

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E CUSTOS AMBIENTAIS EM  
PROCESSOS INDUSTRIAIS – UMA ABORDAGEM  
METODOLÓGICA**

**Paulo Ricardo Santos da Silva**

**Porto Alegre, 2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**AValiação de Impactos e Custos Ambientais em Processos  
Industriais – Uma Abordagem Metodológica**

**Paulo Ricardo Santos da Silva**

**Orientador: Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral**

**Banca Examinadora:**

**César Antônio Leal, PhD**

**Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS**

**Francisco José Kliemann Neto, Dr**

**Professor do Departamento de Engenharia de Produção da UFRGS**

**Tânia Henke Kraemer, Dra**

**Professora do Departamento de Engenharia de Produção da UFSC**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção como requisito parcial à obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Área de concentração: Qualidade**

**Porto Alegre, 11 de Dezembro de 2003**

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.**

---

Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral  
PPGEP/UFRGS  
Orientador

---

Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro  
Coordenador PPGEP/UFRGS

### **Banca Examinadora**

**Prof. PhD César Antônio Leal**

Departamento de Engenharia Mecânica – UFRGS

**Prof. Dr. Francisco José Kliemann Neto**

Departamento de Engenharia de Produção – UFRGS

**Prof. Dra. Tânia Henke Kraemer**

Departamento de Engenharia de Produção – UFSC

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais, pelo esforço, pelo carinho e por terem me ensinado a ser perseverante e ir em busca de meus objetivos, dedico essa conquista como gratidão.*

*A todas as pessoas que dedicam sua vida à pesquisa para resolver os problemas da sociedade.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter conseguido vencer mais uma etapa em minha vida e pela força para superar os desafios.

Aos meus pais e minha irmã Cássia Alessandra que estiveram ao meu lado durante esses dois anos, incentivando-me e escutando-me nos momentos difíceis.

Ao meu orientador e grande amigo Amaral por ter aceito esse desafio, por estar sempre presente e disposto a me ajudar quando tinha dúvidas, mas, principalmente, pelo convívio e pelo desenvolvimento pessoal adquirido durante esse período em que trabalhamos juntos.

A todo o pessoal do PPGE, pois será uma fase que jamais esquecerei em minha vida, aprendi um pouco com cada um de vocês. Em especial, gostaria de agradecer aos amigos Michel, Fernando, Cevalos, Tiago, Cristina, Franz e Jorge pelas sugestões e críticas que ajudaram a construir esse trabalho e pela amizade compartilhada. Com certeza esse trabalho seria muito mais difícil sem a presença de vocês.

Aos amigos Cíntia, Kioske e Samuel que acompanharam de perto cada etapa desse estudo e pelos almoços no bar da educação. Aquele bate-papo foi muito importante para meu crescimento pessoal.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível concluir esse trabalho.

*“Quando surge um problema, você tem duas alternativas:  
ou fica se lamentando, ou procura uma solução.  
Nunca devemos esmorecer diante das dificuldades.  
Os fracos se intimidam. Os fortes abrem as portas e acendem as luzes”.*

(Dalai Lama)

## RESUMO

A preocupação com a qualidade ambiental aumentou significativamente nos últimos anos. Isso é evidenciado pela rígida legislação ambiental e pela mudança de comportamento da sociedade frente a esse assunto. Nesse contexto, as indústrias vêm sendo pressionadas a adequar seus processos produtivos às novas exigências. A fim de auxiliá-las nessa tarefa, várias metodologias de avaliação ambiental foram desenvolvidas, entre elas a Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment* – LCA). Ela se destaca por buscar soluções globais e efetivas para os problemas ambientais, através de uma análise sistêmica. No entanto, assim como outras metodologias, o LCA não apresenta uma avaliação econômica estruturada em conjunto com a ambiental. Esta dissertação tem a finalidade de contribuir para o preenchimento dessa lacuna, através do desenvolvimento de uma abordagem consistente e estruturada, capaz de avaliar simultaneamente impactos e custos ambientais em processos industriais. Para isso, foram utilizados como bases teóricas o LCA, o Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais (MECAIA), a Metodologia para a Contabilidade do Gerenciamento Ambiental (*Environmental Management Accounting* – EMA), o Método de Custeio Baseado em Atividades (*Activity Based Costing* – ABC), a Avaliação de Riscos (*Risk Assessment*) e a Análise de Modos e Efeitos de Falhas (*Failure Mode and Effects Analysis* – FMEA). A abordagem desenvolvida foi aplicada em uma indústria do setor metal-mecânico para avaliar os impactos e os custos ambientais de seu processo produtivo, evidenciando que aparentemente há uma relação direta entre esses dois fatores, ou seja, os resíduos que geram maior impacto sobre o meio ambiente também apresentam maior custo associado. Por fim, constatou-se que a combinação das metodologias, dos métodos e dos modelos utilizados permitiu a elaboração de uma abordagem capaz de orientar a análise de um processo produtivo, a fim de identificar quais as etapas que geram maior impacto sobre o meio ambiente, além de apurar os gastos ambientais e classificá-los nas categorias de prevenção, correção e geração.

Palavras-chave:

Gestão ambiental – Impacto ambiental – Custo ambiental – LCA – ABC

## ABSTRACT

*Environmental quality concern has been emphasized in the past few years. It became evident by the hard environmental legislation and social behavior changes related to that issue.*

*In this context, industries are forced to adjust their processes to these new requirements. In order to help them, many methodologies for environmental assessment were developed. Life Cycle Assessment (LCA) is distinguishable because it searches global solutions for environmental problems. However, like others environmental methodologies, LCA does not perform an economic evaluation besides the environmental.*

*So, the purpose of this work is to contribute to fill that gap, by the development of a consistent and organized methodology to treat environmental impacts and costs at the same time. For that purpose, the principles of LCA were used along with Economic Model to Control and to Evaluate Environmental Impacts, Environmental Management Accounting – EMA, Activity Based Costing – ABC, Risk Assessment and Failure Mode and Effects Analysis – FMEA.*

*The proposed methodology was applied to evaluate environmental impacts and related costs in a metal manufacturing industry. This study concluded that apparently there is a direct relationship between environmental impacts and environmental costs, that is, wastes that cause intense impact to the environment are also the major contributors to the costs.*

*At last, the goal of this work was achieved and the combination of the principles of methodologies used here was successful.*

*Keywords:*

*Environmental management – Environmental Impact – Environmental Costs – LCA – ABC.*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA TRATADA NO ESTUDO.....	13
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA DOS OBJETIVOS .....	15
1.4 MÉTODO DE TRABALHO .....	16
1.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 PROBLEMAS AMBIENTAIS E SEGMENTOS DA ECONOMIA .....	20
2.2 SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL .....	23
2.2.1 <i>Estrutura de um SGA.....</i>	24
2.2.2 <i>Filosofias e Metodologias de Gestão Ambiental.....</i>	27
2.2.3 <i>Sistemas de Gestão Ambiental e ISO 14.000.....</i>	28
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS.....	30
2.3.1 <i>Histórico.....</i>	32
2.3.2 <i>Estrutura da Metodologia LCA.....</i>	33
2.3.3 <i>Hipóteses da Metodologia LCA.....</i>	41
2.3.4 <i>Aplicações do LCA.....</i>	42
2.3.5 <i>Dificuldades e Críticas à Metodologia LCA.....</i>	43
2.4 AVALIAÇÃO DE CUSTOS AMBIENTAIS .....	48
2.4.1 <i>Definições e Categorias de Custos Ambientais.....</i>	50
2.4.2 <i>Modelos e Metodologias para a Avaliação de Custos Ambientais.....</i>	52
2.4.3 <i>Comparação entre os modelos apresentados.....</i>	61
2.4.4 <i>O Método do Custeio Baseado em Atividades (Activity Based Costing – ABC)..</i>	63
2.4.5 <i>Contra-ponto à Necessidade de Custos Ambientais.....</i>	68
2.5 MÉTODOS ADAPTÁVEIS À AVALIAÇÃO AMBIENTAL .....	69

2.5.1	<i>Avaliação de Riscos</i> .....	69
2.5.2	<i>Análise de Modos de Falha e Efeitos</i> .....	74
2.6	CONCLUSÕES .....	80
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	<b>82</b>
3.1	ESTRUTURA DA ABORDAGEM PROPOSTA .....	83
3.1.1	<i>1ª Fase – Pré-Análise</i> .....	86
3.1.2	<i>2ª Fase – Análise</i> .....	86
3.1.3	<i>3ª. Fase – Pós-Análise</i> .....	110
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	<b>113</b>
4.1	A EMPRESA E SEUS PRODUTOS .....	113
4.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – 1ª. FASE: PRÉ-ANÁLISE.....	114
4.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – 2ª. FASE: ANÁLISE .....	118
4.3.1	<i>Etapa 1: Definição dos objetivos e abrangência do estudo</i> .....	118
4.3.2	<i>Etapa 2: Mapeamento do processo</i> .....	118
4.3.3	<i>Etapa 3: Obtenção do inventário de dados físicos e econômicos</i> .....	120
4.3.4	<i>Etapa 4: Avaliação Ambiental</i> .....	127
4.3.5	<i>Etapa 5: Avaliação Econômica</i> .....	134
4.3.6	<i>Etapa 6: Interpretação dos Resultados</i> .....	145
4.4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – 3ª. FASE: PÓS-ANÁLISE.....	152
4.4.1	<i>Geração de Cenários – Caso I: Redução de resíduos de concreto refratário</i> ...	152
4.4.2	<i>Geração de Cenários – Caso II: Redução de resíduos de molde de aço</i> .....	153
4.4.3	<i>Geração de Cenários – Caso III: Redução na quantidade de efluente de lavagem de equipamento</i> .....	154
4.4.4	<i>Geração de Cenários – Caso IV: Tratamento adequado dos resíduos de sobra de amianto</i> .....	154
4.4.5	<i>Geração de Cenários – Caso V: Redução na quantidade de resíduos de rebarba do torno</i> .....	155
4.4.6	<i>Escolha dos Cenários e Proposta de Melhorias</i> .....	156
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>160</b>
5.1	ANÁLISE CRÍTICA SOBRE A METODOLOGIA PROPOSTA.....	160
5.1.1	<i>Comparação entre a Metodologia LCA e a abordagem proposta</i> .....	161
5.1.2	<i>Comparação entre o Modelo MECAIA e a abordagem proposta</i> .....	162
5.1.3	<i>Comparação entre a Metodologia EMA e a abordagem proposta</i> .....	163
5.1.4	<i>Comparação entre o Método de Custeio ABC e a abordagem proposta</i> .....	164
5.1.5	<i>Emprego de outras ferramentas necessárias para a abordagem proposta</i> .....	165
5.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS NA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM PROPOSTA .....	165
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>169</b>
6.1	CONCLUSÕES SOBRE A APLICAÇÃO PRÁTICA .....	169
6.2	CONCLUSÕES SOBRE A METODOLOGIA PROPOSTA.....	170
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>172</b>
<b>ANEXO A</b> .....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
<b>ANEXO B</b> .....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
<b>ANEXO C</b> .....		<b>185</b>
<b>ANEXO D</b> .....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fatores externos que atuam sobre a empresa .....	23
Figura 2: Evolução da sistemática de análise de processos.....	25
Figura 3: Interação entre os elementos que compõem o PGA .....	26
Figura 4: Estrutura completa de um SGA .....	26
Figura 5: Estrutura da série de normas ISO 14.000.....	29
Figura 6: Integração entre a Análise do Ciclo de Vida e os SGA .....	30
Figura 7: Esquema ilustrativo do objeto de estudo da metodologia LCA.....	32
Figura 8: Etapas do metodologia LCA e uma breve descrição de cada uma .....	34
Figura 9: Quadro com as substâncias de referência para as principais categorias de impacto ambiental .....	37
Figura 10: Exemplo do emprego do uso de fatores de equivalência.....	38
Figura 11: Processo de formação do índice ambiental .....	39
Figura 12: Principais aplicações da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida.....	44
Figura 13: Comparação entre as categorias de impacto ambiental utilizadas pelos trabalhos analisados e nos estudos de Yang e Shi (2000).....	46
Figura 14: Custos ambientais segundo a visão atual das empresas.....	50
Figura 15: Definição de custos ambientais de acordo com os principais autores analisados... 51	51
Figura 16: Paralelo entre as categorias de custos da qualidade e de custos ambientais .....	52
Figura 17: Relação entre impactos e custos ambientais na indústria .....	53
Figura 18: Relação entre custos de prevenção, de correção e de falhas e a efetividade de proteção ambiental.....	55
Figura 19: Quadro comparativo entre os modelos de avaliação de custos ambientais analisados .....	62
Figura 20: Representação da estrutura completa do ABC.....	64
Figura 21: Grau de detalhamento dos processos para a aplicação do ABC .....	66
Figura 22: Relacionamento entre o ABC e o ABM .....	67
Figura 23: Estrutura completa do ABC/ABM.....	68
Figura 24: Estrutura do Método de Avaliação de Riscos Ambientais.....	71
Figura 25: Escala para avaliar a gravidade do impacto ambiental .....	72
Figura 26: Escala para avaliar a frequência ou probabilidade de ocorrência do impacto ambiental .....	72
Figura 27: Matriz de Riscos e a classificação dos impactos ambientais .....	73
Figura 28: Estrutura do Método FMEA .....	76
Figura 29: Exemplo de um formulário de FMEA simplificado .....	78
Figura 30: A metodologia desenvolvida, no contexto do ciclo de vida de produtos.....	83
Figura 31: Caracterização geral da abordagem e suas bases teóricas.....	84
Figura 32: Interrelacionamento entre fases e etapas da abordagem proposta .....	85
Figura 33: Exemplo de diagrama de blocos obtido no mapeamento de processo produtivo. ..	88

Figura 34: Lista de materiais consumidos em cada operação de processamento.....	89
Figura 35: Listagem do consumo energético em cada operação de processamento .....	89
Figura 36: Lista dos rejeitos gerados em cada operação de processamento.....	89
Figura 37: Tempo de utilização dos equipamentos em cada operação de processamento .....	89
Figura 38: Mão-de-obra direta utilizada em cada operação de processamento.....	89
Figura 39: Custo unitário dos materiais, energia e mão-de-obra.....	90
Figura 40: Exemplo de fluxograma de processo simplificado para produção de polietileno...	90
Figura 41: Fluxograma de orientação para a avaliação ambiental .....	91
Figura 42: Quadro para direcionar a avaliação básica dos rejeitos .....	92
Figura 43: Relação entre intervenções ambientais críticas e operações de processamento .....	96
Figura 44: Estrutura de um formulário de FMEA Ambiental .....	98
Figura 45: Escala para avaliar o Índice de Gravidade .....	100
Figura 46: Escala para avaliar o Índice de Probabilidade de Ocorrência.....	100
Figura 47: Escala para avaliar o Índice de Detecção.....	100
Figura 48: Fluxograma de orientação para a avaliação econômica.....	102
Figura 49: Estrutura de um plano de ação e exemplos de sua aplicação.....	112
Figura 50: Incinerador modelo B.....	114
Figura 51: Ciclo de vida do incinerador .....	116
Figura 52: Diagrama de blocos do processo produtivo analisado .....	119
Figura 53: Fluxograma simplificado do processo produtivo analisado.....	124
Figura 54: Quadro com a avaliação básica dos rejeitos do processo analisado .....	127
Figura 55: Identificação das operações críticas de processamento .....	132
Figura 56: FMEA ambiental para o processo produtivo analisado em condições de riscos ambientais .....	133
Figura 57: Percentual de consumo energético em cada operação de processamento.....	146
Figura 58: Percentual de geração de rejeitos de cada operação de processamento .....	147
Figura 59: Parcelas dos custos de geração para os principais resíduos do processo, sob o aspecto econômico.....	148
Figura 60: Distribuição dos custos de geração e correção entre as operações do processo ...	149
Figura 61: Percentual de custos de geração, correção e prevenção no processo analisado....	150
Figura 62: Plano de ação para alcançar as metas estabelecidas na geração de cenários .....	158

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de Avaliação Ambiental.....	93
Tabela 2: Consumo de recursos pelas operações de processamento .....	104
Tabela 3: Custos de geração de cada rejeito.....	106
Tabela 4: Distribuição dos custos operacionais entre os objetos de custos.....	106
Tabela 5: Lista de matérias-primas consumidas em cada operação de processamento.....	121
Tabela 6: Lista de insumos utilizados em cada operação de processamento .....	121
Tabela 7: Lista com o tempo de utilização dos equipamentos e o consumo energético em cada operação de processamento .....	122
Tabela 8: Lista dos rejeitos gerados em cada operação de processamento .....	123
Tabela 9: Mão-de-obra direta e percentual de área ocupada por cada operação de processamento .....	125
Tabela 10: Custos unitários dos materiais, energia e mão-de-obra .....	126
Tabela 11: Matriz de avaliação ambiental das intervenções identificadas no processo analisado .....	129
Tabela 12: Custos das operações de processamento .....	136
Tabela 13: Alocação dos custos da operação de corte interno e externo .....	139
Tabela 14: Custos de geração de cada rejeito do processo.....	139
Tabela 15: Distribuição dos custos das operações entre os objetos de custos.....	140
Tabela 16: Custos de geração dos rejeitos por operação de processamento .....	140
Tabela 17: Direcionadores dos custos de tratamento e disposição de rejeitos para as operações de processamento ( $y_{ij}$ ).....	142
Tabela 18: Custos de tratamento e disposição de rejeitos por operação de processamento...	142
Tabela 19: Custos ambientais das operações de processamento .....	143
Tabela 20: Sumário dos resultados da avaliação ambiental e econômica .....	151
Tabela 21: Resultados das simulações de redução de resíduos de concreto refratário.....	152
Tabela 22: Resultados das simulações de redução de resíduos de chapa molde.....	153
Tabela 23: Resultados das simulações de redução da geração de efluentes líquidos.....	154
Tabela 24: Resultados das simulações de redução da geração de rebarba do torno.....	155

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA TRATADA NO ESTUDO

A crescente competitividade em todos os setores da economia, em especial no setor industrial, tem motivado o desenvolvimento de técnicas e de metodologias para análise, controle e melhoria de processos. Esse fato é ilustrado pelo desenvolvimento das Ferramentas da Qualidade, que foram um marco dentro da evolução dos sistemas produtivos (GARVIN, 2002). No entanto, durante muitos anos essa evolução não contemplou as questões relacionadas ao meio ambiente e ao uso adequado de recursos naturais. Como consequência, observou-se o crescimento dos problemas ambientais e a escassez de materiais.

Nesse sentido, Moura (2000) cita vários acidentes em processos industriais com grandes impactos sobre o meio ambiente. O lançamento de resíduos de uma planta industrial contendo mercúrio na baía de Minamata, no Japão; a explosão de um reator para a produção de triclorofenol em Seveso, na Itália; o vazamento em uma fábrica de pesticidas em Bhopal, na Índia; o derramamento de pesticida no Rio Reno, na Suíça e o vazamento de óleo do navio Exxon Valdez, no Alasca, são alguns exemplos clássicos de acidentes que tiveram graves consequências sobre o ecossistema.

Para evitar acidentes desse tipo e preservar o meio ambiente, a partir dos anos 70 começaram a ser desenvolvidas regulamentações ambientais. Em 1972, na Conferência de Estocolmo aconteceu o primeiro encontro de nações para debater a questão ambiental e as formas de controlar a poluição, sendo essa um marco na busca por soluções para os problemas ambientais. Durante a década de 80, entraram em vigor legislações específicas que controlavam a instalação de novas indústrias e estabeleciam exigências para as emissões das indústrias já instaladas. Neste sentido, foram elaborados os primeiros estudos de impacto ambiental. Naquela época, a proteção ambiental ainda era vista de forma defensiva e as

soluções propostas estimulavam ações corretivas, respondendo estritamente ao cumprimento da lei (VALLE, 1996).

Já na década de 90, Valle (1996) salienta que a preocupação com o meio ambiente ganhou uma nova dimensão. A exploração de matérias-primas escassas e não-renováveis e a racionalização do uso de energia passaram a fazer parte da questão ambiental, levando a uma abordagem mais ampla e lógica desses problemas. Nesse período ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, ou Rio-92, alertando que a solução dos problemas envolvendo o meio ambiente não poderia ser alcançada com ações isoladas e localizadas. Surgiu então a necessidade de ações integradas e sistematizadas.

A partir daquele momento, impulsionadas pela competitividade, as empresas começam a mudar seu comportamento frente à questão ambiental. Elas passaram a ver as preocupações com o meio ambiente não mais como um problema, mas sim como uma oportunidade de diferenciação. Hoje, as organizações percebem que a redução no consumo de matérias-primas e de energia, através de um aumento na eficiência de seus processos, trazem não só melhorias do ponto de vista ambiental, mas também econômico (MEINDERS; MEUFFELS, 2001). Assim, as questões ambientais passaram a ser integradas aos sistemas produtivos através dos chamados Sistemas de Gestão Ambiental (SGA).

