante são eliminados parcialmente.

Quanto à emissão de gases, a Empresa X contratou uma instituição localizada na própria cidade de Campina Grande – PB, que realizou um teste nas chaminés dos

equipamentos que emitem gases na atmosfera, constatando que existe a emissão constante de uma pequena quantidade de elementos químicos nocivos. Porém, a instituição não emitiu um laudo final, que pudesse demonstrar quais elementos estão sendo expelidos, e quais as medidas cabíveis para o caso. A Empresa X, por sua vez, realiza a manutenção periódica dos equipamentos, e a devida limpeza das chaminés, de forma a evitar acúmulos prejudiciais, e aguarda a posição final da instituição responsável pela medição da emissão, para realizar o correto controle desse aspecto. Em contato prévio com o fornecedor dos equipamentos que contém as chaminés, ficou esclarecido pelos mesmos que a emissão de poluentes é mínima, não sendo suficiente para contaminar o ar. Dessa forma, os impactos potenciais, e os resíduos não são eliminados pela empresa.

A partir destes resultados, pode-se elaborar um resumo classificado a partir da intensidade do impacto potencial, que contempla os resíduos, os volumes gerado e reciclado, e o resultado das ações da empresa diante dos resíduos gerados e do impacto potencial.

Intensidade do impacto potencial	Resíduo	Volume médio mensal gerado	Volume médio mensal reciclado ou destinado corretamente	Resultado das ações da empresa
Baixa	Isopor	20 Kg	20 Kg	Eliminado totalmente
	Espuma	18 Kg	18 Kg	Eliminado totalmente
	Plástico	250 Kg	210 Kg	Eliminado parcialmente
	Metal	380 Kg	380 Kg	Eliminado totalmente
	Embalagens e resíduos de produtos de limpeza	7 Kg	0 Kg	Não eliminado
	Consumo de energia elétrica	Não informado	Não informado	Eliminado parcialmente
Média ou Moderada	Papel/Papelão	1.200 Kg	950 Kg	Eliminado parcialmente
	Tinta, solvente, diluente, catalisador e papel contaminado	10 Kg	0 Kg	Eliminado parcialmente
	Lâmpadas fluorescentes	3,3 Kg	0 Kg	Eliminado parcialmente
Alta	Resíduos de solda e pasta de solda	550 Kg	550 Kg	Eliminado totalmente

	Peças e componentes eletrônicos	1.200 Kg	1.200 Kg	Eliminado totalmente
	Gases	Não informado	Não informado	Não eliminado
	Óleo lubrificante	15 L	5 L	Eliminado parcialmente

Figura 21: Resumo de resíduos, volumes gerados e reciclados, e ações da empresa.
Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a Figura 21, a Empresa X possui 2 resíduos e impactos potenciais que não são eliminados, compreendendo a exaustão de gases poluentes, que não são filtrados, e as embalagens e resíduos de produtos de limpeza, que apesar de serem separados durante a coleta seletiva, são descartados junto ao sistema municipal de coleta de lixo. Em ambos os casos, a Empresa X ainda busca soluções para o problema, o que pode implicar no agravamento dos impactos e em danos ambientais mais complexos, caso a solução demore a ser tomada.

Outros 6 resíduos são eliminados parcialmente, compreendendo os plásticos, onde apenas os materiais flexíveis são totalmente reciclados; o consumo de energia elétrica, onde a empresa aplica somente programas de conscientização interna; o papel/papelão, onde apenas os papêes são totalmente reciclados; as tintas, solventes, diluentes, catalisadores e papéis contaminados, onde a empresa armazena os resíduos, porém não os destina para reciclagem; as lâmpadas fluorescentes, onde a empresa apenas armazena os resíduos e não destina à instituições de coleta; e o óleo lubrificante, que a empresa destina apenas parte do material para reaproveitamento. Em todos os casos, a Empresa X já procura desenvolver projetos para eliminar permanentemente os problemas, porém esbarra nas exigências das empresas de coleta e reciclagem, ou na aceitação de determinados resíduos por parte das cooperativas e fornecedores. Caso este impasse seja solucionado, os resíduos serão eliminados totalmente.

Os demais resíduos, compreendendo o isopor, espuma, metal, solda e pasta de solda, e peças e componentes eletrônicos, são tratados totalmente, devido principalmente à natureza dos resíduos, que são de fácil reaproveitamento, ou o acesso às empresas e cooperativas é mais viável e disponível, ou os fornecedores possuem procedimentos específicos para o tratamento dos resíduos.