De acordo com Valle (1996), os SGA são operacionalizados através de Programas de Gestão Ambiental (PGA), que envolvem o mapeamento de processos e a identificação de matérias-primas e de insumos utilizados nas instalações da empresa, assim como resíduos, efluentes e emissões gerados. Sob esse aspecto, a Análise do Ciclo de Vida de Produtos (*Life Cycle Assessment – LCA*) é uma metodologia que permite quantificar os fluxos de materiais nos processos, além de possibilitar a identificação e a análise dos impactos ambientais. Diferentemente de outras ferramentas de avaliação ambiental, o LCA estuda os impactos ao longo de todo o ciclo de vida do produto, assegurando melhorias globais e não pontuais (SETAC, 1998). Assim, essa metodologia pode ser utilizada para sustentar o Sistema de Gestão Ambiental de uma empresa.

Para muitas organizações, um Sistema de Gestão Ambiental eficiente torna-se um diferencial, devido ao cenário competitivo em que estão inseridas, assim como a Qualidade foi até o início da década de 80. No entanto, esse instrumento de gestão tem pouco

apoio nos Sistemas de Gestão de Custos (HANSEN; MOWEN, 2001). Sob esse aspecto, Regatschnig e Schnitzer (1998) afirmaram que torna-se cada vez mais importante que as empresas possam quantificar e interpretar os seus custos ambientais.

Dentro do contexto apresentado, este trabalho visa contribuir para o melhor entendimento da relação entre impactos e custos ambientais em processos industriais.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia que permita operacionalizar o SGA com a finalidade de avaliar um processo produtivo sob os aspectos ambiental e econômico, simultaneamente, partindo da abordagem da Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos (*Life Cycle Assessment – LCA*).

Para alcançar o objetivo geral, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar e avaliar os impactos ambientais de um processo produtivo em níveis local, regional e global, operando em condições de estado transiente e estacionário e em condições emergenciais;
- b) identificar e mensurar os gastos relacionados com a geração, a correção e a prevenção de impactos ambientais;
- c) priorizar as etapas de processos industriais, segundo esses aspectos, permitindo a proposição de ações de melhoria mais efetivas.
- d) fazer uma aplicação prática dessa metodologia em um processo industrial, a fim de identificar suas potencialidades e restrições.

## 1.3 JUSTIFICATIVA DOS OBJETIVOS

Esta dissertação justifica-se no fato de que poucos trabalhos na literatura tratam os problemas ambientais e os custos associados de forma integrada. Em geral, encontram-se metodologias que fazem uma profunda análise dos impactos ambientais de processos

produtivos, mas que não consideram os aspectos econômicos. O LCA é um exemplo claro disso. Por outro lado, existem estudos que avaliam os custos relacionados com a prevenção e a correção de problemas ambientais, mas não consideram os impactos propriamente ditos.

A escolha do LCA, como ponto de partida para desenvolver a metodologia proposta, justifica-se no fato de que essa metodologia tem sido amplamente utilizada para avaliar impactos ambientais relacionados a produtos, processos ou serviços (AZAPAGIC, 1999). Além disso, Chehebe (1998) afirma que o LCA permite uma avaliação mais consistente se uma ação de melhoria é globalmente interessante do ponto de vista ambiental. Ainda, ele melhora o entendimento dos aspectos ambientais ligados aos processos produtivos, afastando o tradicional enfoque de tratamento de fim de tubo (*end of pipe*). No entanto, recebe muitas críticas na literatura por não apresentar uma avaliação econômica em conjunto com aspectos ambientais (BURGESS; BRENNAN, 2001). Logo, torna-se relevante, em um estudo, considerar simultaneamente a complementaridade entre a aplicação da metodologia LCA e uma avaliação de custos ambientais.

#### 1.4 MÉTODO DE TRABALHO

De acordo com Andrade (1997), um trabalho científico pode ser classificado segundo alguns critérios tais como: finalidade, objetivo e natureza. Quanto à finalidade, uma pesquisa pode ser classificada como fundamental ou aplicada. No primeiro caso, a pesquisa visa fornecer conhecimentos novos, sem aplicação imediata prevista. No segundo, a pesquisa é voltada para atender às exigências da vida moderna, objetivando contribuir para a solução de problemas concretos. Nesse aspecto, esta dissertação pode ser classificada como *pesquisa aplicada*.

Do ponto de vista de objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva ou explicativa. A pesquisa exploratória tem como finalidade proporcionar maiores informações sobre determinado assunto servindo, na maioria dos casos, como um preparatório para outro tipo de pesquisa. Na pesquisa descritiva, os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles. Já a pesquisa explicativa, além de registrar, analisar e interpretar os fenômenos estudados, pretende identificar suas causas. A pesquisa explicativa tem por finalidade

aprofundar o conhecimento da realidade (ANDRADE, 1997). Assim, sob este ponto de vista, esta dissertação constitui-se em uma *pesquisa explicativa*.

Quanto à natureza, a pesquisa pode constituir-se em um trabalho científico original, quando é realizada pela primeira vez, ou em um resumo de assunto, quando dispensa a originalidade sem perder o rigor científico (ANDRADE, 1997). Sob esse aspecto, esta dissertação é considerada um *resumo de assunto*.

Conforme Andrade (1997), de acordo com os procedimentos adotados para a obtenção dos dados, existem pesquisas bibliográficas, documentais e de campo. Quando os documentos analisados são fontes secundárias (livros, documentos bibliográficos) a pesquisa é dita bibliográfica. Se a pesquisa basear-se em documentos primários ou originais (dados estatísticos, documentos históricos), então deve ser classificada como documental. Ao contrário, a pesquisa de campo é realizada a partir da observação da realidade tal como os fatos ocorrem. De acordo com esses critérios, essa dissertação constitui-se em uma *pesquisa bibliográfica e de campo*, simultaneamente.

Do ponto de vista da abordagem, a pesquisa pode ainda ser classificada como quantitativa, se envolver análises numéricas, ou qualitativa, quando contar com dados qualitativos. Conforme esse critério, esta dissertação é uma *pesquisa quantitativa e qualitativa*, simultaneamente.

## 1.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O presente estudo limita-se a analisar os impactos ambientais e custos associados em processos industriais, especificamente no setor metal-mecânico. Como a metodologia a ser desenvolvida será aplicada apenas a uma empresa, as generalizações dos resultados a outras organizações é restrita, mesmo que pertencentes ao referido setor produtivo.

Salienta-se que neste trabalho também não se pretende realizar uma avaliação ambiental quantitativa aprofundada, nem tampouco uma análise de custos completa, envolvendo todas as parcelas de custos indiretos da empresa estudada. Apenas deseja-se demonstrar a viabilidade de aplicação da metodologia proposta.

Também é importante destacar que o LCA é utilizado apenas do ponto de vista de estrutura metodológica, ou seja, a abordagem a ser desenvolvida estará fundamentada nas etapas básicas dessa metodologia. Não será investigado todo o ciclo de vida de um produto.

Por fim, deve-se deixar claro que a avaliação de custos ambientais não abrangerá as condições emergenciais, pois isso requer uma análise econômica mais profunda que foge aos propósitos desse trabalho.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. No capítulo inicial faz-se a introdução ao assunto tratado no trabalho, a partir da contextualização do problema abordado. Nele, também são apresentados os objetivos do estudo, sua justificativa, o método de trabalho, as limitações e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre o assunto estudado. Nele são abordados assuntos como os Sistemas de Gestão Ambiental, a Análise do Ciclo de Vida, os principais modelos de avaliação de custos ambientais, o Método de Custeio Baseado em Atividades e os fundamentos sobre a Avaliação de Riscos Ambientais e a Análise de Modos e Efeitos de Falha (*Failure Mode and Effects Analysis – FMEA*).

O terceiro capítulo aborda a metodologia desenvolvida e suas etapas para analisar um processo industrial sob os aspectos ambiental e econômico.

O quarto capítulo trata da aplicação da abordagem desenvolvida em uma empresa do setor metal-mecânico. São apresentadas todas as etapas dessa aplicação, analisando-se e comentando-se os resultados obtidos.

No penúltimo capítulo faz-se uma discussão sobre as vantagens e as desvantagens da metodologia proposta, quando comparada com aquelas que serviram de base para o seu desenvolvimento. Além disso, citam-se as principais dificuldades observadas durante sua aplicação prática.

No capítulo final são retomadas as principais conclusões obtidas no trabalho a partir de seu emprego, esclarecendo-se as limitações da pesquisa e propondo sugestões para futuros trabalhos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Ao longo da história, constatou-se que o homem sempre explorou os recursos naturais do planeta e gerou resíduos sem se preocupar com seus efeitos sobre o meio ambiente, pois os recursos eram abundantes e a natureza assimilava os despejos recebidos, já que o enfoque era “diluir e dispersar” (MOURA, 2000). Zbontar e Glavic (2000) confirmam tais afirmações alegando que a poluição ambiental não é um problema atual, há mais de 100 anos as indústrias já emitiam grandes quantidades de fumaça tóxica. No entanto, hoje, o número de indústrias aumentou consideravelmente, assim como o número de substâncias poluentes.

Como consequência dessas ações, observou-se a degradação de recursos naturais e a poluição do ar, da água e do solo. Porém, a principal preocupação em relação a esses problemas é que eles podem não ter efeitos imediatos. Além disso, alguns apresentam graves consequências globais, como por exemplo, as emissões gasosas que contribuem para o aquecimento da Terra e que, embora sua ocorrência seja local, seus efeitos podem atingir todo o planeta (AZAPAGIC, 1999).

De acordo com Zbontar e Glavic (2000), esta situação promoveu o surgimento da preocupação da sociedade com a qualidade do ambiente. Esse fator, associado à rigorosa legislação ambiental, foi responsável pela busca por formas de racionalizar o uso de recursos naturais e minimizar a geração de resíduos no ramo industrial. Segundo Yang e Shi (2000), na década de 90 presenciou-se um significativo avanço nesse sentido, não só por parte da indústria mas, principalmente, pela mudança de comportamento das pessoas frente aos assuntos ambientais. Nesse contexto, uma série de novos termos surgiu e tornou-se populares como: Desenvolvimento Sustentável, Produção Mais Limpa, Prevenção da Poluição,

Minimização de Rejeitos, Minimização de Impactos Ambientais, entre outros. Para Donaire (1999), neste novo cenário, a fumaça das chaminés das indústrias, antes vista como símbolo do progresso, passou a ser considerada como uma anomalia e não mais como uma pretensa vantagem.

## 2.1 PROBLEMAS AMBIENTAIS E SEGMENTOS DA ECONOMIA

Em um levantamento feito pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento a respeito da poluição industrial, pôde-se constatar que as indústrias químicas, de papel e celulose, de ferro e aço, de metais não-ferrosos, de geração de eletricidade, de automóveis e de produtos alimentícios encontram-se entre os principais poluidores (DONAIRE, 1999).

No entanto, Donaire (*op. cit.*) lembra que também foram as indústrias química e petroquímica que melhor responderam às pressões ambientais, investindo nas áreas de Pesquisa e Desenvolvimento e adequando seus processos às novas exigências legais. Nesse segmento industrial é difícil identificar impactos ambientais em comum, haja vista a variedade de processos, de matérias-primas e de insumos existentes. Para Moura (2000), esses problemas estão relacionados principalmente com a liberação de gases tóxicos – como o monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) – sólidos particulados, liberação de grande quantidade de água contendo produtos prejudiciais à saúde (fenóis, amônia) e, ainda, a produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Já Furuholt (1995), ao estudar os impactos ambientais provocados pela produção de combustíveis em uma refinaria, considerou outros problemas ambientais como o consumo de energia, as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), de monóxido de carbono (CO), de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), de compostos orgânicos voláteis (VOC) e a geração de efluentes oleosos, o que ratifica as conclusões de Donaire (1999).

Na indústria de processamento de minérios, assim como na química, diferentes grupos de produtos têm seus problemas ambientais característicos (SEPÄLLÄ *et al.*, 2002). Hilson (2000) afirma que os processos de mineração e fundição são potenciais causadores de problemas ambientais nesse setor. Durante a prospecção e o beneficiamento de minerais, vários rejeitos contaminados são gerados direta e indiretamente. No entanto, a grande quantidade de SO<sub>2</sub> emitida durante o processo de extração é um dos problemas mais graves,

pois os principais metais ferrosos e não-ferrosos encontram-se na natureza na forma de sulfatos que, quando processados, liberam muito  $\text{SO}_2$ . Ele cita como exemplo de problemas ambientais causados por essa atividade, a devastação da cidade canadense de Sudbury. Após anos de operação das minas de extração de cobre e de níquel sem proteção ao meio ambiente, a cidade estava comprometida pela deposição ácida, formada a partir das emissões de  $\text{SO}_2$  e uma área de 20.000 hectares ficou completamente árida.

Já no ramo da indústria alimentícia, Moura (2000) destaca a área de laticínios como uma das mais poluidoras, pois há pouco tratamento dos seus efluentes líquidos os quais apresentam elevada carga orgânica. Os abatedouros também têm significativos impactos sobre o meio ambiente. Conforme Ferroli *et al.* (1998), os subprodutos e dejetos originados nesse tipo de indústria são enviados para empresas que produzem farinha e óleo de subprodutos de origem animal (graxarias). O maior problema ambiental decorrente dessas fábricas é a falta de equipamentos modernos para promover a remoção de gases fétidos e efluentes tóxicos. Além disso, muitas vezes a água de lavagem dos equipamentos, contendo uma série de resíduos, é lançada diretamente no sistema de esgoto. O consumo elevado de água é outro grande problema a ser enfrentado por este tipo de indústria.

Entretanto, conforme salienta Valle (1996), é inadequado imputar à indústria todo o ônus da poluição. Deve-se considerar que resíduos são gerados também em outras atividades. Neste sentido, Hansen (1998) afirmou que nos últimos 10 anos os problemas ambientais também passaram a ser analisados em setores da economia tradicionalmente desconsiderados deste contexto, tais como agricultura, transporte, serviços e atividades domiciliares.

No setor agrícola, Brentrup *et al.* (2001) consideram o fato de que, na agricultura intensiva, o uso de fertilizantes é polêmico devido as suas conseqüências para o meio ambiente. Eles citam, por exemplo, que na cultura de beterraba um dos principais impactos causados à natureza é o consumo elevado de energia necessária para produzir os fertilizantes, bem como para o funcionamento de máquinas agrícolas e processamento de sementes. Além disso, as liberações de gás metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) e compostos orgânicos voláteis (VOC) também contribuem para a degradação do meio ambiente. Como pode-se observar, algumas dessas emissões são tipicamente atribuídas apenas aos setores industriais, conforme os estudos de Moura (2000) e Furuholt (1995) citados anteriormente.

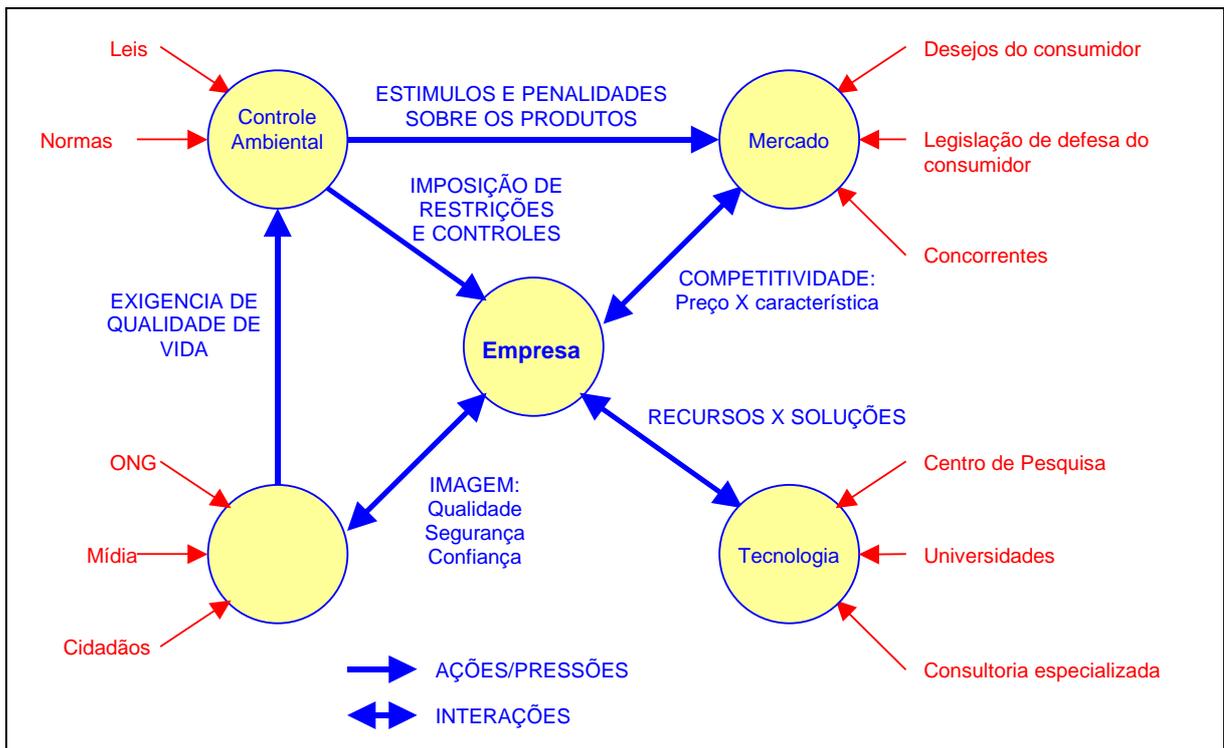
No setor de transporte, por sua vez, os impactos causados ao meio ambiente foram tratados por Amatayakul e Ramnäs (2001). Segundo estes autores, o automóvel é o meio de transporte mais utilizado na sociedade moderna. No entanto, é um dos que mais contribuiu para a poluição do ar, devido à emissão de hidrocarbonetos, de monóxido de carbono, de óxidos de nitrogênio, dentre outras substâncias liberadas pelo sistema de exaustão dos veículos. Embora a utilização de conversores catalíticos diminua o potencial de impacto ambiental desses gases, os autores afirmam que, globalmente, a sua utilização não traz grandes benefícios ao meio ambiente. Isto porque constataram que o processo de fabricação de tais componentes é tão prejudicial ao ambiente quanto as emissões veiculares.

Já no setor de serviços, a área médica merece destaque. Durante muito tempo os problemas ambientais foram desconsiderados, em especial o efeito dos fármacos. Diferentemente de outras substâncias, eles são desenvolvidos para atacar microorganismos, especialmente os antibióticos, e pouco se sabe sobre a ação dessas substâncias no meio ambiente, já que parecem ter efeitos persistentes (HALLING-SORENSEN *et al.*, 1997). Para Fisher e Borland (2003), embora muito pouco explorados, os fármacos podem ter efeitos sobre bactérias, fungos e organismos superiores, quando na natureza. Logo, é importante entender como os produtos finais da síntese de fármacos comportam-se no meio ambiente, pois seus efeitos tóxicos podem ser notados apenas em longo prazo. Um outro aspecto importante é que as substâncias usadas na área médica são hidrofóbicas e podem facilmente penetrar nas membranas de organismos no ambiente e provocar a bioacumulação, a menos que esses organismos possam excretá-los como substâncias solúveis em água.

Em vista disso, nas últimas décadas ocorreu uma mudança muito grande no ambiente em que as corporações operam: as empresas que eram vistas apenas como instituições econômicas, com responsabilidades referentes a resolver os problemas econômicos fundamentais (o que produzir, como produzir e para quem produzir), têm presenciado o surgimento de novos papéis que devem ser desempenhados, como resultado das alterações no ambiente em que operam (DONAIRE, 1999). Entre estas novas atribuições está a preservação do meio ambiente que, aliada a uma nova visão de que a poluição é uma perda no processo produtivo, impulsionou a necessidade de criar um sistema capaz de permitir o gerenciamento de questões ambientais, surgindo assim os Sistemas de Gestão Ambiental – SGA (MOURA, 2000).

## 2.2 SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL

A questão ambiental será um dos desafios mais importantes para o mundo dos negócios no começo deste novo milênio. A cada dia, os clientes tornam-se mais exigentes, as legislações ficam mais rígidas e os problemas com o meio ambiente passam a ser discutidos pela sociedade mais intensamente (LERÍPIO, 2001). Sob esse aspecto, as empresas vêm a necessidade de tratar os assuntos ambientais de forma mais eficiente, sendo pressionadas por diversos fatores, esquematicamente apresentados na Figura 1.



**Figura 1:** Fatores externos que atuam sobre a empresa (adaptado de VALLE, 1996)

Nesse contexto, Donaire (1999) afirma que as organizações deverão inserir a variável ambiental no planejamento de seus cenários futuros e na tomada de decisão, além de manter uma postura responsável e de respeito ao meio ambiente. Assim, a necessidade de analisar todos estes fatores em conjunto levou ao desenvolvimento dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA).

Segundo Valle (1996), o SGA consiste em um conjunto de medidas e procedimentos definidos e adequadamente aplicados que visam reduzir e controlar os impactos introduzidos por um empreendimento sobre o meio ambiente.

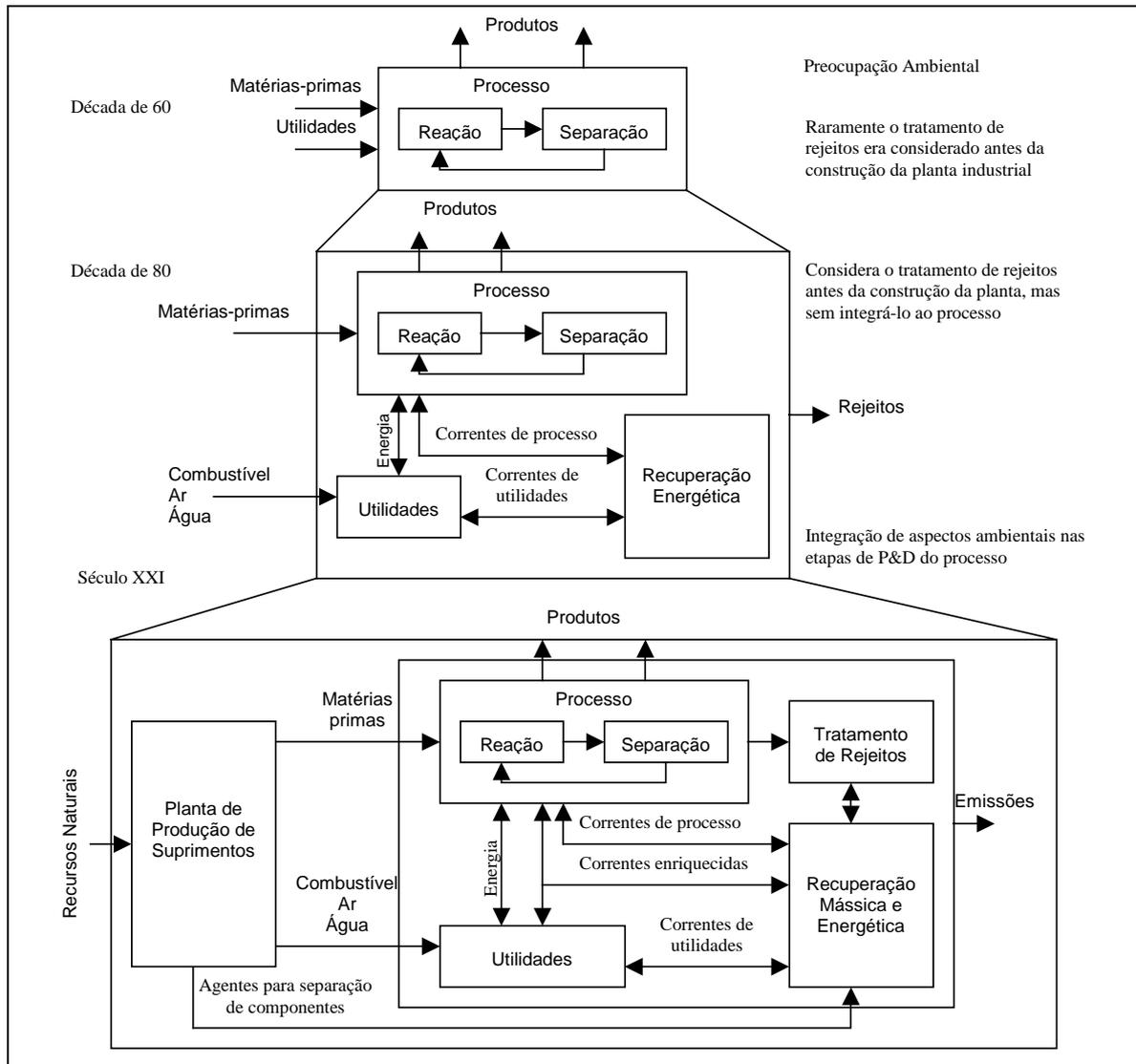
Do ponto de vista de evolução, Yang e Shi (2000) evidenciaram que os SGA passaram por três fases características. Em um primeiro momento, o tratamento dos rejeitos acontecia após a indústria já estar construída – tratamento de fim de tubo (*end of pipe*); em uma segunda etapa, o tratamento passou a ser considerado antes da construção das plantas industriais, porém sem estar integrado ao processo; e, no estágio mais avançado, este assunto foi incorporado nas etapas de pesquisa e desenvolvimento de processos, através da análise dos materiais e dos processos empregados. Para Figueiredo (1998), é com essa abordagem que se obtêm as melhores opções para a solução dos problemas ambientais, pois durante a concepção do processo as oportunidades para a redução de rejeitos são mais eficientes, assim como a detecção de possíveis fontes geradoras de resíduos e ações para minimizá-las ou eliminá-las.

A evolução dos SGA está ligada à expansão dos limites de atuação da empresa. No nível mais simples, esses limites foram estendidos apenas para realizar a integração e a recuperação energética na indústria. No segundo nível, surgiu o gerenciamento de resíduos através de estudos de reutilização, reciclagem e reaproveitamento de matérias-primas e subprodutos, constituindo-se em uma integração mássica e energética de processos. O estágio mais sofisticado dessa evolução ocorreu com o desenvolvimento da análise do ciclo de vida de produtos (YANG; SHI, 2000). A Figura 2 apresenta a expansão dos limites de atuação da empresa e sua ligação com a evolução dos SGA.

### **2.2.1 Estrutura de um SGA**

Conforme Valle (1996), um Sistema de Gestão Ambiental exige o compromisso da alta direção da empresa e o estabelecimento de uma Política Ambiental clara e definida que irá direcionar as atividades da organização com relação ao meio ambiente. Essa política é sustentada a partir de princípios que devem compreender responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para implementá-la e para mantê-la.

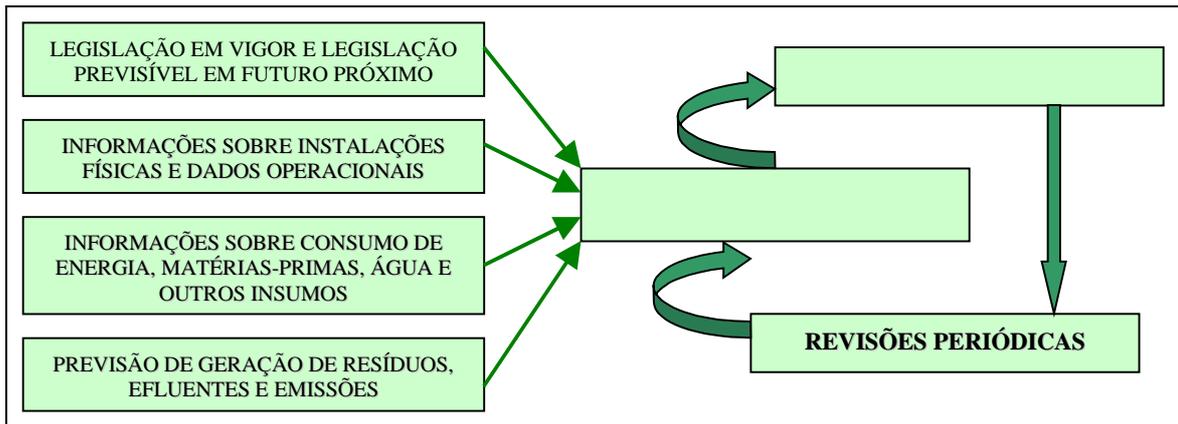
A partir dessas definições, são estabelecidas as diretrizes do SGA. Porém, sua operacionalização ocorre através da elaboração do Programa de Gestão Ambiental (PGA), que é um instrumento gerencial dinâmico e sistemático, com metas ambientais e com objetivos a serem alcançados em determinados intervalos de tempo.



**Figura 2:** Evolução da sistemática de análise de processos (adaptado de YANG; SHI, 2000)

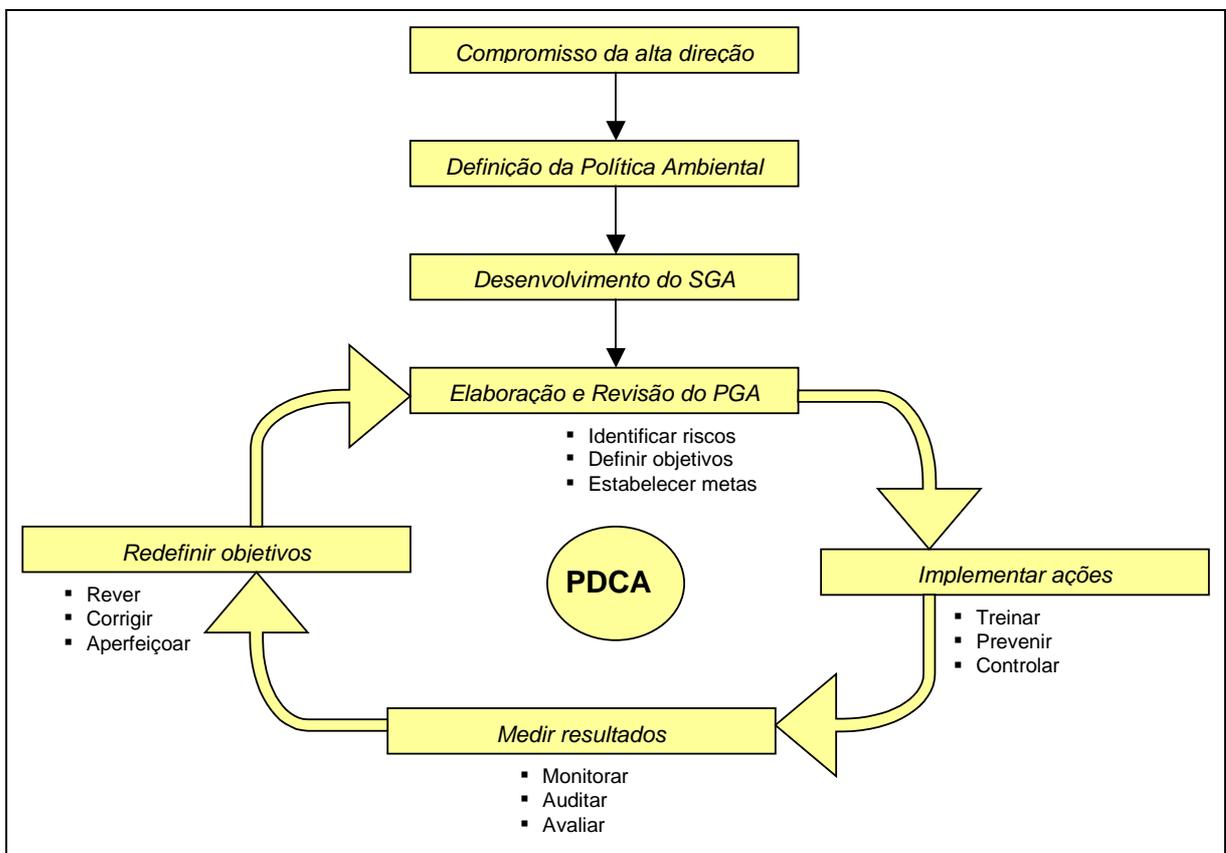
Ao elaborar o PGA, a empresa necessita identificar precisamente seus processos, matérias-primas e insumos energéticos utilizados, assim como resíduos, efluentes e emissões gerados (VALLE, 1996). A Figura 3 apresenta a interação entre os elementos que compõem o PGA.

Para Moura (2000), a implementação e a operação de um SGA corresponde à aplicação de conceitos e de técnicas de Administração particularizados para assuntos ambientais. O autor afirma que existem muitas técnicas possíveis que permitem realizar tal implementação, no entanto, destaca o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) como a ferramenta mais importante, inclusive empregada em normas internacionais para gerenciamento ambiental como a BS 7750 e a ISO 14.001.



**Figura 3:** Interação entre os elementos que compõem o PGA (adaptado de VALLE, 1996)

Assim, a estrutura completa de um Sistema de Gestão Ambiental que possibilite o desdobramento do compromisso da alta administração em medidas operacionais de melhoramento contínuo pode ser visualizada na Figura 4.



**Figura 4:** Estrutura completa de um SGA (adaptado de VALLE, 1996)

## 2.2.2 Filosofias e Metodologias de Gestão Ambiental

O desenvolvimento de um plano de gestão ambiental sempre deve considerar a preservação e a reposição de recursos não-renováveis, seguindo os Princípios do Desenvolvimento Sustentável (MOURA, 2000). Para Kinlaw (1997) *apud* Brandalise (2001), isso corresponde à evolução das organizações para um sistema de produção de riquezas compatível com os ecossistemas naturais que geram e preservam a vida. Já Valle (1996, p. 9) apresenta outra definição mais simples e comum: “Desenvolvimento Sustentável significa atender às necessidades da geração atual sem comprometer o direito das futuras gerações atenderem as suas próprias necessidades”.

A fim de alcançar o Desenvolvimento Sustentável, existem algumas filosofias e metodologias de gestão ambiental que podem ser adotadas, cujas principais são descritas neste trabalho.

A SETAC (2002) cita que o Desenvolvimento Sustentável pode ser atingido implementando-se a filosofia de Tecnologias Mais Limpas (*Cleaner Technology*). Segundo essa linha de pensamento, os processos industriais serão reestruturados para evitar a poluição e a geração de rejeitos, acarretando em um aumento na eficiência do uso de recursos (FRESNER, 1998). Um conceito relacionado com essa filosofia de gestão ambiental, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), é a Produção Mais Limpa, a qual visa agir preventivamente nos sistemas produtivos para minimizar os impactos da produção e de produtos no meio ambiente, através da identificação das fontes de rejeitos (LERÍPIO, 2001). Sob o ponto de vista operacional, as Tecnologias Limpas estão relacionadas às melhorias no projeto da planta industrial, enquanto a Produção Mais Limpa está ligada às melhorias do sistema produtivo plenamente estabelecido.

Por sua vez, a filosofia da Ecologia Industrial (*Industrial Ecology*) determina que as indústrias devem interagir entre si, não somente do ponto de vista econômico mas, também, em relação à exploração de materiais e do uso energético, assim como ocorre com os organismos na natureza. Deste ponto de vista, essa linha de pensamento assemelha-se à filosofia de Emissão Zero (*Zero Emissions Research Initiative – ZERI*) lançada pela Universidade das Nações Unidas que prevê um modelo empresarial com o constante reaproveitamento de resíduos e segue a lei de Lavoisier: “na natureza nada se cria e nada se

destrói, tudo se transforma”. Assim, a idéia básica é aproveitar os resíduos de um processo como insumos para outros (FERROLI, 1998).

Chandrashekar, Dougless e Avery (1999) citaram outra linha de pensamento em gestão ambiental – a filosofia de Gestão da Qualidade Ambiental Total (*Total Quality Environmental Management* – TQEM), a qual visa combinar os princípios de Gestão Ambiental e de Gestão da Qualidade Total para alcançar o Desenvolvimento Sustentável.

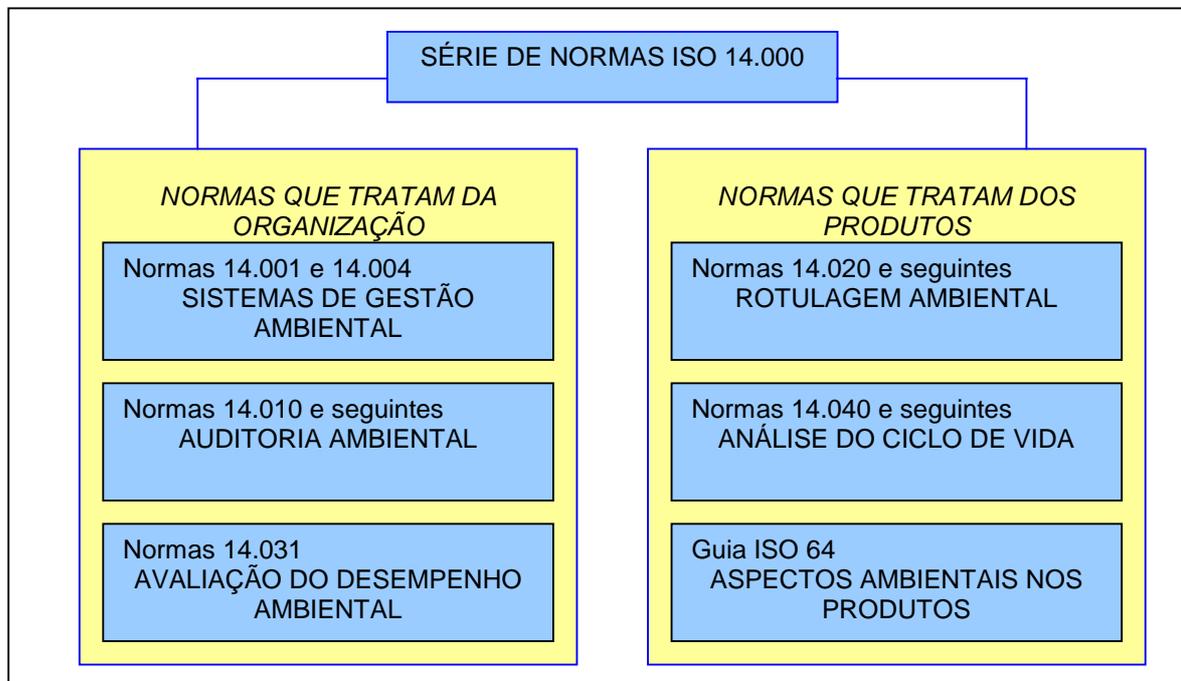
Por fim, a SETAC (2002) cita ainda a filosofia do Ciclo de Vida (*Life Cycle Thinking* – LCT), bastante difundida nos últimos anos. O LCT visa entender os efeitos ambientais de um produto desde a extração de matérias-primas até o descarte final dos seus resíduos. Do ponto de vista de metodologia operacional, desdobra-se na Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment* – LCA) e na Avaliação de Riscos Ambientais (*Environmental Risk Assessment* – ERA).

É importante destacar ainda que os melhores resultados referentes à solução de problemas ambientais são obtidos quando essas filosofias e ferramentas de análise são combinadas e empregadas em conjunto (SETAC, 2002).

### **2.2.3 Sistemas de Gestão Ambiental e ISO 14.000**

Durante muitos anos as normas ambientais se restringiam à definição de padrões e de limites de emissões que deveriam ser respeitados pelas empresas. Faltava uma abordagem sistêmica para tratar o problema, capaz de relacionar causas e efeitos de forma significativa (VALLE, 1996). Para Donaire (1999), a primeira ação a fim de preencher essa lacuna foi realizada pelo Instituto de Padronização Britânico (*British Standard Institute*), em 1992, ao editar a Norma BS 7750, cuja finalidade era fixar uma política ambiental, através do estabelecimento de objetivos e de formas para cumpri-los, além de permitir a demonstração para terceiros que as metas haviam sido atingidas. Essas normas serviram como base para que, em 1996, a Organização Internacional para a Normalização (*International Organization for Standardization* – ISO) estabelecesse diretrizes para a implementação de Sistemas de Gestão Ambiental nas diversas atividades econômicas que podem afetar o meio ambiente e para avaliar e certificar esses sistemas, surgindo então as primeiras normas da série ISO 14.000.

Segundo Lobo e Lima (1998), a ISO 14.000 possui dois enfoques: um nas organizações, outro nos produtos. Esta divisão fica bem retratada na Figura 5 em que se apresenta a estrutura dessa Série de Normas.

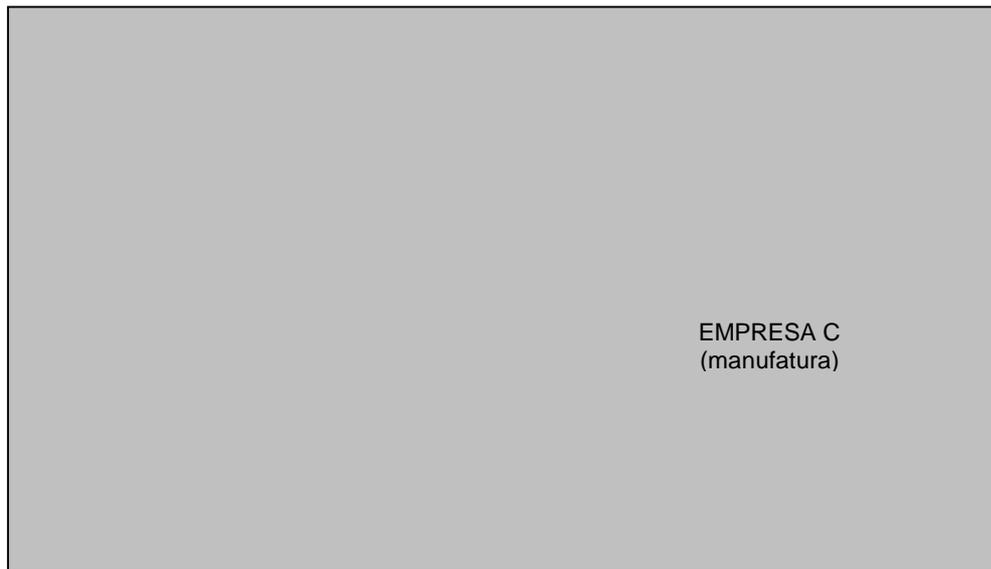


**Figura 5:** Estrutura da série de normas ISO 14.000 (Fonte: VALLE, 1996)

Conforme se pode observar na Figura 5, as normas que se referem aos SGA são a ISO 14.001 e a ISO 14.004. A primeira define as diretrizes para o uso e especificações, havendo uma correspondência com a ISO 9.001. Já a segunda norma citada, descreve as diretrizes gerais sobre os princípios, os sistemas e as técnicas de apoio ao SGA (DONAIRE, 1999).