A partir da análise da coleta dos dados, obtidos com base nas fontes primárias e secundárias de pesquisa, tem-se os subsídios para as considerações finais sobre o estudo, de forma a obter-se conclusões, constatações e/ou sugestões relacionadas à Empresa X, e à área estudada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ficou evidenciado que a Empresa X possui dois processos produtivos, identificados como Produção SMD/PTH e Produção Fine Assembly, responsáveis pela montagem de placas de circuito impresso, e pela montagem de microcomputadores e microcomputadores portáteis respectivamente. Também ficou evidenciado que a empresa gera diversos resíduos que resultam em possíveis impactos ambientais, relacionados à contaminação do solo, da água, do ar, da fauna e flora, e saúde humana.

Os impactos ambientais gerados pela empresa foram avaliados com uso da ferramenta FMEA. Dessa forma, ficou constatado que a empresa estudada mantém diversas práticas ambientais em relação aos resíduos gerados em seu processo produtivo, de forma voluntária, quando se tratam, por exemplo, de papelões, plásticos, metal, resíduos eletrônicos e lâmpadas; por questões econômicas, quando se tratam de resíduos de solda, ao servirem como moeda de troca para a empresa, ou por pressões da legislação, quando se tratam, por exemplo, de resíduos de produtos químicos que não podem ser descartados de qualquer maneira. Com essas práticas a empresa também busca a adequação à normas ambientais, visto que prepara-se para a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental, que fornecerá uma imagem de empresa ambientalmente responsável, a qual será revertida em maiores vendas e lucros.

Porém, a empresa esbarra em algumas dificuldades para encontrar organizações e cooperativas dispostas e aptas para realizar o serviço de reciclagem de maneira correta. Assim, a Empresa X acaba utilizando seus recursos de estoque para não descartar de forma inadequada a maioria dos resíduos, tentando contribuir da melhor forma possível com as questões ambientais. Entretanto, alguns resíduos gerados, como os plásticos rígidos e os papéis são descartados diretamente junto ao sistema municipal de coleta de lixo, de forma que o problema acaba sendo apenas transferido para o município, o que vem a colaborar com a poluição e a degradação ambiental ao final do ciclo de geração dos resíduos da empresa.

Cabe ressaltar que o município não dispõe de estrutura para colaborar com as questões ambientais, pois não realiza a coleta de lixo de forma a separar os materiais e destiná-los da forma adequada em aterros sanitários, e o destino final dos materiais acaba sendo em um lixão a céu aberto.

O simples fato de tratar os resíduos e destiná-los a empresas de coleta e reciclagem, não descaracteriza os resíduos como fontes de impactos ambientais. Nestes casos, a empresa

apenas repassa o problema gerado para que outras instituições façam a reutilização, porém durante este processo de reutilização, muitos desses rejeitos são descartados indevidamente, além do próprio processo gerar novas entradas para indústrias, que reiniciam todo o ciclo de produção e, como consequência, o processo de degradação ambiental. Dessa forma, o fato dos resultados apontarem a eliminação parcial ou total dos materiais, indica apenas que a eliminação aconteceu até o ponto onde a responsabilidade recai sobre a empresa.

Embora não seja possível generalizar os resultados, visto que o trabalho trata-se de um estudo de caso, pode-se afirmar que as empresas de microeletrônica lidam com componentes e tipos de resíduos semelhantes em seus processos produtivos, onde a maior preocupação está no descarte correto dos resíduos eletrônicos, de produtos químicos (tintas, solventes, diluentes, catalisadores e papéis contaminados), resíduos gerais de embalagens (papéis/papelões, plásticos, espumas e isopores), e resíduos de materiais usados no processo produtivo (solda, pasta de solda, metais, produtos de limpeza, gases, óleo lubrificante, lâmpadas fluorescentes e energia elétrica).

Assim, as informações geradas neste estudo podem contribuir para o setor no sentido de fornecer informações úteis para a redução dos impactos causados pelas atividades das indústrias microeletrônicas, através do correto tratamento dos aspectos inerentes aos processos produtivos, fornecendo também subsídios para que as indústrias possam exigir do poder público soluções quanto à coleta do lixo industrial, combatendo o descarte inadequado e garantindo a sustentabilidade ambiental.