A análise da Figura 5 revela também que existem normas que direcionam a realização de Auditorias Ambientais (ISO 14.010), a Avaliação de Desempenho Ambiental (ISO 14.031), a Rotulagem Ambiental (ISO 14.020) e a Análise do Ciclo de Vida (ISO 14.040). No que concerne a este último conjunto de normas, salienta-se que seu objetivo é estabelecer as interações entre as atividades produtivas e o meio ambiente, analisando o impacto causado pelos produtos, seus respectivos processos produtivos e atividades relacionadas, desde a extração dos recursos naturais até a disposição final dos resíduos. A abordagem sistêmica dessas normas opõe-se à abordagem convencional da indústria que se restringe à análise dos atributos dos produtos que gera.

Sob esse aspecto, os Sistemas de Gestão Ambiental não podem focar a atenção apenas nas indústrias, eles devem atuar também sobre os produtos, pois é ao longo de sua produção, distribuição e uso que surgem os problemas ambientais. Zobel *et al.* (2002) afirmam que a Análise do Ciclo de Vida pode, no mínimo, ser adaptada aos SGA para uma avaliação efetiva de problemas ambientais. Como se observa na Figura 6, enquanto os SGA normalmente são aplicados à organização, o LCA complementa a análise ligando os sistemas de gerenciamento ambiental das diversas empresas.



**Figura 6:** Integração entre a Análise do Ciclo de Vida e os SGA  
(adaptado de ZOBEL *et al.*, 2002)

### 2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS

A crescente preocupação da sociedade com respeito aos problemas ambientais motivou o desenvolvimento de técnicas para incorporar aspectos dessa origem em processos industriais. Paralelamente, a busca pela maximização do lucro levou as indústrias a investir na prevenção da poluição e na minimização da geração de rejeitos em seus processos produtivos, necessitando para isso de uma análise mais integrada do sistema (BAKSHI, 2000). Isso é necessário para evitar decisões que, embora em curto prazo sejam aceitáveis, revelem-se prejudiciais quando consideradas em um período mais longo. Tal fato fica claro no exemplo proposto por Chehebe (1998, p. 10 – 11):

... imagine um proprietário de uma rede de *shopping centers* que decida avaliar que contribuições sua empresa pode dar para a preservação do meio ambiente. Após visitar vários de seus *shoppings*, ele percebe que o consumo total de toalhas de papel em todos os banheiros gera um volume considerável de resíduos e decide, então, reduzir esse impacto ambiental. A solução lhe parece óbvia: retornar ao método convencional e substituir as toalhas de papel por toalhas de pano.

Analisando, no entanto, um pouco mais o assunto, ele percebe que ao tomar tal decisão estará, na realidade, simplesmente realizando uma transferência de problema. Reduzirá, sem dúvida, o desperdício de papel nos banheiros, mas fará ao mesmo tempo crescer, através das repetidas lavagens das toalhas de pano, um outro tipo de contaminação: aumentará a poluição das águas e outros tipos de poluição. Em outras palavras, ele estará transferindo a contaminação de um processo para outro.

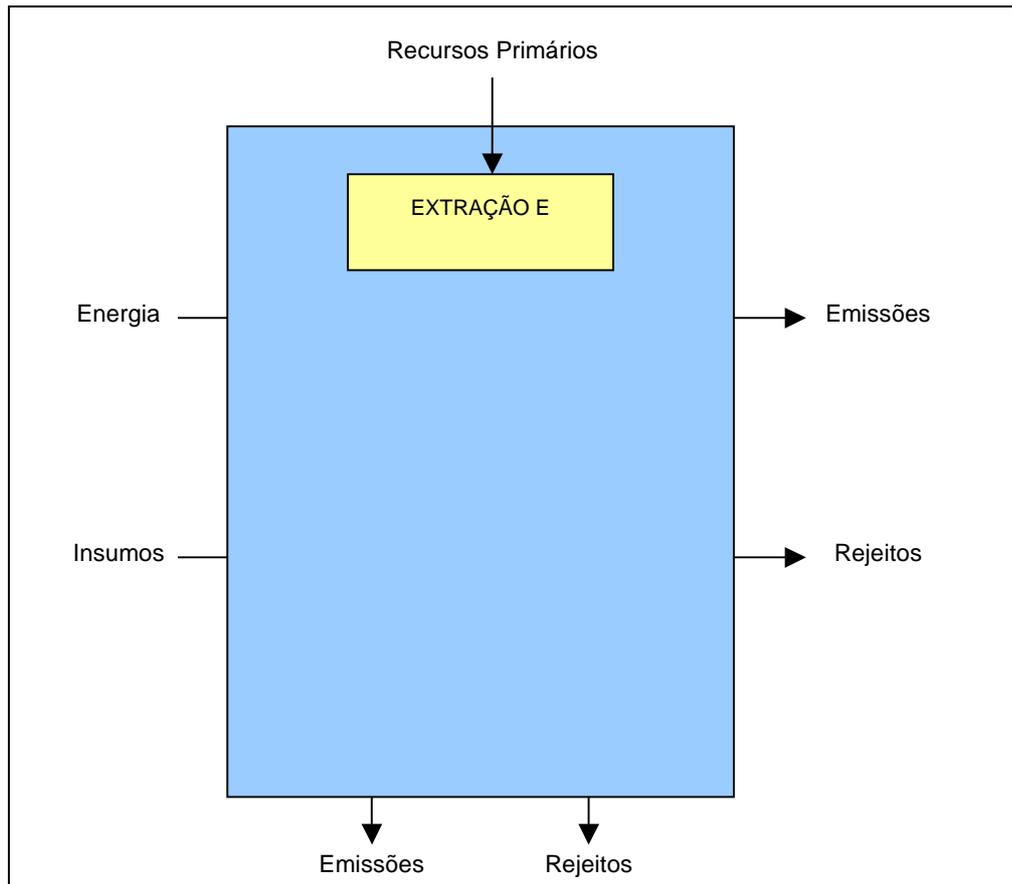
Conforme Chehebe (*op. cit.*), embora simples, o exemplo anterior serve para ilustrar a necessidade de se considerar o contexto no qual será tomada uma determinada decisão, quando esta se refere à questão ambiental. Dependendo da abrangência da análise, pode-se estendê-la desde as matérias-primas consumidas, passando pelos sistemas de produção e transporte, até o uso e a disposição final do produto. Assim, a fim de auxiliar os Sistemas de Gestão Ambiental e para verificar se uma determinada ação é globalmente interessante do ponto de vista ecológico, foi desenvolvida a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment – LCA*).

Vários autores, dentre eles Brentrup *et al.* (2001), Tukker (2000) e Azapagic (1999), definem o LCA como uma metodologia de avaliação de impactos ambientais associados a produtos, processos ou atividades. Isto, através da identificação, da quantificação e da avaliação de todas as matérias-primas e energia consumidas e rejeitos gerados ao longo do ciclo de vida, ou seja, desde a extração de matérias-primas até a disposição final dos resíduos. Essa definição torna-se mais clara ao se observar a Figura 7.

Do ponto de vista gerencial, o LCA constitui-se em uma forte tentativa de integrar a Qualidade Tecnológica do Produto, a Qualidade Ambiental e o Valor Agregado para o consumidor e para a sociedade (CHEHEBE, 1998). Com o emprego do LCA é possível:

- a) estabelecer uma base de informações sobre os produtos, no que se refere às necessidades totais de recursos, consumos de energia e emissões;

- b) identificar pontos dentro do ciclo de vida e dentro de um determinado processo, nos quais seja possível realizar reduções nas necessidades de recursos e emissões;
- c) auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades visando a redução do consumo de recursos ou da geração de rejeitos.



**Figura 7:** Esquema ilustrativo do objeto de estudo da metodologia LCA (adaptado de AZAPAGIC, 1999)

### 2.3.1 Histórico

Burgess e Brennan (2001) fizeram um breve levantamento histórico do desenvolvimento da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida. Segundo os autores, as origens do LCA reportam-se aos anos 60. Naquela época, os estudos eram simples e genéricos, restringindo-se ao cálculo do consumo de energia e da geração de resíduos, dispensando pouca atenção à avaliação de potenciais efeitos ambientais. Conforme Chehebe (1998), no ano de 1965 a Coca-Cola custeou um estudo realizado pelo MRI (*Midwest*

*Research Institute*) para comparar diferentes tipos de embalagens para refrigerantes. O objetivo era determinar qual delas apresentava índices mais adequados de emissão para o meio ambiente e melhor desempenho em relação à preservação de recursos naturais. Esse estudo, conhecido como REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*), é considerado um marco para o surgimento do LCA.

Todavia, foi somente com a crise do petróleo, no início da década de 70, que a busca por formas alternativas de energia e a necessidade de melhor utilização dos recursos naturais impulsionou os estudos para avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis. Embora de forma superficial, alguns desses estudos incluíram estimativas de geração de rejeitos sólidos, líquidos e gasosos (CHEHEBE, 1998).

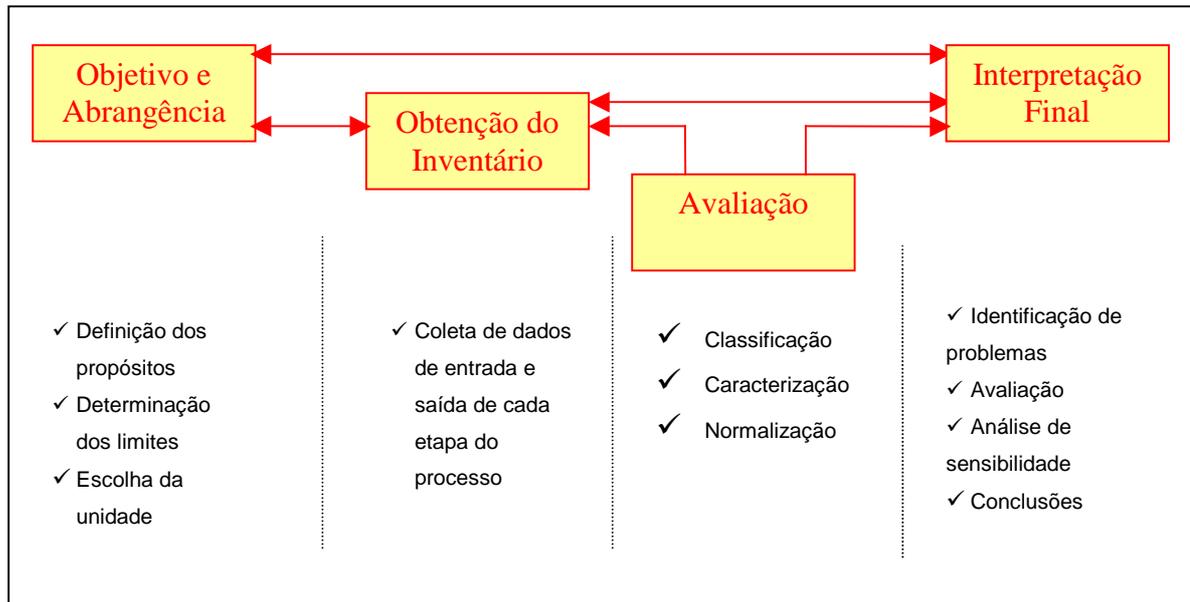
Depois disso, conforme Burgess e Brennan (2001), na década de 80 foram realizados estudos usando os princípios da metodologia LCA, principalmente por empresas privadas da Suécia, da Suíça e dos EUA. Para Chehebe (1998), a proliferação de estudos usando o LCA sem uma padronização levou a certos exageros que quase comprometeram essa metodologia de avaliação ambiental. Por exemplo, algumas empresas e instituições, na tentativa de usá-lo como estratégia de *marketing*, realizaram análises tendenciosas, com as quais divulgavam ao público somente os resultados que lhes interessavam.

Assim, desde os anos 90, a SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) vem desenvolvendo atividades para sistematizar a Avaliação do Ciclo de Vida, evitando erros em estudos por questões metodológicas como ocorrera anteriormente. A ISO também realiza um trabalho em paralelo com os mesmos objetivos. Embora independentes, as metodologias desenvolvidas por esses dois órgãos podem ser consideradas similares (AZAPAGIC, 1999).

### **2.3.2 Estrutura da Metodologia LCA**

Segundo a Norma ISO 14.040, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida está estruturada em 4 etapas: definição do objetivo e da abrangência do estudo; obtenção de um inventário do ciclo de vida; avaliação dos impactos ambientais e interpretação dos resultados.

A Figura 8 apresenta a relação existente entre essas etapas, com uma breve descrição.



**Figura 8:** Etapas do metodologia LCA e uma breve descrição de cada uma (adaptado de CHEHEBE, 1998)

### 2.3.2.1 Definição do objetivo e da abrangência do estudo

Conforme Brentrup *et al.* (2001), a primeira etapa da metodologia LCA é a definição dos objetivos e da abrangência dada à análise. Isso inclui a descrição do sistema estudado e a determinação de suas limitações.

Com relação aos objetivos, o estudo pode servir para comparar produtos entre si ou com um padrão; promover melhorias ambientais; projetar um novo produto/processo ou, simplesmente, obter mais informações a seu respeito (CHEHEBE, 1998).

Já no que se refere à determinação dos limites de análise, Chehebe (*op. cit.*) afirma que ela deve ser realizada com muito cuidado, pois sempre há restrições quanto ao tempo e aos recursos financeiros disponíveis. A expansão do sistema analisado aumenta a complexidade e as despesas do estudo, sem garantir resultados muito melhores. É necessário que a análise seja gerenciável, prática, econômica e confiável. Desta forma, o emprego dessa metodologia em um estudo pode compreender um processo, uma empresa, um parque industrial, uma região ou, ainda, ter perspectivas globais.

Um outro aspecto importante nessa etapa da metodologia é a definição de uma unidade funcional (unidade de referência), na qual serão expressos todos os impactos ambientais apresentados no estudo (BRENTROP *et al.*, 2001). Segundo Burgess e Brennan (2001), a escolha da unidade funcional é simples, geralmente assumindo o valor de uma tonelada de produto. No entanto, em função de suas propriedades, pode-se adotar outras unidades de medida, como o volume, por exemplo.

### 2.3.2.2 Obtenção de um inventário do ciclo de vida

A segunda etapa da avaliação consiste em obter um inventário com todos os recursos empregados e os rejeitos gerados ao longo de cada fase do ciclo de vida, expressando-os em função da unidade de referência definida anteriormente. Assim, nessa parte da análise são listadas e quantificadas as entradas e as saídas de material do processo (BRENTROP *et al.*, 2001).

Essa é a etapa mais difícil e trabalhosa de ser executada na Avaliação do Ciclo de Vida. A fim de evitar um exaustivo consumo de tempo e de recursos, pode ser feita uma investigação preliminar com uma coleta mais grosseira dos dados, enfatizando-se mais a sua integridade do que a precisão e a qualidade. As conclusões obtidas com essa análise são utilizadas para ajustar as decisões que já foram tomadas na etapa de planejamento do estudo. Assim, alguns estágios do ciclo de vida e fluxos de materiais podem ser excluídos da avaliação, bem como novas unidades de processo poderão ser incluídas (CHEHEBE, 1998).

Conforme Chehebe (1998), como um grande volume de dados deverá ser coletado das unidades do processo, sendo obtidos de diversas fontes, é aconselhável que eles sejam organizados em categorias, tais como: energia, matérias-primas, materiais auxiliares; produtos; e emissões para o ar, geração de efluentes e resíduos sólidos.

### 2.3.2.3 Avaliação dos impactos ambientais

A finalidade dessa etapa da metodologia é agregar as informações obtidas na fase anterior. Para isso, envolve a seleção de categorias, a classificação, a caracterização e a avaliação propriamente dita (TUKKER, 2000).

De acordo com Chehebe (1998), a seleção e a definição das categorias ambientais que serão consideradas no estudo devem estar em sintonia com os objetivos e a abrangência definidos na primeira fase. Normalmente, estas categorias incluem os seguintes problemas ambientais:

- a) *exaustão de recursos não-renováveis* – relativo à extração de minérios, de combustíveis fósseis ou minerais, etc.;
- b) *aquecimento global* – elevação da temperatura do planeta, devido à maior retenção da radiação que atinge a Terra;
- c) *redução da camada de ozônio* – degradação da camada de ozônio provocando um aumento na quantidade de raios ultravioletas que chegam à Terra, interferindo na saúde humana e no ecossistema;
- d) *toxicidade humana* – exposição a substâncias tóxicas através do ar, da água, do solo e, especialmente, através da cadeia alimentar;
- e) *ecotoxicidade* – danos causados à fauna e à flora devido a substâncias tóxicas. Refere-se tanto à toxicidade aquática, como à terrestre;
- f) *acidificação* – é a deposição ácida resultante das emissões de óxidos de nitrogênio e de enxofre, causando a acidez da água e do solo, que tem efeitos sobre a fauna e a flora;
- g) *formação de oxidantes fotoquímicos* – na presença de raios ultravioletas, os óxidos de nitrogênio reagem com substâncias orgânicas voláteis, formando oxidantes fotoquímicos que provocam a formação de uma névoa tóxica;
- h) *nitrificação* – também conhecido como eutrofização, é o fenômeno de crescimento descontrolado de algas devido à adição excessiva de nutrientes à água, afetando outros organismos como os peixes, por exemplo.

Depois de selecionadas as categorias de impacto ambiental de interesse no estudo, faz-se a classificação, ou seja, a distribuição de emissões geradas e os recursos consumidos nessas categorias, de acordo com o tipo de problema para os quais contribuem

(BRENTRUP *et al.*, 2001). Como exemplo, Chehebe (1998) cita que emissões de gás metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) são agrupadas na categoria de aquecimento global, já que essas substâncias contribuem para a retenção das radiações infravermelhas e elevam a temperatura do planeta.

Após a classificação realiza-se a caracterização, visando quantificar o potencial de contribuição de cada substância para as categorias de impacto analisadas (BURGESS e BRENNAN, 2001). Segundo Tukker (2000), essa quantificação é feita empregando-se fatores de equivalência e substâncias de referência para cada classe de problemas ambientais, conforme equação (1).

$$S_i = \sum_1^j (e_{ij} \cdot E_j), \quad (1)$$

na qual:  $S_i$  é o escore do impacto ambiental  $i$ ;

$E_j$  é a quantidade de substância  $j$  emitida;

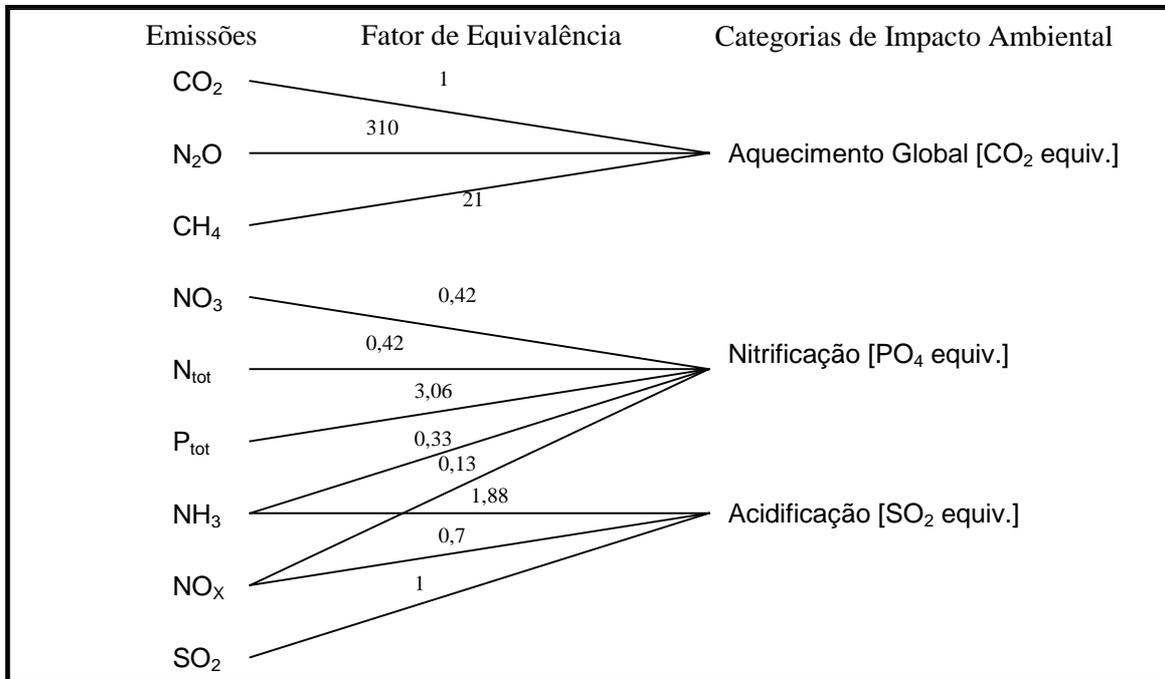
$e_{ij}$  é o fator de equivalência que indica a contribuição de uma unidade da substância  $j$  para a categoria de impacto ambiental  $i$ .

A Figura 9 apresenta uma síntese com as substâncias de referência empregadas nas principais categorias de impacto ambiental estudadas.

<b>Tipo de impacto</b>	<b>Referência</b>
Exaustão de recursos não-renováveis (RNR)	Medido em relação à oferta global
Potencial de aquecimento global (PAG)	Efeito de 1 kg de $\text{CO}_2$
Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)	Efeito de 1 kg de etileno
Potencial de acidificação (PA)	Efeito de 1 kg de $\text{SO}_2$
Potencial de toxicidade humana (PTH)	Massa do corpo humano que estaria exposta ao limite toxicológico aceitável por 1 kg de substância
Ecotoxicidade Aquática (ECA)	Volume de água contaminada por 1 kg de substância, a nível crítico
Ecotoxicidade Terrestre (ECT)	Massa de solo contaminado por 1 kg de substância, a nível crítico
Potencial de Nitrificação (PN)	Efeito de 1 kg de fosfato
Potencial de Redução da Camada de Ozônio (PRCO)	Efeito de 1 kg de CFC-11

**Figura 9:** Quadro com as substâncias de referência para as principais categorias de impacto ambiental (Fonte: CHEHEBE, 1998)

Dessa forma, por exemplo, ao se investigar o aquecimento global causado por uma substância, deve-se primeiramente expressá-la em termos de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente. A Figura 10 apresenta esquematicamente como isso é feito.



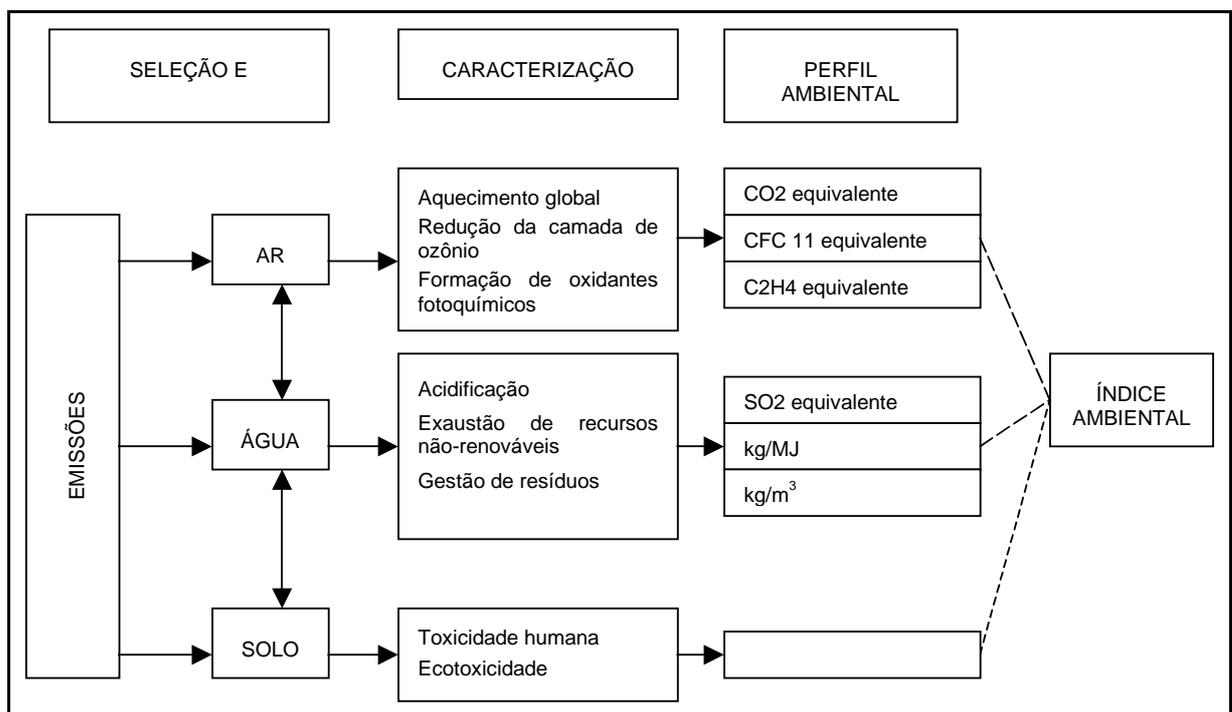
**Figura 10:** Exemplo do emprego do uso de fatores de equivalência (adaptado de BRENTRUP *et al.*, 2001)

Segundo Chehebe (1998), os fatores de equivalência são utilizados para calcular os efeitos diretos do composto originalmente emitido, ou seja, se ocorrerem reações químicas na atmosfera, as substâncias formadas não serão consideradas na análise, pois seus efeitos são indiretos e há incertezas científicas a esse respeito. Um exemplo dessa situação ocorre com as emissões de metano que se oxidam a dióxido de carbono.

Alguns autores, entre eles Burgess e Brennan (2001), Brentrup *et al.* (2001) e Chehebe (1998), inserem uma quarta sub-etapa na avaliação dos impactos ambientais: a normalização. Embora opcional, ela tem sido usada constantemente nos estudos para normalizar os dados provenientes da caracterização e obter um perfil ambiental normalizado. Geralmente, usa-se como referência nesse processo um determinado produto ou substância, uma área geográfica, um determinado valor legal de limite de poluente ou um parâmetro econômico – custo de prevenção, por exemplo. De acordo com a SETAC (1998), esse

procedimento traz como benefícios a melhor interpretação dos dados quando comparados entre si, sendo um ponto de partida mais adequado para realizar a sub-etapa final de avaliação.

A finalização dessa parte da metodologia LCA envolve a avaliação dos resultados, na qual os diferentes problemas ambientais tratados no estudo são comparados entre si através da adoção de fatores de ponderação. Estes pesos podem ser estabelecidos visando uma análise em nível nacional, regional ou global, porém sempre procurando investigar as preferências da sociedade para a redução de problemas ambientais. Existe uma série de métodos que podem ser usados para conduzir a avaliação dos resultados (BURGESS; BRENNAN, 2001). Conforme Chehebe (1998), o índice ambiental é formado pela atribuição de pesos a cada problema em termos de sua importância; após, somam-se os resultados ponderados. Esta sub-etapa da Avaliação do Ciclo de Vida é necessária, pois a grande quantidade de dados torna complexa a comparação entre estudos, preferindo-se transformá-los em um simples indicador, como apresentado na Figura 11.



**Figura 11:** Processo de formação do índice ambiental (adaptado de CHEHEBE, 1998)

Essa fase final da etapa de avaliação de impactos ambientais é polêmica no meio científico, pois enquanto alguns pesquisadores defendem a necessidade de um índice de impacto ambiental único, outros não vêem razão econômica ou científica capaz de justificar

tal procedimento. Além disso, diferentemente da fase de caracterização em que os pesos utilizados estão baseados em conhecimentos científicos ou empíricos, a atribuição de fatores de ponderação durante a avaliação é feita empregando-se critérios subjetivos.

#### 2.3.2.4 Interpretação dos resultados

A última fase da metodologia LCA envolve a interpretação dos resultados, cuja finalidade é analisá-los de acordo com os objetivos e a abrangência definidos no início do estudo (BURGESS; BRENNAN, 2001). Para Brentrup *et al.* (2001), nessa etapa os resultados da avaliação dos impactos ambientais são usados para identificar pontos críticos e possibilidades de reduzir os efeitos negativos sobre o meio ambiente. Burgess e Brennan (2001) complementam, afirmando que se trata de uma análise mais completa que envolve a interpretação dos resultados em conjunto com outros aspectos como os custos, por exemplo.

Chehebe (1998) afirma que durante a interpretação dos resultados deve-se verificar a integridade, a sensibilidade e a consistência dos resultados. Sob o ponto de vista de integridade, deseja-se garantir que as entradas, as saídas e os impactos potenciais identificados representem adequadamente as informações fornecidas pelo estudo. Quando alguma informação importante estiver incompleta ou não disponível, isso deve ser mencionado nas conclusões.

Quanto à análise de sensibilidade, variações na qualidade dos dados, nas estimativas realizadas e algumas hipóteses e limitações impostas introduzem incertezas no estudo que podem comprometer os resultados. Por isso, verifica-se como e em que extensão pequenas variações nos dados influenciam o resultado final. Além disso, a análise de sensibilidade pode mostrar quais informações necessitam de uma coleta mais cuidadosa por ter maior impacto sobre as conclusões. Um método prático e comum para operacionalizar esse estudo é a construção de cenários em que os valores dos parâmetros selecionados sofrem pequenas variações e acompanha-se a resposta do sistema (CHEHEBE, 1998).

Por fim, o autor supra citado afirma que a verificação da consistência visa estabelecer um determinado grau de confiança para as conclusões do estudo, de acordo com seu objetivo geral. Assim como na análise de sensibilidade, os principais parâmetros sofrem variações e observam-se as mudanças nos resultados do trabalho. Se pequenas modificações

nesses parâmetros produzirem conclusões muito diferentes, os resultados originais são caracterizados como inconsistentes e devem ser revistos.

Também é nessa fase que as abordagens da ISO e da SETAC mais se diferenciam. Enquanto para a SETAC, ela é apenas uma avaliação de melhorias do sistema, as normas da ISO incluem também a identificação dos estágios que mais contribuem para o impacto ambiental, realizam uma análise de sensibilidade e prevêm recomendações finais, como foi citado acima (AZAPAGIC, 1999). Do ponto de vista metodológico, Tukker (2000) aponta ainda outra diferença entre as abordagens da ISO e da SETAC: a escolha das categorias de impacto ambiental. A ISO propõe categorias de impacto em uma cadeia de causa-efeito constituída por impactos primários, secundários e terciários. Por exemplo, as emissões de CO<sub>2</sub> promovem um aumento na absorção de radiação pela Terra (impacto primário) que por sua vez promove o aquecimento global (impacto secundário) e eleva o nível dos mares (impacto terciário). Já a SETAC adota categorias de impacto previamente determinadas, tais como aquecimento global, acidificação, formação de compostos foto-oxidantes, entre outras, sem considerar esse desdobramento de efeitos.

### **2.3.3 Hipóteses da Metodologia LCA**

A aplicação da metodologia de Análise do Ciclo de Vida envolve basicamente a realização de balanços de massa e de energia. No entanto, existem algumas hipóteses básicas e implícitas que são adotadas e devem ser salientadas para seu correto emprego, como citadas por Chevalier e Le Téo (1996):

- a) estado estacionário – admite-se que não há variação temporal, ou seja, as emissões produzidas pelo sistema não se modificam ao longo dos anos;
- b) isolamento – assume-se que não há interação do sistema com suas vizinhanças, isto é, ao se analisar um produto isola-se o mesmo do universo, embora a análise ocorra ao longo de todo o seu ciclo de vida. Isto é necessário para evitar que a expansão do sistema torne a análise não-gerenciável;
- c) precisão – considera-se que nenhum fluxo material ou energético possa ter mais do que um único valor.

### 2.3.4 Aplicações do LCA

Os estudos empregando a metodologia LCA têm-se focado principalmente em produtos, com limitadas aplicações a processos (BURGESS; BRENNAN, 2001). Neles abrange-se a área energética, o setor de transportes, as indústrias química, nuclear, metal-mecânica e de polímeros, as indústrias de papel, têxtil e couro, os setores hidrológico e eletrônico, entre outros (AZAPAGIC, 1999). Segundo esse autor, as aplicações têm incluído principalmente os seguintes usos: estratégias de planejamento e de desenvolvimento ambiental; otimização de produtos e de processos; identificação de oportunidades de melhorias ambientais; e informações ambientais e *Marketing*;

Vigon e Jensen (1995) realizaram um estudo com instituições de ensino, governamentais, indústrias e consultores, a fim de ter uma visão geral sobre o emprego do LCA. No trabalho realizado, observou-se que o LCA foi empregado em diversas áreas e que as organizações industriais são as que tiveram aplicações mais diversificadas. Como conclusão, ficou evidenciado que o desenvolvimento e as melhorias de produto foram os principais focos de aplicação da metodologia.

Em outra aplicação, Azapagic e Clift (1999) utilizaram a metodologia LCA para desenvolver um modelo de otimização multiobjetiva, no qual são trabalhadas, simultaneamente, variáveis econômicas e ambientais.

A metodologia LCA também já foi aplicada nas etapas de projetos-piloto de desenvolvimento de processos a fim de conhecer melhor seus limites e potencialidades. Essas aplicações geram benefícios ambientais em longo prazo (SCHOLL; NISIUS, 1998). Ainda nesse campo, Azapagic (1999) cita a criação de uma nova ferramenta para o desenvolvimento de projetos e produtos – *Life Cycle Product/Process Design* (LCPP). No entanto, ela não está plenamente desenvolvida e apresenta até o presente poucas publicações na literatura. Segundo o LCPD, considerações ambientais são incorporadas nas fases iniciais do desenvolvimento do projeto, juntamente aos critérios técnicos e econômicos. Além disso, ela pode proporcionar uma comparação entre diferentes rotas tecnológicas de fabricação de produtos, usando as mesmas matérias-primas ou outras diferentes.

No Brasil, Ugaya (2001) aplicou a metodologia LCA na cadeia automotiva. No seu trabalho, foi realizada uma análise comparativa entre alguns materiais primários e secundários utilizados em automóveis. Além disso, verificou-se a possibilidade de emprego

de ações de reutilização, reciclagem e recuperação energética como alternativas à disposição de componentes automotivos em aterros. A análise mostrou que a aplicação do LCA em um produto complexo, como um automóvel, é extremamente trabalhosa, necessitando de grande quantidade de dados, de muitos cálculos, do conhecimento de vários processos industriais e ainda de uma análise detalhada dos resultados obtidos.

O quadro da Figura 12 apresenta uma síntese dos principais trabalhos encontrados na literatura envolvendo a aplicação da metodologia LCA, salientando-se os seus objetivos e resultados, bem como as áreas de aplicação.

Como se verifica na Figura 12, não há um consenso quanto às categorias de impacto ambiental a serem empregadas em um estudo envolvendo o LCA. Isso dependerá dos objetivos de cada trabalho. No entanto, a partir da análise, pôde-se identificar quais são as que aparecem freqüentemente nos trabalhos, como ilustrado no gráfico da Figura 13. Em um estudo similar, Yang e Shi (2000) também analisaram alguns trabalhos publicados na literatura a fim de identificar quais as categorias de impacto ambiental que são mais usadas na Avaliação do Ciclo de Vida. Os resultados obtidos também são ilustrados na Figura 13.

### **2.3.5 Dificuldades e Críticas à Metodologia LCA**

Em geral, encontra-se citado na literatura que o LCA não está plenamente desenvolvido. Existem discussões com relação aos seus princípios básicos e algumas limitações metodológicas devem ser contornadas (BURGESS; BRENNAN, 2001). De acordo com Scholl e Nisius (1998), há dificuldades em determinar o grau de detalhamento da análise. Assim, para o uso dessa metodologia em um estudo é preciso resolver os *trade-offs* entre a precisão científica e a aplicabilidade prática dos resultados.

Conforme Hansen (1998), outras limitações dos trabalhos que empregam o LCA são a validade e a generalização dos resultados. Isto dependerá da qualidade dos dados e das hipóteses assumidas no estudo. Ainda, as variações e as incertezas nos fatores que quantificam as emissões do sistema e nos parâmetros de ponderação da fase de avaliação também se restringem tais generalizações.

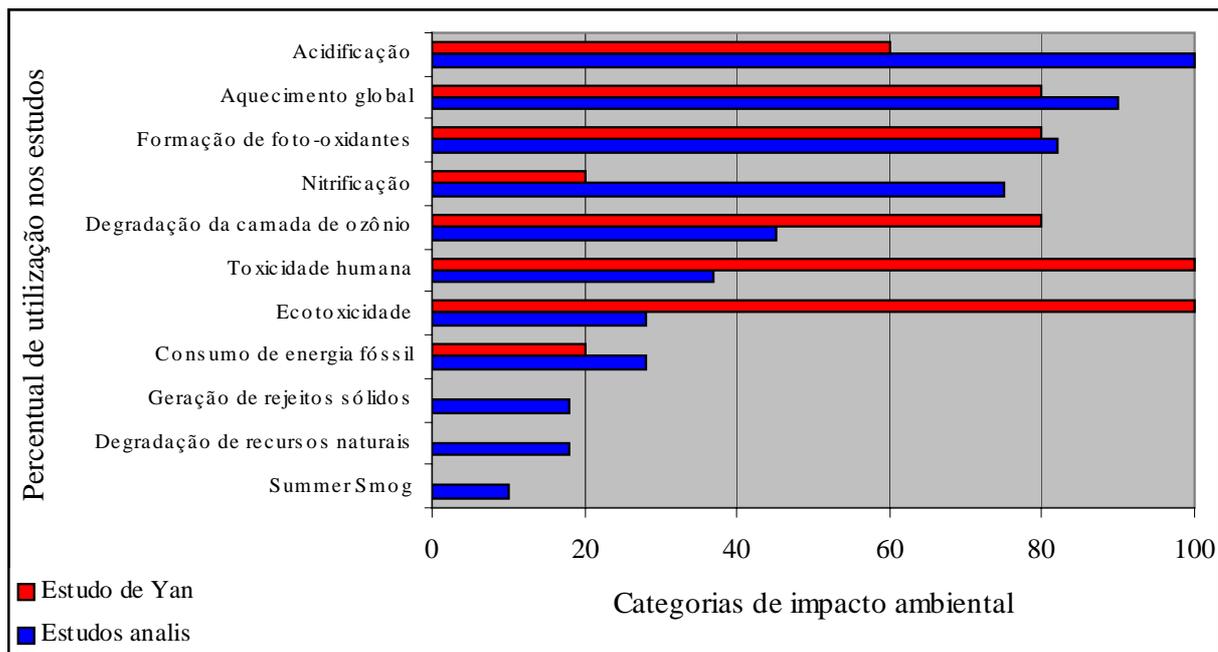
Autor	Objetivo do Estudo	Principais Resultados	Área de Aplicação	Categorias de impacto analisadas
Hanssen (1998)	Analisar 18 produtos agrupados em classes e investigar a generalização dos resultados	Há diferenças entre as classes de produtos e os estágios de ciclo de vida na mesma classe.	Produtos	Aquecimento global, acidificação, formação de compostos foto-oxidantes, toxicidade humana, gasto de energia fóssil, disposição de sólidos e nitrificação.
Azapagic e Clift (1999)	Aplicar metodologia de otimização usando programação linear multiobjetiva, em 5 produtos derivados do boro	O desempenho ambiental do sistema teve uma melhoria de até 20% em comparação às condições iniciais de operação.	Produtos	Aquecimento global, acidificação, degradação da camada de ozônio, formação de foto-oxidantes, ecotoxicidade e nitrificação.
Furuholt (1995)	Comparar a produção e uso de três diferentes combustíveis derivados de petróleo: gasolina comum, gasolina com MTBE e diesel	Gasolina com MTBE apresenta potencial de impacto ambiental maior que gasolina comum e esta maior que o diesel.	Combustíveis	Aquecimento global, acidificação, nitrificação, formação de foto-oxidantes, gasto de energia fóssil e disposição de sólidos.
Andersson, Ohlsson e Olsson (1998)	Identificar os pontos críticos para o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do <i>ketchup</i>	Para a maioria das categorias de impacto ambiental analisadas, a etapa de embalagem e processamento foram as mais críticas.	Alimentos	Aquecimento global, acidificação, nitrificação, formação de foto-oxidantes, degradação da camada de ozônio, toxicidade humana e ecotoxicidade.
Brenttrup <i>et al.</i> (2001)	Comparar três tipos de fertilizantes (CAN, UAN e uréia) a fim de verificar qual deles causa menor impacto ao meio ambiente	A partir do emprego da metodologia, verificou-se que o fertilizante do tipo CAN foi o que apresentou menor potencial de impacto ambiental.	Agricultura	Aquecimento global, acidificação, eutroficação e formação de densas camadas de ar poluído ( <i>summer smog</i> ).
Azapagic (1999)	Aplicar o LCA na seleção de processos, design e otimização como uma metodologia para identificar as tecnologias limpas. Exemplifica o emprego da metodologia em sistemas para a redução de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e VOCs	O trabalho mostrou que a escolha das melhores práticas de produção (BPEO) é dependente dos limites impostos ao sistema, estado de operação e fundo econômico do sistema analisado. Através do estudo, demonstrou-se que a reciclagem de poluentes pode não trazer os melhores resultados ambientais em alguns casos.	Projetos	Aquecimento global, acidificação, nitrificação, formação de foto-oxidantes, toxicidade humana e degradação de recursos.

**Figura 12:** Principais aplicações da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida

continua ...