Dessa forma, o estudo contribui com a empresa estudada, fornecendo-lhe um maior entendimento sobre os aspectos e impactos ambientais inerentes à sua atividade, e auxiliando-lhe a identificar dentro do seu processo produtivo as práticas já adotadas, e os pontos em que a empresa deve manter atenção e maior controle para prevenir os impactos potenciais que foram visualizados, de forma a melhorar o seu desempenho ambiental. A partir dos resultados levantados, podem-se fazer algumas ponderações sobre as questões que a empresa deve tratar, de forma que possa evitar o surgimento de problemas ambientais resultantes da falta de atenção ou não visualização dos detalhes constantes no seu processo produtivo e atividades gerais.

Em primeiro lugar, algumas atividades onde a empresa faz a eliminação parcial dos impactos e dos resíduos, foi adotada a estocagem dos materiais como solução temporária para os problemas. Porém, estas medidas podem comprometer os processos de logística da empresa, por exigirem a alocação de um grande espaço para manutenção das atividades, além de por em risco a segurança do meio ambiente e da saúde dos funcionários. Os resíduos de

tinta, solvente, diluente, catalisador e papel contaminado somam uma média de 10 Kg mensais, as lâmpadas geram cerca de 3,3 Kg, e o óleo lubrificante soma 10 L. Levando-se em conta o nível de contaminação que estes materiais podem gerar, e o volume que pode ser acumulado, a empresa deveria intensificar a ação de procura de empresas, instituições ou cooperativas de coleta, evitando problemas ambientais e de saúde futuros;

Em segundo lugar, no caso da coleta de resíduos eletrônicos, apesar de 100% dos materiais serem devidamente destinados, a periodicidade do serviço (3 meses) compromete também a logística da empresa, pois o volume médio de 1.200 Kg mensais, ou 3.600 Kg trimestrais ocupam um grande espaço que poderia ser destinado a outras tarefas. Neste caso, a empresa deve procurar reavaliar o contrato com a empresa coletora, que por localizar-se em uma cidade próxima a Campina Grande - PB, poderia realizar o serviço mensalmente. Neste ponto, a coleta de óleo lubrificante também deve ser revista; a Empresa X deve tomar ação diante da loja que coleta parte do material, eliminando esta parceria, e desenvolvendo um contrato com uma empresa com responsabilidade ambiental, que destine os 45 L médios trimestrais de óleo da forma correta;

Em terceiro lugar, os plásticos rígidos, que geram uma média de 40 Kg mensais, e os papéis, responsáveis por uma média de 250 Kg de resíduos, e que são descartados junto ao sistema municipal de coleta de lixo, devem ser destinados a entidades e cooperativas de reciclagem. Na própria cidade de Campina Grande – PB existem cooperativas que fazem a coleta dos papéis para reciclagem, restando à Empresa X entrar em contato e realizar a negociação conveniente para ambas as partes;

Em quarto lugar, o problema dos resíduos e embalagens de produtos de limpeza, que geram uma média de 7 Kg mensais, pode ser tratado da mesma forma que os resíduos de plásticos rígidos. Existem cooperativas e pequenas indústrias locais que reutilizam embalagens de produtos para outros fins. Como os materiais de limpeza empregados na Empresa X, em geral, são biodegradáveis, o problema reside apenas na correta destinação das embalagens;

Em quinto lugar, o maior problema da Empresa X está relacionado ao tratamento de emissão de gases pelas chaminés dos seus equipamentos de produção. Porém, a empresa deveria ter adotado medidas preventivas, como a aquisição de filtros para os equipamentos, o que viria a solucionar imediatamente os problemas com a exaustão de produtos químicos. A ação que a empresa deve tomar consiste apenas na aquisição destes dispositivos, e na cobrança pelos laudos da instituição responsável pela medição da emissão dos gases.

Em sexto lugar, a empresa deve dar continuidade ao uso da ferramenta FMEA, visto que sua contribuição não deve ser focada apenas no período de sua aplicação, mas sim deve-se considerar sua reavaliação em determinados períodos, de acordo com a conveniência da empresa, ou a cada mudança de processo, adição de procedimentos, uso de novos produtos químicos, desde que possuam a potencialidade de causar impactos ambientais. Dessa forma, este estudo pode obter uma continuidade, que auxiliará não só a empresa, como também o próprio meio ambiente.