Autor	Objetivo do Estudo	Principais Resultados	Área de Aplicação	Categorias de impacto analisadas
Lopes <i>et al.</i> (2003)	Comparar dois tipos de combustíveis (óleo pesado e gás natural) utilizados na indústria de papel e celulose	O emprego de gás natural como combustível para a indústria de papel e celulose é ambientalmente melhor	Combustíveis	Aquecimento global, acidificação, nitrificação, formação de foto-oxidantes e degradação de recursos.
Soneson e Berlin (2003)	Analisar os futuros impactos ambientais de uma cadeia de suprimentos de produtos matinais	O aumento por produtos "frescos" levará a um aumento no consumo de energia e quantidade de embalagens utilizadas	Alimentos	Aquecimento global, acidificação, nitrificação, formação de foto-oxidantes e consumo de energia fóssil.
Nicoletti, Notarnicola e Tarsielli (2002)	Analisar o impacto ambiental de dois tipos de materiais para assoalho (cerâmica e mármore) e determinar os pontos críticos na cadeia produtiva desses materiais	A análise mostrou que o mármore é ambientalmente melhor e que, no sistema de produção da cerâmica, há liberação de emissões de arsênio	Materiais	Aquecimento global, acidificação, degradação da camada de ozônio, formação de foto-oxidantes, toxicidade humana, ecotoxicidade e nitrificação.
Aresta e Galatola (1999)	Analisar duas rotas sintéticas diferentes para o dimetilcarbonato (DMC): uma rota usando fosfogênio e outra usando CO <sub>2</sub>	O estudo mostrou que a rota empregando fosfogênio apresenta impactos ambientais quatro vezes maiores que a rota usando CO <sub>2</sub>	Química	Aquecimento global, acidificação, degradação da camada de ozônio e nitrificação.
Seppälä <i>et al.</i> (2002)	Dar uma visão geral do consumo de materiais e energia e da geração de emissões e impactos ambientais nos vários estágios do ciclo de vida dos produtos da indústria de fabricação e processamento de metais, na Finlândia	O estudo mostrou que a indústria desse ramo não é homogênea quanto aos impactos ambientais gerados. Se houver uma redução do uso de energia, um aumento da eficiência dos processos e dos sistemas de purificação, uma elevação da reusabilidade e reciclabilidade dos metais, é possível melhorar a eco-eficiência deste ramo industrial	Metais	Acidificação, nitrificação e degradação da camada de ozônio

**Figura 12:** Principais aplicações da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (continuação)



**Figura 13:** Comparação entre as categorias de impacto ambiental utilizadas pelos trabalhos analisados e nos estudos de Yang e Shi (2000)

No estudo relatado por Burgess e Brennan (2001) são discutidas ainda outras dificuldades encontradas na literatura com relação ao emprego da metodologia LCA, principalmente quando ela é aplicada a processos. De acordo com tais autores, pode-se enumerar:

a) *Obtenção do inventário*: inventários resultantes de estudos similares podem variar significativamente. Brentrup *et al.* (2001) citaram a dificuldade encontrada em obter dados relativos a emissões de amônia, de nitratos e de óxido nitroso em plantações. Vigon e Jensen (1995) também afirmaram que valores de emissões gasosas são mais difíceis de serem obtidos e menos robustos. Além disso, há dificuldades em interpretá-los quanto a sua composição exata e variam muito com o tempo e com o tamanho do sistema analisado. As emissões relativas ao transporte e à distribuição de produtos também são de difícil estimativa;

b) *Regras de alocação*: o problema de alocação está relacionado à distribuição proporcional dos recursos consumidos, das emissões e dos resíduos gerados em sistemas com múltiplos produtos ou com formação de sub-produtos. Esta

distribuição é realizada com base em propriedades físicas do produto, no entanto, não há uma única solução para o problema de alocação;

c) *Limites do sistema*: como a filosofia do LCA é avaliar todo o ciclo de vida do produto, não é fácil estipular barreiras para a análise. No entanto, isto é necessário para que o problema possa ser administrado. Para resolver este problema, Vigon e Jensen (1995) citaram que é necessário realizar uma análise de sensibilidade para decidir se uma determinada etapa do sistema produtivo deve ser incluída ou não no estudo. Porém, esses mesmos autores admitiram que tal procedimento não é uma prática universal;

d) *Qualidade dos dados*: para que as conclusões do estudo estejam corretas, é necessário que a base de dados utilizada seja confiável. Em geral, os pesquisadores se preocupam mais com a obtenção dos dados do que com a sua qualidade. Todavia, uma variedade de procedimento de *cross-check* (cruzamento de dados) está sendo usada para aumentar o nível de confiança nos dados. Entre esses procedimentos está a comparação com dados publicados e valores teóricos (VIGON; JENSEN, 1995);

e) *Métodos de avaliação de impactos*: a ponderação entre as categorias de impacto é a etapa mais contestada e subjetiva de um estudo envolvendo a metodologia LCA, o que dificulta a normalização dos resultados. Hansen *et al.* (1994) *apud* Hansen (1998) sugeriram que os parâmetros de ponderação fossem estabelecidos de acordo com as diferentes regiões em que o estudo é realizado. Por exemplo, nas regiões Central e Sul da Europa, a nitrificação e o consumo de águas teriam maior importância do que se o estudo fosse realizado na região Norte desse continente.

Azapagic e Clift (1999) afirmaram que embora o LCA tenha se tornado muito importante para a tomada de decisões na gestão ambiental, ele se preocupa somente com as formas de modificar o sistema em análise, a fim de minimizar os impactos ambientais, sem considerar questões de ordem econômica. Segundo os autores supra, melhorias ambientais estão diretamente relacionadas com o desempenho econômico, ou seja, existem custos associados a isso. Logo, é importante estabelecer *trade-off* entre os custos e os objetivos

ambientais para otimizar o sistema, tanto do ponto de vista econômico, como do ponto de vista de desempenho ambiental. Para isso, eles propuseram um modelo de programação linear multiobjetiva com a finalidade de otimizar o sistema ambiental e economicamente.

Boustead (1995) *apud* Burgess e Brennan (2001) também salientou a necessidade de interpretar os resultados da análise LCA em conjunto com aspectos econômicos, sociais e políticos, a fim de se obter decisões mais balanceadas. Para o autor, a análise de custo-benefício é insatisfatória ao combinar restrições econômicas e ambientais, principalmente devido às dificuldades em se estabelecer valores monetários para os diferentes tipos de impacto ambiental. Golonka (1996) *apud* Burgess e Brennan (2001) conclui que, aparentemente, não há uma metodologia estabelecida na literatura que seja capaz de integrar aspectos ambientais e econômicos. Embora alguns trabalhos, como aquele de Azapagic e Clift (1999), tenham procurado alcançar tal objetivo (BOUSTEAD, 1995, *apud* BURGESS; BRENNAN, 2001).

## 2.4 AVALIAÇÃO DE CUSTOS AMBIENTAIS

Hoje, mais de 30.000 empresas no mundo estão utilizando sistemas voltados para a gestão ambiental, sendo que este número tende a aumentar rapidamente, devido à busca por um melhor desempenho nessa área (AMMENBERG; HJELM, 2002). Essa crescente preocupação com respeito ao meio ambiente motivou o desenvolvimento de técnicas para incorporar aspectos dessa origem no projeto e na operação de processos industriais (BAKSHI, 2000). No entanto, conforme Regatschnig e Schnitzer (1998), somente o desenvolvimento de tecnologias de controle de rejeitos e a integração de aspectos ambientais nos sistemas de gerenciamento não são suficientes para tornar a proteção ao meio ambiente uma prática efetiva nos processos produtivos. Faz-se, então, necessário integrar conhecimentos econômicos aos ecológicos. Para isto, torna-se importante que as empresas possam quantificar e interpretar os custos resultantes de emissões e de rejeitos gerados.

Neste aspecto, Meinders e Meuffels (2001) afirmam que a maioria das preocupações ambientais pode ser relacionada com aspectos econômicos, uma vez que a

redução no consumo de materiais e de energia está diretamente ligada com benefícios financeiros. Isto apóia as afirmações de Azapagic e Clift (1999), apresentadas anteriormente.

De acordo com Campos (1996), mensurar custos relacionados ao meio ambiente é uma tarefa difícil, pois eles são compostos por uma grande parcela de intangíveis, isto é, custos de difícil percepção e relacionados indiretamente com aspectos ambientais, como por exemplo a perda de mercado devido à imagem ambiental negativa da empresa. Outro aspecto salientado pelo autor é o fato de muitas empresas tratarem esses custos como externalidades, ou seja, custos que devem ser pagos pela sociedade. Benakouche e Cruz (1994, p. 138) apresentam um exemplo que torna claro esse conceito:

..., suponha-se, por exemplo, uma fábrica de cimento instalada perto de uma região tradicionalmente agrícola, que não dispõe de uma estação de tratamento do ar quente despejado no meio ambiente por seus pulverizadores. Esse fluxo de ar contém diminutas partículas de um pó muito fino, que ao ser liberado no meio ambiente é transportado pelo vento e pelas correntes de ar frio até as regiões circunvizinhas. Essas partículas de pó suspensas no ar – e que são nocivas – cobrem os campos de lavoura da região. Conseqüentemente, a agricultura é afetada negativamente em sua qualidade e quantidade de produção, gerando perdas para os agricultores. Se essas perdas não forem recompensadas, diz-se, então, estar criado um custo externo, ou seja, uma externalidade.

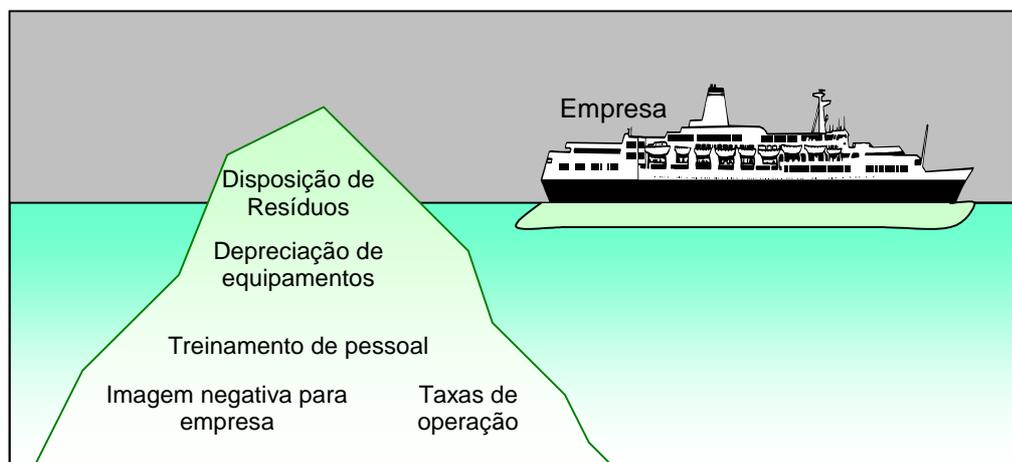
Campos (*op. cit.*) mencionou ainda outro aspecto que dificulta a mensuração de custos ambientais, o fato de que os sistemas de custeio existentes apresentam falhas ao identificar os próprios custos de seus produtos, bem como as perdas do processo produtivo.

Do mesmo modo, Regatschnig e Schnitzer (1998) afirmaram que nem sempre todos os custos ambientais são considerados pelas empresas. Enquanto alguns são facilmente identificados como relativos ao meio ambiente, há aqueles que não são evidentes e outros ainda que são desconsiderados na análise tradicional. Sob tal aspecto, esses autores separam os custos ambientais em três categorias:

- a) *Custos ambientais aparentes*: são os custos facilmente identificáveis, tais como disposição de resíduos, depreciação de equipamentos relacionados à manutenção da qualidade ambiental, etc.;
- b) *Custos ambientais não-aparentes*: correspondem aos custos com pessoal envolvido em atividades de proteção ao meio ambiente, impostos pagos para disposição de resíduos incluídos nos preços dos produtos, etc.;

c) *Custos ambientais não-declarados*: correspondente aos custos não identificados pelos sistemas de custeio tradicionais, como o custo da imagem ambiental negativa para a empresa, custo de permanência de operação da empresa, etc.

Na Figura 14, ilustra-se como os custos ambientais são vistos pelas empresas. Nota-se que uma grande parcela é formada por custos não-arentes e não-declarados. Esse é o principal motivo pela desconsideração desses custos nas análises econômico-estratégicas das organizações.



**Figura 14:** Custos ambientais segundo a visão atual das empresas (adaptado de REGATSCHNIG; SCHNITZER, 1998)

#### 2.4.1 Definições e Categorias de Custos Ambientais

O termo custo ambiental tem aparecido frequentemente na literatura especializada em meio ambiente. Porém, não há uma definição única para ele. Conforme salienta Jasch (2003), dependendo dos interesses envolvidos, pode-se incluir uma variedade de parcelas, tais como a disposição de resíduos, os investimentos na área ambiental e, algumas vezes, os gastos envolvidos na correção de problemas ambientais que ocorrem fora da empresa.

Para ilustrar tais considerações, a Figura 15 apresenta um quadro com algumas definições de custos ambientais, segundo a literatura específica relacionada. Como pode-se

observar nessa figura, as definições de custos ambientais apresentadas possuem graus de abrangência distintos. Cada autor associa a sua definição a outros conceitos, de acordo com a dimensão que deseja dar aos custos ambientais. Por exemplo, quando Eagan e Joeres (2002) referem-se aos impactos resultantes da manufatura de produtos, estão excluindo os custos relacionados com a prevenção de problemas ambientais. Por outro lado, Jasch (2003) inclui o termo “proteção” o que dá a conotação de considerar em sua análise os custos de prevenção. Regatsching e Schnitzer (1998) mencionam os termos “atividade ambiental” e “política ambiental”, os quais revelam que em sua definição de custos ambientais não são consideradas apenas questões operacionais, mas também administrativas.

Autor	Definição
Hansen e Mowen (2001)	São custos incorridos porque existe, ou porque pode existir, uma má qualidade ambiental.
Eagan e Joeres (2002)	São os custos pagos pela empresa devido aos impactos ambientais resultantes da manufatura de seus produtos.
Jasch (2003)	Compreende os custos internos e externos que surgem devido a danos ao meio ambiente ou a sua proteção
Regatschnig e Schnitzer (1998)	São custos que podem aparecer como o resultado das atividades ambientais da empresa, ou seja, atividades estabelecidas em lei ou voluntárias, que visam evitar, reduzir, tratar ou dispor os seus rejeitos e emissões, mas que podem ser resultantes da falta de políticas ambientais na organização.

**Figura 15:** Definição de custos ambientais de acordo com os principais autores analisados

Como consequência da falta de uma definição única e abrangente para custos ambientais, sua classificação em categorias também apresenta variações de acordo com cada autor. De uma maneira geral, as categorias de custos ambientais encontradas na literatura surgiram da analogia com os Custos da Qualidade. A Figura 16 apresenta um paralelo entre as categorias de custos da qualidade e de custos ambientais.

Genericamente, pode-se dizer que as categorias de custos ambientais são essas apresentadas nessa figura. No entanto, observa-se que, em função do modelo de avaliação de custos proposto por cada autor, os tipos de custos pertencentes a cada categoria e, até mesmo a sua denominação, podem sofrer algumas modificações. Logo, como essa classificação está

relacionada com o modelo analisado, a sua discussão será apresentada no próximo item que trata de modelos e de metodologias para a avaliação de custos ambientais.

<b>Categorias</b>	<b>Tipos de custos da qualidade</b>	<b>Tipos de custos ambientais</b>
Prevenção	Custos de treinamento de operadores, custos para reprojetar um produto	Custos de reprojeção de processos e produtos e custos com treinamento de empregados
Avaliação	Custos de testes e calibração de equipamentos	Custos de monitoramento de equipamentos e com pessoas para checar a qualidade ambiental
Falhas internas	Custo de retrabalho e segregação de produtos	Custo de disposição em aterros e de separação de rejeitos
Falhas externas	Custos de garantia e custos de responsabilidade	Custos de obrigação social e de limpeza e despoluição de rios e lagos

**Figura 16:** Paralelo entre as categorias de custos da qualidade e de custos ambientais (adaptado de CHADRASHEKAR; DOUGLESS; AVERY, 1999)

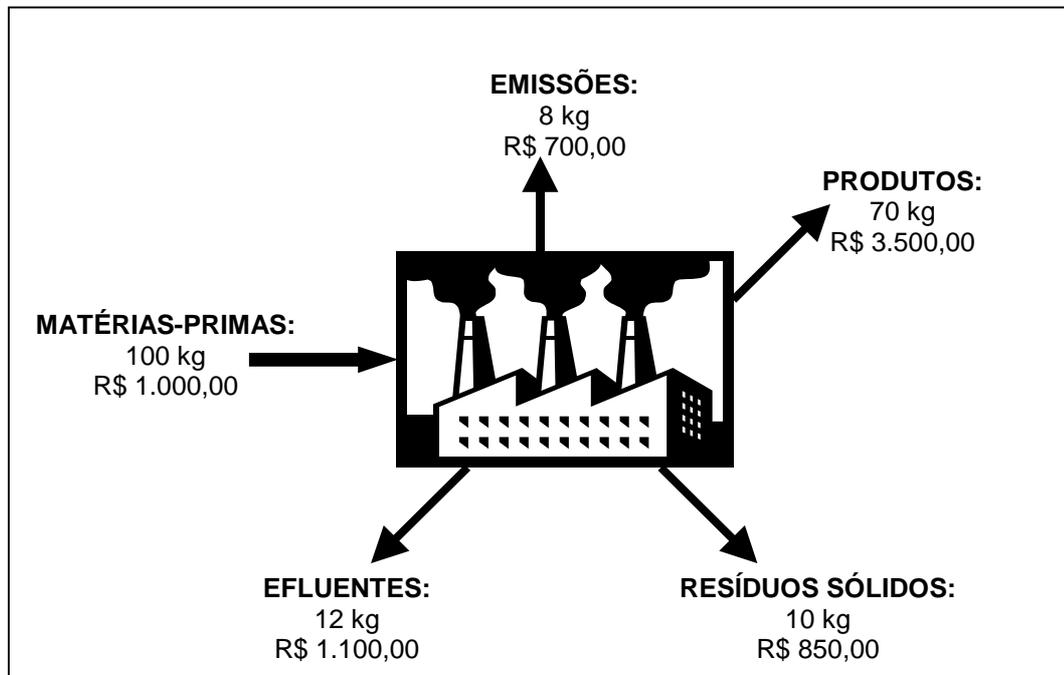
#### 2.4.2 Modelos e Metodologias para a Avaliação de Custos Ambientais

Conforme Regatschnig e Schnitzer (1998), tem-se tornado cada vez mais importante que as empresas quantifiquem e interpretem os custos que resultam da geração de emissões e de rejeitos, bem como o benefício resultante da adoção de medidas preventivas, como esquematicamente é apresentado na Figura 17. Para isso, as empresas necessitam de respostas claras e objetivas para as seguintes questões:

- a) quais as atividades da empresa que têm conseqüências sobre o meio ambiente?
- b) qual o custo dessas atividades?
- c) quais as vantagens que a empresa obtém com essas atividades?
- d) onde podem ser reduzidos os custos?

Regatschnig e Schnitzer (*op cit.*) afirmaram ainda que não há definições padronizadas, nem um sistema de custeio apropriado, quando se trata de custos ambientais.

Desta forma, as análises realizadas dependem do interesse de quem as está conduzindo. Por exemplo, podem ser focadas apenas nos custos de disposição de rejeitos ou nos custos de investimentos em projetos de recuperação ambiental. Assim, torna-se difícil realizar comparações entre os custos ambientais das empresas.



**Figura 17:** Relação entre impactos e custos ambientais na indústria (adaptado de REGATTSCHNIG; SCHNITZER, 1998)

Na seqüência serão discutidos os principais modelos e metodologias propostos na literatura para a avaliação dos custos ambientais.

#### 2.4.2.1 Modelo para Custos Ambientais (*Model for Environmental Costs – MEC*)

Trata-se de um dos primeiros modelos encontrados na literatura para avaliar os custos ambientais. Foi proposto por Diependaal e Walle (1994), adotando as seguintes categorias de custos:

- custos de prevenção* – nessa classe estão envolvidos todos os custos necessários para evitar a degradação ambiental. Como exemplo, pode-se citar os gastos com a implementação ou mudanças na política ambiental da organização, a pesquisa e o desenvolvimento de novas matérias-primas com

melhor desempenho ambiental e a implantação de procedimentos ambientais preventivos.

b) *custos de correções integradas ao processo* – aqui são considerados os custos envolvidos na modificação do processo produtivo, a fim de reduzir a geração de emissões e de rejeitos. Nesta categoria, estão incluídos os custos de instalação e de manutenção de sistemas para a integração de processos e para a reutilização de rejeitos dentro do processo produtivo.