Uma importante contribuição teórica do estudo reside na demonstração da viabilidade do uso da ferramenta FMEA para a análise dos aspectos e impactos ambientais, devido ao seu formato que confere organização ao trabalho realizado, e também a possibilidade de integrar em uma só ferramenta a descrição dos processos e seus respectivos aspectos e impactos, mensurando-os e definindo as práticas a serem utilizadas em cada caso específico. Assim, a ferramenta FMEA pode ser utilizada em diversos ambientes industriais, como a própria indústria microeletrônica. Uma segunda contribuição do estudo reside na ampliação do conhecimento sobre os aspectos, impactos e práticas ambientais de indústrias de microeletrônica, pois ainda é relativamente pouco explorada pelos pesquisadores e estudantes da área de gestão ambiental.

Dentre as limitações deste estudo, pôde-se identificar a possibilidade de ampliar os critérios ou parâmetros utilizados para avaliação dos impactos encontrados, adicionando-se, por exemplo, o critério de detecção, para medir o nível de facilidade ou não da detecção do impacto potencial.

Quanto às dificuldades do estudo, destacou-se o ato de mensurar precisamente as quantidades de determinados elementos constantes em alguns resíduos, como por exemplo os resíduos eletrônicos, que podem conter elementos como chumbo, cádmio, bário e mercúrio, que são tóxicos, e outros não tóxicos como o vidro. Assim, a medição conteve-se apenas no fato do resíduo conter ou não certos elementos químicos, sendo suficiente para a sua classificação perante os parâmetros utilizados.

Como sugestões para futuros estudos, pode-se indicar a aplicação do FMEA em outras empresas do setor de microeletrônica, bem como em quaisquer outros setores, visto que a ferramenta é flexível às especificidades das empresas. Cabe também como sugestão o uso do FMEA em outros estudos com um maior número de parâmetros, de forma a ter-se uma avaliação mais detalhada dos impactos.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, F. P. **Tecnologia da informação verde**: Uma abordagem sobre investimentos e atitudes das empresas para tornar socialmente sustentável o meio ambiente. São Paulo: FATEC, 2009. Disponível em: <<http://fateczl.edu.br/TCC/2009-2/tcc-23.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2011.

ANDRADE, M. M. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1997. Disponível em: <http://www.facape.br/controladoria/4/PESQUISA_CIENTIFICA.doc>. Acesso em: 02 mai. 2011.

ANDRADE, M. R. S.; TURRIONI, J. B. **Uma metodologia de análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do FMEA**. In: XX ENEGEP, 2000, São Paulo - SP, 2000. Disponível em: <http://www.iem.unifei.edu.br/turrioni/congressos/ENEGEP/2000/UMA_METODOLOGIA_DE_ANALISE.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2011.

ARAÚJO, L. O. C.; AQUINO, J. P. R.; ROTONDARO, R. G. **Análise e Aplicabilidade das Ferramentas da Qualidade no Serviço de Fôrmas como Auxílio ao Planejamento para Produção**. Em: ENEGEP, 21, 2001, Salvador – BA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14001**: sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2004.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BASTOS, A. L. A. **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Como Ferramenta de Planejamento da Qualidade** – Uma Avaliação da Aplicação em um Processo Produtivo de Usinagem de Engrenagem. XXVI ENEGEP, Fortaleza, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR470324_8144.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2011.

BORGES, M. S. et al. Tratamento resíduos galvânicos de laboratório da Universidade Federal do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador, 2005.

BROWN, L. **Eco-Economy**. EPI-Earth Policy Institute / UMA-Universidade Livre da Mata Atlântica, 2002. Disponível em: <<http://www.thesocialcontract.com/pdf/thirteen-one/xiii-1-22.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2011.

CAMPANI, D. B.; COIMBRA, N. S.; FERNANDES, T. G.; BIRNFELD, E. F. **Implementação do Sistema de Gestão Ambiental no Prédio da Engenharia Mecânica – UFRGS**. XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Punta del Este, Uruguay, 2006. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/BR09532_Campani,_Darci.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2011.

CARDOSO, L. M. F. **Indicadores de produção limpa**: uma proposta para análise de relatórios ambientais de empresas. Salvador, 2004. Disponível em: <http://www.lepa.ufrj.br/cursox/Ligia_Cardoso.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2011.

CINTRA, R. D. C. **Desenvolvimento e perspectivas da indústria eletroeletrônica do Brasil no Mercosul**: Um Estudo de Caso sobre os Segmentos de TVs e Monitores Produzidos na Zona Franca de Manaus. São Paulo: FGV, 2007. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/5479/163079.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 abr. 2011.

EPELBAUM, M. Sistemas de gestão ambiental. In: VILELA JR., A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental**: Desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: SENAC São Paulo, 2006.

GASI, T. M. T.; FERREIRA, E. Produção mais limpa. In: VILELA JR., A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental**: Desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: SENAC São Paulo, 2006.

GUIMARÃES, A. C. F.; LAPA, C. M. F. Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control systems. **Progress in Nuclear Energy**, v. 44, n. 3, p. 191-213, 2004.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA – FTA)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

HOLZMANN, M. C.; NETO, J. J.; ZANETTI, M. A.; CIMARELLI, C.; JULIO, L. M.; DZIEDZIC, M.; JANISSEK, P. R.; OLIVEIRA, C. M. R. **Avaliação do ciclo de vida (acv) na indústria eletrônica**: Aspectos teóricos e práticos. [S. I.], Engema, nov. 2009. Disponível em: <http://www.unifor.br/docs/engema/apresentacao_oral/ENGEMA2009_283.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2011.

JABBOUR, C. J. C. et al. **Análise do relacionamento entre estágios evolutivos da gestão ambiental e dimensões de recursos humanos**: estado da arte e survey em empresas brasileiras. Revista de Administração, São Paulo, v. 44, n. 4, p. 342-364, 2009. Disponível em: <<http://www.revistasusp.sibi.usp.br/pdf/rausp/v44n4/05.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2011.

LEE, W. K. Risk assessment modeling in aviation safety management. **Journal of Air Transport Management**, v. 12, n. 5, p. 267-273, 2006.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LEITE, P. R.; LAVEZ, N.; SOUZA, V. M. **Fatores da logística reversa que influem no reaproveitamento do “lixo eletrônico”** – Um Estudo no Setor de Informática. [S. I.], SIMPOI, 2009. Disponível em:
<http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/E2009_T00166_PCN20771.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

LIMA, M. S.; PEREIRA, N. S. **A responsabilidade social nas empresas do segmento eletroeletrônico do pólo industrial de Manaus**. ConTexto, Porto Alegre, v. 6, n. 10, 2º semestre 2006. ISSN 2175-8751. Disponível em:
<<http://seer.ufrgs.br/index.php/ConTexto/article/viewArticle/11226>>. Acesso em: 21 mar. 2011.

MATOS, R. B. de; MILAN, M. **Aplicação sistêmica do modo de análise de falhas e efeitos (FMEA) para o desenvolvimento de indicadores de desempenho de empresas de pequeno porte**. Rev. Árvore, Viçosa, v. 33, n. 5, Outubro de 2009. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622009000500020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 abr. 2011.

MELO, P. R. S.; JUNIOR, O. M. J.; ROSA, S. E. S. **Panorama do complexo eletrônico: o setor de informática**. [S.I.], 1995. Disponível em:
<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set108.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2011.

MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de impacto ambiental - AIA**. Rio de Janeiro: FEEMA, 1985.

MORETTI, G. N. et al. **ISO 14001**: Um estudo sobre a correlação entre as motivações para a adoção da norma ambiental. Revista de Administração da Faculdade Dom Bosco Curitiba – PR, 2004.

MOURA, C. **Análise de modo e efeito de falha potencial (FMEA)**, Manual de Referência. 2000. Disponível em:
<<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/armario/Unidades%20Curriculares/Inovação/Textos%20apoio/FMEA.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

NASCIMENTO, L. F.; VENZKE, C. S. Ecodesign. In: VILELA JR., A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações.** São Paulo: SENAC São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, L. H.; SILVEIRA, M. A. **Caracterização e análise da cadeia produtiva de PCIs: uma contribuição para o aumento da competitividade da indústria nacional.** [S. I.], SIMPOI, 2009. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/informe-se/producao-academica/caracterizacao-e-analise-da-cadeia-produtiva-de-pcis-uma-contribuicao-para-o-aumento-da-competitividade-da-industria-nacional/2201/>>. Acesso em: 30 abr. 2011.

PAPARELLA, S. **Failure mode and effects analysis: a useful tool for risk identification and injury prevention.** Journal of Emergency Nursing, v. 33, n. 4, p. 367-371, 2007.

PENEDA, C.; FRAZÃO, R. **Ecodesign no desenvolvimento dos produtos.** Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 1994.

PEREIRA, M. A.; MARQUES, C. S. A.; AGUIAR, E. M. **Sugestões para uma proposta do uso de novas ferramentas tecnológicas de informação para um sistema de gestão ambiental – ISO 14000.** Engenharia sanitária e ambiental. [S. I.], 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes/v8n1/v8n12n06.pdf>>, Acesso em: 30 abr. 2011.