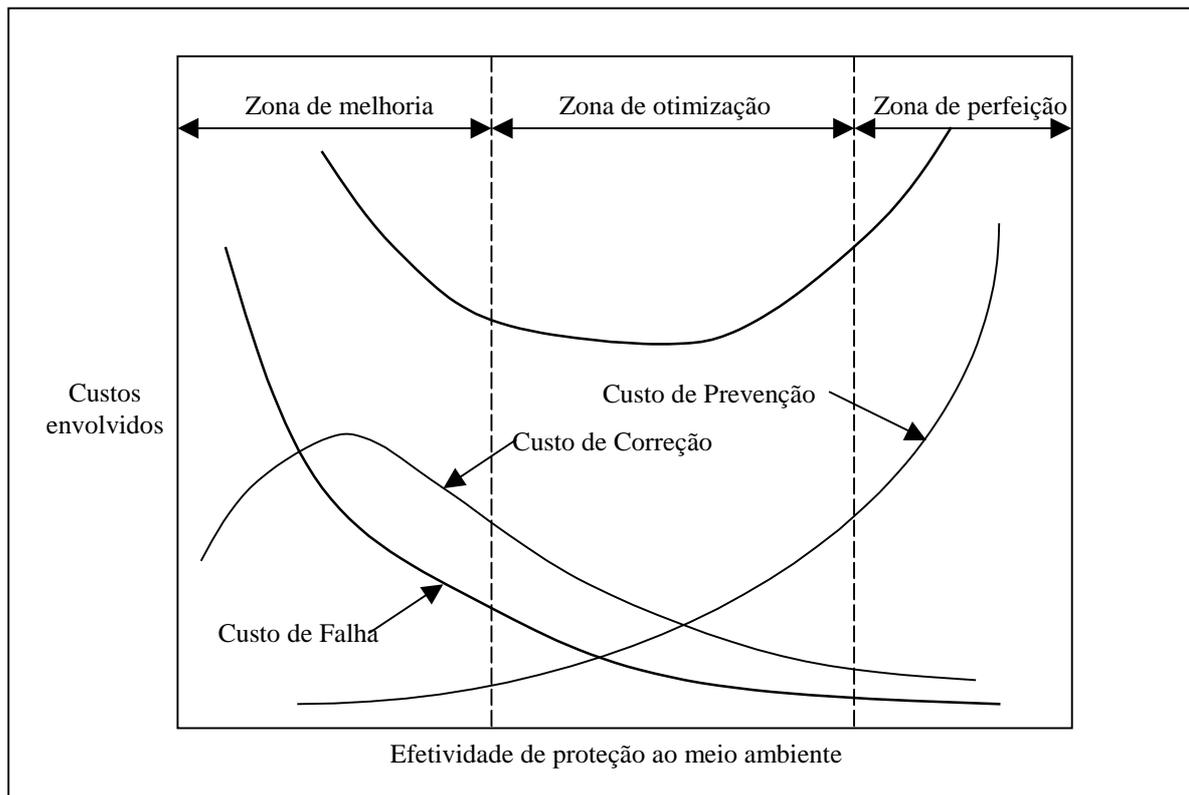
c) *custos de correções dos efeitos do processo* – são os custos devido ao tratamento de fim de tubo (*end of pipe*), incluindo os gastos com o monitoramento de emissões existentes. Os custos de instalação de uma estação de tratamento de efluentes, de controle e operação dos equipamentos desta estação e de equipamentos de medição e controle de emissões são incluídos nessa classe.

d) *custos devido a falhas internas* – são aqueles associados à limpeza ou à disposição final de poluentes na área interna da empresa. Como exemplo, pode-se citar os custos com a recuperação de solos contaminados dentro da área da empresa e os custos de transporte e disposição de resíduos.

e) *custos devido a falhas externas* – inclui os custos relativos à limpeza e à disposição final de poluentes fora dos limites da empresa. Nesta categoria, estão incluídos os gastos com a recuperação de solos contaminados fora da área da empresa devido à disposição imprópria de rejeitos e o pagamento de taxas relativas à produção de emissões ou de efluentes fora das especificações previstas na licença de operação da empresa.

Segundo os autores desse modelo, os custos associados a cada uma das categorias anteriores são um indicativo da preocupação da empresa em relação à questão ambiental, conforme pode ser observado na Figura 18. Em geral, custos de falha elevados refletem a deficiência ambiental da empresa. Por outro lado, os altos custos de prevenção e de correção integrados ao processo indicam a forte preocupação com o meio ambiente. Portanto, esse modelo permite gerenciar essas parcelas de custos e fornece, a quem toma decisões, uma

ferramenta capaz de definir o quanto deve ser investido em cada uma das categorias supra citadas. Tal modelo foi empregado em uma indústria moveleira, concluindo-se que 35,2% dos custos ambientais totais eram empregados para correção de efeitos produzidos pelo processo ao meio ambiente, enquanto os custos de prevenção correspondiam a apenas 20,5% do montante total (DIEPENDAAL; WALLE, 1994).



**Figura 18:** Relação entre custos de prevenção, de correção e de falhas e a efetividade de proteção ambiental (adaptado de DIEPENDAAL; WALLE, 1994)

#### 2.4.2.2 Modelo dos Custos da Qualidade Ambiental – CQA

Campos (1996) desenvolveu esta abordagem para identificar os custos ambientais, através da qual eles são classificados nas seguintes categorias:

- a) *custos de adequação* – referem-se àqueles necessários para adequar a empresa às tecnologias limpas, às alterações nos processos produtivos, às leis impostas por órgãos competentes e às normas ambientais, como a ISO 14.000. Esta categoria se subdivide em custos de prevenção, de correção e de controle. Na primeira classe, são incluídos os custos de contratação de mão-de-obra especializada na área ambiental, contratação de consultorias e auditorias

ambientais, substituição de matérias-primas, insumos e componentes poluentes, investimentos em pesquisa e desenvolvimento visando produtos e processos menos poluidores, entre outros. Já entre os custos de correção pode-se citar a limpeza de rios, mares e lagos, limpezas de terrenos, tratamento de gases tóxicos e gastos com materiais para a recuperação de danos ambientais. Por fim, os custos de estações de tratamento de efluentes, instalação de filtros, testes e inspeções para verificação dos parâmetros poluentes nos produtos acabados e verificação de métodos e processos fazem parte dos custos de controle.

b) *custos das falhas de adequação* – nesta categoria estão incluídos os custos empresariais gerados nas falhas do processo de adequação. A ocorrência de tais custos reflete ineficiências dos processos produtivos, bem como desperdícios e retrabalhos. Pode-se citar pagamento de multas, indenizações por prejuízos causados a terceiros, fechamento da empresa, perda de crédito e de permissão de atuação, além da devolução de produtos, como exemplos de custos de falhas de adequação.

c) *custos tratados como externalidades* – corresponde aos custos que não se enquadram corretamente nas anteriores por serem bastante polêmicos, tais como o uso indevido de recursos (água, solo e ar), poluição atmosférica e danos causados à saúde de moradores próximos de indústrias poluidoras.

O modelo desenvolvido por Campos (1996) foi aplicado a uma empresa do setor têxtil, especificamente no setor de tratamento dos efluentes da etapa de estamparia do produtos. O autor analisou cada atividade desenvolvida no processo de estamparia, identificou as possibilidades de falhas, verificando como isso afetaria o processo de tratamento de efluentes e assim listando os possíveis custos envolvidos de acordo com as categorias adotadas.

Como conclusão, Campos (*op cit.*) afirma que a falta de uma estrutura baseada em processos dificulta a análise e a quantificação dos custos das categorias adotadas. Por conseqüência, ele propôs que o estudo seria mais efetivo se houvesse um detalhamento das

atividades desenvolvidas na empresa, seguido da escolha das atividades mais importantes para serem trabalhadas, com diminuição de seus custos, inclusive os da qualidade ambiental.

#### 2.4.2.3 Metodologia desenvolvida por Regatschnig e Schnitzer

Regatschnig e Schnitzer (1998) desenvolveram uma metodologia baseada em atividades para tratar custos ambientais, capaz de apurá-los, alocá-los e avaliá-los. A sistemática de análise é composta pelas seguintes etapas:

- a) definir o que será considerado como custo ambiental na análise;
- b) organizar uma equipe multidisciplinar para realizar o estudo. É fundamental que chefes de setores relacionados com áreas de produção e de contabilidade façam parte desse grupo;
- c) classificar os custos nas seguintes categorias: tratamento e disposição de rejeitos, mão-de-obra, serviços externos, licenças ambientais, depreciação de equipamentos, manutenção de equipamentos, financiamento de investimentos ambientais e cálculos de riscos;
- d) identificar as atividades, os custos e os lucros ambientais associados às áreas de rejeitos, de energia, de ar ou ruído e de água. O objetivo desta etapa é medir o desempenho ambiental nessas áreas e identificar quais têm maior potencial de melhorias. Dessa forma, o grupo poderá promover estudos mais direcionados. A priorização é estabelecida de acordo com o total investido em cada categoria de custo.
- e) compilar os custos e os lucros ambientais por atividades e por áreas de análise, a fim de identificar oportunidades de melhorias que serão priorizadas em uma análise mais detalhada.
- f) integrar os custos e lucros ambientais no sistema contábil da organização. Somente aqueles que se mostraram relevantes na análise anterior deverão fazer parte do sistema de alocação regular dos custos da empresa.

Regatschnig e Schnitzer (1998) concluíram que a condição fundamental para o sucesso da implementação de programas de diminuição da geração de rejeitos é tanto o conhecimento preciso dos custos associados a esses resíduos como a alocação correta desses custos a atividades específicas.

#### 2.4.2.4 Metodologia para a Contabilidade de Gerenciamento Ambiental (*Environmental Management Accounting* – EMA)

Essa metodologia foi desenvolvida por Jasch (2003), visando combinar informações de contabilidade financeira, de custos e de balanço de massa para aumentar a eficiência material através da redução de impactos e riscos ambientais e da diminuição adequada dos custos da proteção ambiental. A metodologia desenvolvida exclui os custos externos à empresa, focando-se na compreensão dos custos envolvidos no tratamento de rejeitos, proteção e gestão ambiental, assim como na análise de perdas de materiais e de energias, devido a ineficiências nos processos produtivos.

Conforme o autor, os custos ambientais incluem outras parcelas além dos gastos com meios de prevenir e tratar rejeitos e emissões. Neste sentido, afirma que o termo **rejeito** [grifo pessoal] tem um outro significado além do tradicional; para ele os rejeitos são todos os materiais que a empresa compra e não transforma em um produto comercializável. Assim, a geração de rejeitos é um indicativo da ineficiência no processo produtivo. A partir dessas considerações, as categorias de custos ambientais adotadas na metodologia são:

- a) *custos de disposição de rejeitos e tratamento de emissões* – inclui os custos de depreciação de equipamentos e de mão-de-obra relacionados com o tratamento de rejeitos, impostos pagos para dispor resíduos, dívidas pela segurança ambiental, custos para as ações de correção de falhas.
- b) *custos de prevenção e gestão ambiental* – envolve os gastos com consultorias e mão-de-obra para apoiar as atividades do sistema de gestão ambiental, custos de pesquisa e desenvolvimento, aquisição de tecnologias limpas, incluindo ainda os demais custos de gerenciamento ambiental.
- c) *custos de perdas de materiais* – compreende os custos de matérias-primas, de materiais auxiliares, de energia e de água que estão associados com a

geração de rejeitos. As relações entre esses e os custos dos rejeitos são obtidas a partir de balanços de massa.

d) *custos de produção de não-produtos* – envolve os custos de processamento de materiais relacionados com a geração de rejeitos, tais como mão-de-obra e depreciação de equipamentos. Segundo Jasch (2003), esta parcela dos custos ambientais pode ser mensurada a partir do emprego do Custeio Baseado em Atividades (*Activity Based Costing* – ABC) ou da Contabilidade do Fluxo de Custos (*Flow Cost Accounting* – FCA).

Salienta-se ainda que na metodologia proposta o autor avalia as receitas provenientes da venda de rejeitos.

Por fim, de maneira análoga ao que é proposto no modelo de Regatschnig e Schnitzer (1998), os valores das categorias de custos ambientais são relacionados com ações sobre o meio ambiente.

A aplicação dessa metodologia em uma indústria de papel e celulose localizada na Suécia revelou que 44% de todos os custos ambientais estão relacionados com consumo de água e a geração de efluentes. Além disso, 13% dos custos anuais de operação estão relacionados ao tratamento de rejeitos, e os gastos de materiais que são perdidos junto com os efluentes chegam a 32% de seus custos. A partir disto, conclui-se que pesquisas para reaproveitamento de materiais é muito importante para a redução dos custos ambientais. Ainda, o estudo concluiu que 80,4% dos custos ambientais estão relacionados com a perda de materiais, correspondente à perda de matérias-primas, materiais auxiliares e de operação.

#### 2.4.2.5 Modelo de Análise dos Custos Ambientais do Ciclo de Vida (*Life Cycle*

##### *Environmental Cost Analysis* – LCECA)

O modelo LCECA foi desenvolvido por Durairaj *et al.* (2002), tendo como objetivo a inclusão dos custos ambientais nos custos dos produtos. Neste modelo, adotam-se as seguintes categorias de custos ambientais: custos de controle, tratamento e disposição de

efluentes, custos de implementação de sistema de gestão ambiental, taxas ambientais e custos de energia.

Conforme os autores, inicialmente deve-se selecionar o produto que será analisado, desmembrá-lo e, após, preparar uma lista dos custos para as suas parte. O objetivo do LCECA é definir relações entre o custo total do produto e as categorias citadas acima ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

Pela própria proposição dos autores, depreende-se que esse modelo é mais adequado para avaliar os custos ambientais de produtos, não de processos industriais.

#### 2.4.2.6 Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais – MECAIA

Kraemer (2002) desenvolveu este modelo para tratar os custos ambientais dentro de uma abordagem mais abrangente: a inserção da questão ambiental dentro das decisões estratégicas da empresa. Para isso, o autor empregou o método ABC (*Activity Based Costing*) em conjunto com o BSC (*Balanced Scorecard*). O modelo proposto está estruturado nas seguintes etapas:

- a) diagnóstico estratégico preliminar – tem como objetivo fazer um reconhecimento geral da empresa e verificar se algumas premissas básicas para a implantação do modelo são satisfeitas.
- b) mapeamento dos processos e atividades empresariais – visando identificar e formalizar a cadeia produtiva da organização analisada, através do detalhamento da organização em nível de processos e atividades.
- c) identificação dos aspectos e impactos ambientais associados a cada atividade mapeada anteriormente.
- d) determinação dos custos dos processos e atividades, dando-se ênfase aos relacionados com o meio ambiente. Ao final dessa etapa, faz-se a classificação dos processos e atividades em categorias quanto a sua tangibilidade (atividades tangíveis ou intangíveis); ao retorno ambiental proporcionado a empresa (direto ou indireto); e a sua função principal (ações de controle, prevenção ou

recuperação). Com essa classificação, a empresa poderá se localizar frente à estratégia organizacional e à sustentabilidade almejada.

e) estruturação das perspectivas ambientais para a elaboração do BSC Ambiental – visando elaborar um mapa estratégico voltado à minimização dos danos ambientais ocorridos em função das atividades empresariais.

f) análise estratégica ambiental de custo-benefício e propostas de ações de melhoria – têm como objetivo a determinação das relações de custo-benefício quando da minimização dos impactos ambientais que influenciam nos objetivos estratégicos da organização.

A aplicação do modelo de Kraemer foi feita em uma empresa de beneficiamento de couro, a qual é responsável pela geração de um elevado volume de efluentes e resíduos sólidos (aparas, raspas, serragem e pó de couro). Entre as conclusões obtidas, o autor observou a necessidade de um conhecimento profundo das atividades desempenhadas na organização para que as ações ambientais fossem efetivas. Assim, os recursos financeiros consumidos por atividades de recuperação ambiental poderiam ser deslocados para atividades de correção e prevenção.

### **2.4.3 Comparação entre os modelos apresentados**

Como pôde-se observar, cada modelo apresenta vantagens e desvantagens. Para melhor entendê-los, foram estipulados alguns critérios de comparação como pode ser verificado no quadro da Figura 19. Adota-se a notação (√) para indicar que o modelo contempla o critério analisado.

A análise dessa figura revela que os modelos propostos por Regatschnig e Schnitzer (1998), Kraemer (2002) e Jasch (2003) são os que satisfazem a maioria dos critérios para a obtenção de um modelo de avaliação de custos ambientais completo e abrangente.

Já a visão mais detalhada dos resultados mostra que o modelo de Kraemer não associa os custos ambientais com as categorias de impacto ambiental, o que é realizado nos outros dois modelos citados. De sua parte, o modelo de Jasch não analisa como as ações de

melhoria podem reduzir os custos ambientais, enquanto que os de Kraemer e Regatschnig e Schnitzer consideram esse aspecto. Por fim, observa-se que o modelo de Jasch se destaca pela inclusão das perdas e ineficiências do processo produtivo entre os custos ambientais; e que o modelo proposto por Kraemer é o único que identifica e quantifica as etapas do processo que contribuem preponderantemente para os custos ambientais. Desta forma, pode-se concluir que esses modelos se complementam e que uma abordagem capaz de congrega seus pontos positivos, suprimindo eventuais deficiências particulares, tornaria a análise de custos ambientais mais efetiva e completa.

Critérios de comparação	Modelos					
	Diependaal e Walle (1994)	Campos (1996)	Regatschnig e Schnitzer (1998)	Jasch (2003)	Durairaj <i>et al.</i> (2002)	Kraemer (2002)
Baseia-se nas categorias de custos da qualidade	√	√				√
Quantifica os custos ambientais	√		√	√	√	√
Compara os custos de prevenção e de correção, permitindo o seu gerenciamento	√					√
Avalia os custos ambientais sob a ótica de atividades e processos		√	√	√		√
Considera as perdas e as ineficiências do processo produtivo na avaliação de custos ambientais				√		
Insera os custos ambientais nos sistemas de avaliação da empresa			√	√		√
Considera aspectos e impactos ambientais na análise				√		√
Associa os custos ambientais com categorias de impacto ambiental			√	√		
Identifica e quantifica as etapas do processo que contribuem preponderantemente para os custos ambientais						√
Possibilita o desdobramento da análise em partes do processo		√	√			
Avalia os lucros ambientais			√	√		√
Propõe ações de melhorias e avalia suas relações com a redução dos custos ambientais		√	√			√
Compara os custos ambientais e os custos do produto					√	
Método de custeio empregado na avaliação				ABC/ FCA		ABC

**Figura 19:** Quadro comparativo entre os modelos de avaliação de custos ambientais analisados

Por fim, tanto o modelo de Kraemer, como o modelo de Jasch, utilizam-se do ABC para avaliar os custos ambientais, denotando que esse método de custeio responde adequadamente às necessidades para realizar tal mensuração. Tal conclusão também foi

obtida por Silva (2003) ao empregá-lo na avaliação dos custos das atividades ambientais de um curtume. Ainda, Verschoor e Reijnders (2001) em um estudo com empresas multinacionais européias também observaram que tal método de custeio já foi aplicado na avaliação de custos ambientais. Isto vem ratificar as conclusões anteriores sobre o emprego do ABC para essa finalidade.

#### **2.4.4 O Método do Custeio Baseado em Atividades (*Activity Based Costing* – ABC)**

No final da década de 70 e início dos anos 80, os gerentes de empresas que desejavam automatizar seus processos enfrentaram sérias dificuldades para justificar os investimentos necessários, com base na análise de custos utilizada na época. Isso ocorria porque a análise tradicional não considerava fatores intangíveis, tais como o aumento da qualidade, devido à padronização, e o aumento de flexibilidade produtiva (BORNIA, 2002). Entre os anos de 1984 e 1994, ocorreu uma revolução nas teorias e nas práticas de gestão contábil. A origem dessas mudanças foi a identificação de falhas e obsolescência dos sistemas de custeio e de medida de desempenho até então empregados (KAPLAN, 1994).

Conforme Kaplan (1994), os sistemas de custeio tradicionais alocavam as despesas gerais aos produtos, empregando direcionadores baseados no volume de produção. Embora já fosse reconhecida essa deficiência, não havia uma metodologia capaz de superar tais limitações.

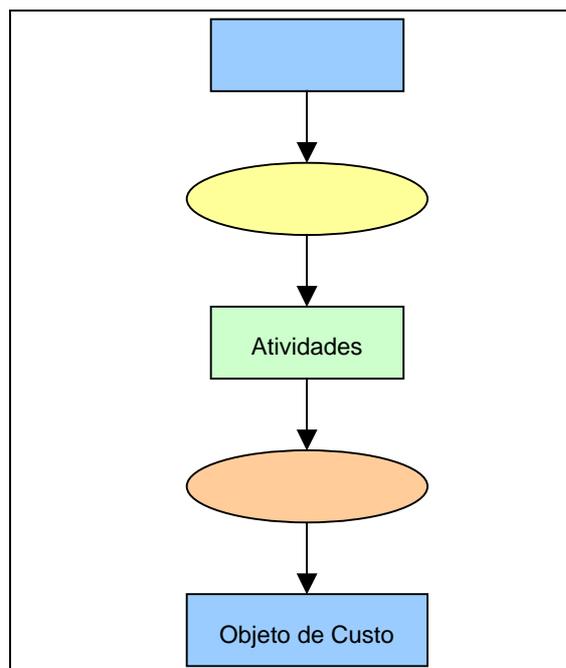
Após essas observações, Cooper e Kaplan passaram a estudar os sistemas que foram desenvolvidos e implementados em algumas empresas como *John Deere*, *Hewlett-Packard*, *Tektronix*, *Siemens*, *Ericsson* e *Kanthal*. Em alguns deles, notaram que havia um novo método de custeio que analisava não somente as despesas de produção, como também avaliava os custos com *marketing*, vendas e distribuição de produtos. O tratamento comum em todos os casos era o foco nas atividades da organização como o elemento chave para estudar o comportamento dos seus custos. Dessa forma, a questão básica dos sistemas de custeio deixou de ser “como alocar os custos” para assumir a forma “como identificar os custos da organização que suprem de recursos as atividades por ela executadas”. Assim, os custos das atividades poderiam ser investigados e, com o auxílio de direcionadores, repassados aos produtos. Esse método ficou conhecido como Custeio Baseado em Atividade – *Activity Based Costing* ou, simplesmente, ABC (KAPLAN, 1994).