PRADO, A. G. S. **Química verde, os desafios da química do novo milênio.** Quim. Nova, Vol. 26, nº 5, 738-744, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v26n5/17210.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2011.

PRADO, M. R. **Análise do Inventário do Ciclo de Vida de Embalagens de Vidro, Alumínio e PET utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil.** Curitiba, UFPR, 2007, 188 p.

PRICE, C. J.; TAYLOR, N. S. Automated multiple failure FMEA. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2002.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE - PNUMA. **Lixo eletrônico mundial cabe em trem capaz de dar a volta ao mundo.** iG Notícias, [S. I.], abr. 2007. Disponível em: <http://idgnow.uol.com.br/computacao_pessoal/2007/04/26/idgnoticia.2007-04-25>. Acesso em: 02 fev. 2011.

PUGA, F. P.; JUNIOR, G. B. **Perspectiva de investimentos na indústria 2011 – 2014.** Visão do Desenvolvimento. BNDES, n. 91, fev. 2011. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/visao/Visao_91.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2011.

REIS, L. G. **Produção de monografia: da teoria à prática /** Linda G. Reis. 2. Ed. Brasília: Senac-DF, 2008. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=syG59k2nRogC&printsec=frontcover&dq=monografia&hl=pt-BR&ei=XNW9TfDsNs2cgQfY3PS7Aw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CE8Q6AEwAw#v=onepage&q=qualitativa&f=false>. Acesso em: 02 mai. 2011.

RIBEIRO, K. S. **FMEA – Análise dos Modos de Falha e Efeitos.** Metodologia de Qualidade em Projetos de Sistemas de Informação. Monografia (Tecnólogo em Informática com ênfase em Gestão de Negócios), FATEC ZL, 2009. Disponível em: <<http://www.fateczl.edu.br/TCC/2009-1/tcc-26.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going bakcwards: reverse logistics trends and pratics.** Reno, Universidade de Nevada, 1999.

ROSA, L. C. da; GARRAFA, M. **Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: subprocesso colheita da canola.** Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 1, Mar. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2009000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 Abr. 2011.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental e seu papel na gestão de empreendimentos. In: VILELA JR., A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações.** São Paulo: SENAC São Paulo, 2006.

SANTOS, E. F.; SOUZA, M. T. S. **Um estudo das motivações para implantação de programas de logística reversa de microcomputadores.** Paraná: RECADM, v. 8, n. 2, p. 137-150, nov. 2009. Disponível em: <<http://revistas.facecla.com.br/index.php/recadm/article/view/569/454>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

SANTOS, H. D. **TI verde: interesses organizacionais e tecnologia da informação alinhados pela sustentabilidade.** São Paulo: FATEC, 2010. Disponível em: <<http://www.fateczl.edu.br/TCC/2010-1/TCC-007.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2011.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida. In: VILELA JR., A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações.** São Paulo: SENAC São Paulo, 2006.

SILVA, S. R. C.; FONSECA, M.; BRITO, J. **Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios**. [S. I.], 2006. Disponível em: <http://www.fep.up.pt/disciplinas/PGI914/Ref_topico3/FMEA_SS_MF_JB_QIC2006.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2011.

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. Wisconsin: ASQ Quality Press, 1995. 494 p.

TAVARES, W. M. L. **A indústria eletrônica no Brasil e seu impacto sobre a balança comercial**. [S.I.], 2001. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/pdf/108604.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

TAVARES, W. M. L. **A indústria eletrônica no Brasil e seu impacto sobre a balança comercial**. Consultoria Legislativa. Brasília, nov. 2001. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/pdf/108604.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2011.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. São Carlos: GEPEQ/UFSCar, 2008. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>> Acesso em: 22 mar. 2011.

VANDENBRANDE, W. W. How to use FMEA to reduce the size of your quality toolbox; **Quality Progress**. v. 31, n. 11, 1998, p. 97-100.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 2009.

WELBORN, C. Using FMEA to assess outsourcing risk. **Quality Progress**, v. 40, n. 8, p. 17-21, 2007.

ZAMBRANO, T. F.; MARTINS, M. F. **Utilização da metodologia FMEA para a análise dos impactos ambientais em uma empresa do ramo de usinagem**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, In: XXIII ENEGEP, 2003, Ouro Preto, 2003. Disponível em: <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/ENEGEP_-_2003.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2011.

_____. , T. F.; MARTINS, M. F. **Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental**. Gest. Prod., 2007, vol. 14, n. 2, p. 295-309. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n2/07.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2011.