#### 2.4.4.1 Definições no Método ABC

Bornia (2002) afirma que a idéia básica do ABC é tomar os custos das várias atividades da empresa e entender seu comportamento, encontrando bases que representem as relações entre os produtos e essas atividades. Do ponto de vista de método, o ABC assemelha-se ao clássico método do Centro de Custos amplamente difundido, porém as bases em que se apóia são diferentes. Enquanto o Centro de Custos analisa a organização por setores, o ABC dá um enfoque maior aos processos realizados na empresa.

Ainda segundo o autor supra citado, a metodologia de custeio ABC visa solucionar o problema crônico dos sistemas de custeio tradicionais que distribuem custos indiretos aos produtos através de bases de rateio arbitrárias como mão-de-obra direta (MOD), horas-máquina ou custo da MOD. A tendência dos sistemas produtivos atuais é aumentar sua complexidade, com conseqüente aumento dos custos indiretos de fabricação, os quais não são bem representados por esses direcionadores.

Em síntese, Bornia (2002) afirma que o Custeio Baseado em Atividades pressupõe que as atividades consomem recursos, gerando custos, e que os produtos utilizando tais atividades, acabam absorvendo os seus custos, conforme esquematicamente apresentado na Figura 20.



**Figura 20:** Representação da estrutura completa do ABC (baseado em NAKAGAWA, 1994)

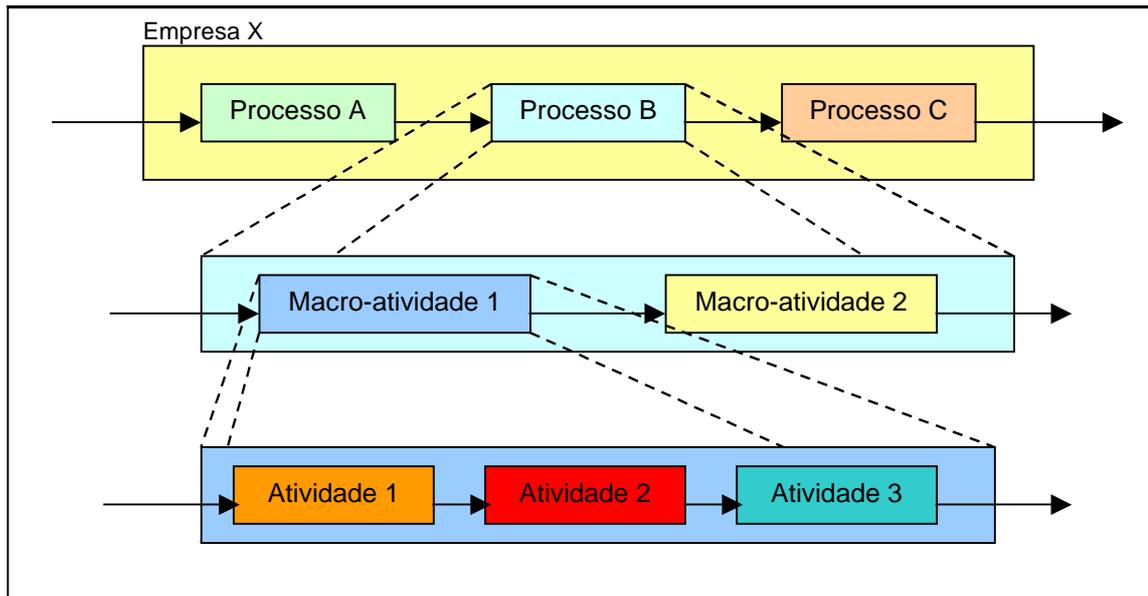
O conceito-chave da metodologia de custeio ABC é a atividade. Por isso, é necessário entendê-lo corretamente. Conforme Nakagawa (1994), atividade é definida como uma combinação adequada de pessoas, tecnologias, materiais, métodos e seu ambiente, tendo como objetivo a produção de produtos. É necessário esclarecer que o termo atividade não se refere apenas aos processos de manufatura. Sob esse conceito também estão inúmeras ações de suporte aos processos produtivos. Conforme Kaplan (1994), uma atividade pode ser de nível unitário (por exemplo, pintura de uma peça em uma linha de montagem), de nível de lote (por exemplo, preparação de uma máquina) ou ainda de sustento para a produção (manutenção, por exemplo).

De acordo com Bornia (2002), os sistemas de custeio tradicionais falham ao distribuir entre os produtos os custos das atividades de nível de lote e de sustento da produção, porque elas não apresentam uma relação direta com o volume de produção, que é o meio de distribuição de custos utilizado por eles.

#### 2.4.4.2 Estrutura da Método ABC

Hansen e Mowen (2001) estruturam o ABC em seis etapas essenciais: identificação, definição e classificação das atividades; atribuição dos custos dos recursos para as atividades; atribuição dos custos de atividades secundárias para atividades primárias; identificação de objetos de custo e especificação do montante de cada atividade consumida por objeto de custo específico; cálculo de taxas de atividades primárias; e atribuição dos custos de atividades aos objetos de custo.

A primeira etapa do ABC envolve a identificação das atividades executadas na organização. Conforme Bornia (2002), é um ponto importante para a boa implementação da metodologia. A empresa deve ser representada em atividades que, juntas, formam os processos da organização. Quanto mais detalhadas elas forem, mais facilmente serão detectadas as possíveis melhorias. O grau de detalhamento das atividades de uma organização é representado esquematicamente na Figura 21.



**Figura 21:** Grau de detalhamento dos processos para a aplicação do ABC  
(adaptado de BORNIA, 2002)

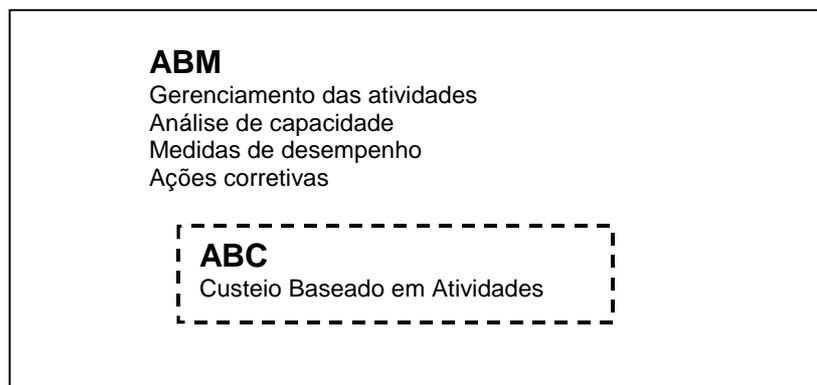
A identificação das atividades visa estabelecer um inventário com todas as ações desenvolvidas na empresa. Também se deve classificá-las de acordo com o tipo de recurso consumido, o percentual de tempo gasto pelos empregados para executá-las, o objeto de custo que a consome e uma medida desse consumo (direcionador de atividade). Algumas atividades estão diretamente ligadas com o objeto final de custo (produto ou serviço) e são denominadas de atividades primárias; outras são consumidas por objetos de custo intermediários (atividades primárias) e, por isso, são conhecidas como atividades secundárias (HANSEN; MOWEN, 2001). Bornia (2002) salienta que o ABC procura alocar os custos das atividades aos produtos sem a redistribuição secundária, ou seja, a alocação dos custos de atividades secundárias às atividades primárias, como ocorre no método do Centro de Custos. Mesmo assim, em alguns casos há atividades indiretas que melhor se relacionam com outras atividades do que com os produtos, sendo inevitável tal procedimento.

Uma vez identificada, deve-se determinar quanto custa a execução de cada atividade. Isto é possível com o auxílio de direcionadores de recursos, os quais podem ser obtidos a partir de entrevistas, formulários de pesquisa, questionários e sistemas de controle de tempo. Após essa etapa, determinam-se os objetos de custos (produtos, materiais, clientes) e estabelecem-se direcionadores de atividades os quais indicam o consumo de atividades pelos objetos de custos (HANSEN; MOWEN, 2001).

Na penúltima etapa da metodologia, determinam-se as taxas das atividades primárias, ou seja, o custo das atividades dividido pela sua capacidade instalada. Entende-se como capacidade instalada de uma atividade o resultado que pode ser alcançado se ela for desempenhada eficientemente. Por fim, com o auxílio dos direcionadores de atividades, calcula-se o custo dos objetos de custo (HANSEN; MOWEN, 2001).

#### 2.4.4.3 Gerenciamento de Custos e o ABC

Bornia (2002) salienta que um outro aspecto importante no método ABC é a possibilidade de medir o desempenho das atividades, permitindo conhecer quais as que estão impactando significativamente nos gastos da empresa. Esse gerenciamento de processo baseado em atividades é conhecido como *Activity-Based Management* – ABM. Assim, o ABM é o sistema de gestão que sustenta o ABC, como fica evidenciado na Figura 22.

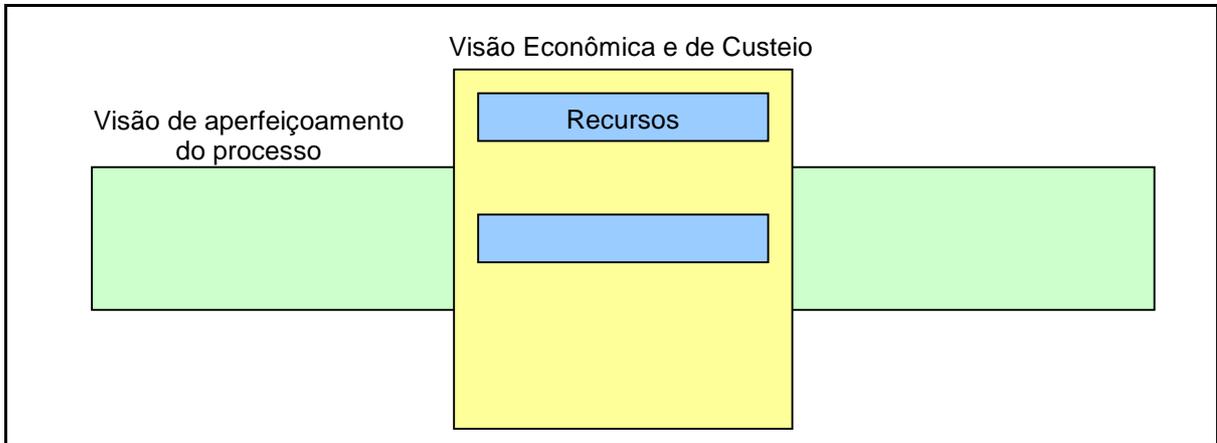


**Figura 22:** Relacionamento entre o ABC e o ABM (Fonte: BORNIA, 2002)

O ABM permite realizar uma análise estratégica de custos relacionados com as atividades que mais consomem recursos em uma empresa. A quantidade, a relação de causa-efeito e a eficiência e eficácia com que os recursos são consumidos por essas atividades constituem o objetivo da análise (NAKAGAWA, 1994).

Bornia (2002) afirma ainda que o ABM permite identificar e controlar as perdas dos processos de forma mais efetiva, pois a mensuração é realizada para cada atividade. Da mesma forma, o processo de melhoria pode ser efetuado diretamente sobre as atividades.

Desta forma, Nakagawa (1994) apresenta uma nova versão do ABC ao introduzir a visão de aperfeiçoamento do processo na estrutura básica do método, conforme pode ser verificado na Figura 23.



**Figura 23:** Estrutura completa do ABC/ABM (Fonte: NAKAGAWA, 1994)

#### 2.4.5 Contra-ponto à Necessidade de Custos Ambientais

O monitoramento é uma atividade crítica para o gerenciamento ambiental. Deve ser realizado física e economicamente. O monitoramento físico consiste em balanços de massa e de energia das correntes de entrada e de saída do processo. O monitoramento de ordem econômica está focado na integração de todos os custos ambientais aos custos do produto (VERSCHOOR e REIJNDERS, 2001). Porém, essas informações são suficientes para criar uma posição pró-ativa por parte dos empresários?

Para responder a essa questão Eagan e Joeres (2002) realizaram entrevistas com diretores e gerentes de empresas, dos quais cinco estavam diretamente ligados aos processos produtivos. Conforme esses autores, muitos profissionais vêem os custos ambientais como a principal ligação entre impactos e processos de manufatura. Essa hipótese é sustentada na crença de que melhores informações sobre custos ambientais implicam um melhor desempenho para a empresa. As constatações do estudo indicam que somente as informações de custos não induzem significantes mudanças ambientais em manufaturas. Essa conclusão parece ser contraditória com as atitudes gerenciais, nas quais informações de custos são fundamentais no processo de tomada de decisão. No entanto, os autores observaram que a complexidade da estrutura organizacional é um empecílio à implantação de mudanças. Além

disso, o fato de ser difícil reconhecer as implicações ambientais de atividades da empresa dificulta o desdobramento de ações preventivas.

Eagan e Joeres (2002) salientam ainda que as conclusões obtidas a partir do seu estudo não podem ser generalizadas. Eles citam que as informações de custos ambientais resultam em uma atitude mais ativa em empresas cujos produtos tenham impactos ambientais mais significativos, ou nas quais esses custos representem uma grande parcela do custo do produto final.

## 2.5 MÉTODOS ADAPTÁVEIS À AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), assim como muitas outras, faz análises ambientais de processos em condições de operação normal, ou seja, nas condições comumente encontradas durante a operação do processo produtivo. Moura (2000) salienta que uma avaliação ambiental completa necessita que sejam consideradas as situações possíveis de ocorrerem e que em determinada ocasião da análise não estejam acontecendo, ou ainda, situações de riscos que na eventualidade de acidentes poderiam gerar graves danos ao meio ambiente.

Neste sentido, a Avaliação de Riscos (*Risk Assessment*), em especial a Matriz de Risco, e a Análise de Modos e Efeitos de Falha (*Failure Mode and Effects Analysis – FMEA*) são métodos amplamente empregados para avaliar possíveis anormalidades em processos produtivos, a fim de propor ações preventivas. Assim, esses métodos têm sido adaptados para avaliações ambientais, a fim de suprir essas lacunas.

Neste item são apresentados os fundamentos desses métodos e como eles podem ser ou já foram utilizados em estudos sobre avaliações de impactos ambientais.

### 2.5.1 Avaliação de Riscos

#### 2.5.1.1 Aspectos conceituais

Para a correta compreensão do método de Avaliação de Riscos é necessário que sejam conhecidos os conceitos de perigo e de riscos. Conforme Moura (2000), perigo é

uma circunstância que prenuncia um mal para alguém ou para alguma coisa. Assim, é uma característica inerente a uma substância, instalação, atividade ou procedimento, que representa uma possibilidade de causar danos às pessoas ou às instalações. Como exemplo, pode-se citar a produção, o manuseio ou o uso de substâncias tóxicas, patogênicas, inflamáveis, reativas, radioativas, corrosivas, explosivas, muito quentes ou muito frias, a pressões elevadas, entre outros. Isso também se estende à operação de instalações industriais que usem produtos com tais características.

Já o termo risco reflete a incerteza associada a um perigo, um evento imaginário ou possível de ocorrer no futuro, capaz de causar uma redução na segurança do sistema. Assim, o risco é uma função da probabilidade ou da frequência de ocorrência de um acidente. Por exemplo, o risco de morte de uma pessoa na eventualidade de uma explosão acidental em uma indústria química depende da magnitude da explosão, da probabilidade de ocorrência e das conseqüências disso para o organismo humano (MOURA, 2000).

Com base nessas definições, pode-se conceituar a Avaliação de Riscos como um método organizado para identificar ações preventivas e respostas às emergências (MOURA, 2000). Segundo Slater e Jones (1999), o uso dessa análise em segurança de processos foi estabelecido e sedimentado nas últimas décadas e tem demonstrado benefícios em muitas aplicações. Tais benefícios também podem ser obtidos com o uso desse método na área ambiental.

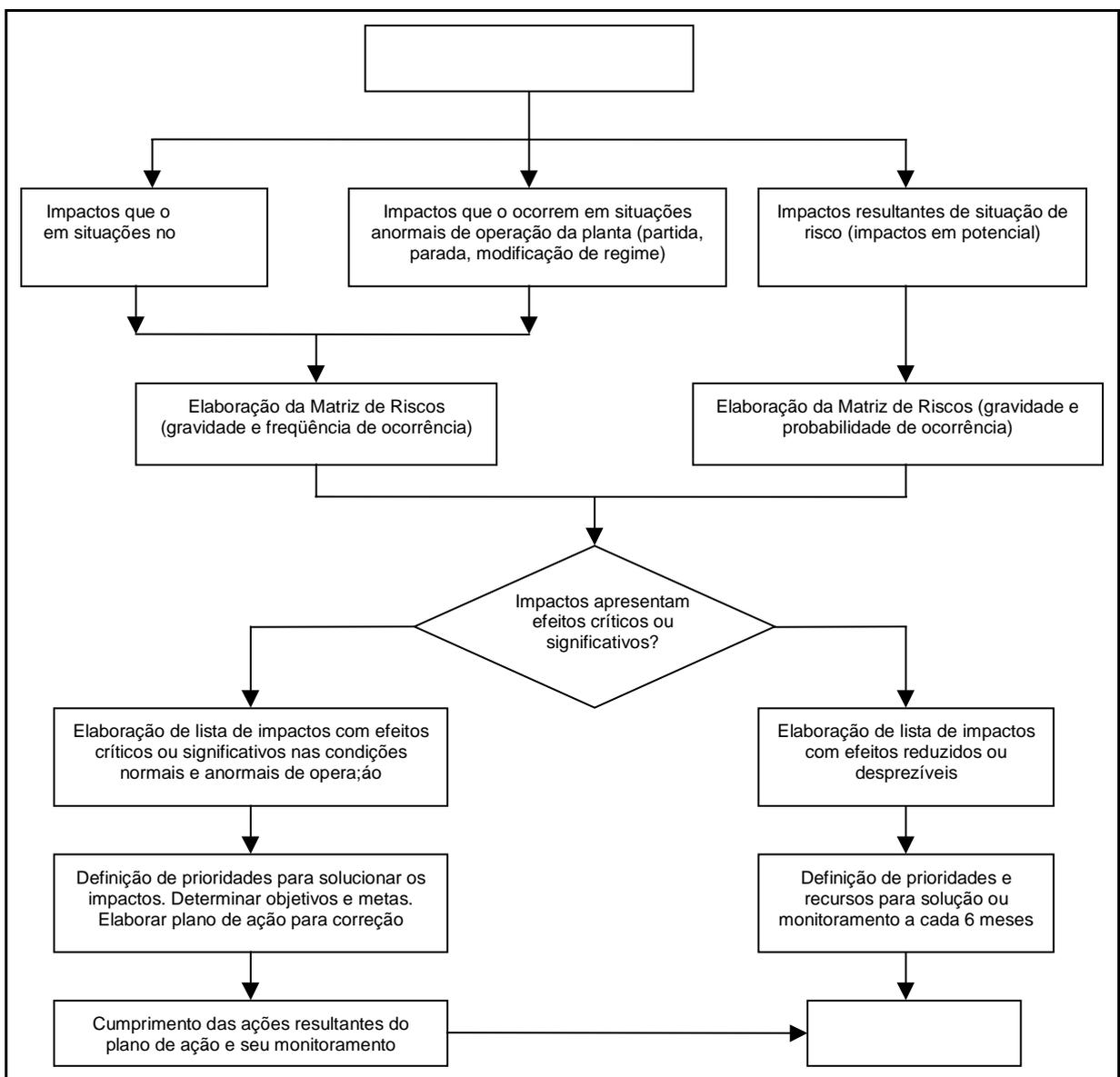
Assim, é comum o termo Avaliação de Riscos Ambientais que, conforme Jackson e Eduljee (1996) *apud* Burgess e Brennan (2001), envolve a estimação e a avaliação dos riscos ao meio ambiente causados por uma atividade em particular ou a sua exposição.

De acordo com Burgess e Brennan (2001), um grande número de anormalidades nas práticas de processamento pode ocorrer, devido a falhas nos equipamentos, na instrumentação e nos sistemas de controle, ou ainda, por erros humanos. A avaliação de riscos e a avaliação ambiental têm sua interface quando um erro em um procedimento compromete o meio ambiente, além da segurança do sistema. Por exemplo, o vazamento de materiais inflamáveis e tóxicos representam riscos à integridade física de uma planta industrial, às pessoas e ao meio ambiente, simultaneamente.

Neste sentido, vários acidentes citados no capítulo 1 desse trabalho como prejudiciais ao meio ambiente, também são comumente utilizados em textos de análise de riscos.

### 2.5.1.2 Método de Avaliação de Riscos Ambientais

Moura (2000) propõe uma série de etapas que devem ser seguidas para a Avaliação de Riscos Ambientais, conforme pode ser observado na Figura 24.



**Figura 24:** Estrutura do Método de Avaliação de Riscos Ambientais (Fonte: MOURA, 2000)

Segundo essa proposta, todos os aspectos e impactos ambientais existentes em um processo produtivo são listados, inclusive aqueles que ocorrem em situações de riscos. Os impactos são então avaliados com o auxílio de uma Matriz de Riscos, a qual relaciona a gravidade do impacto (G) e a sua frequência de ocorrência (FO). A frequência de ocorrência é utilizada para os impactos produzidos em condições normais e anormais. Em condições de risco, esse indicador normalmente é denominado de probabilidade de ocorrência.

Esses índices são avaliados utilizando-se escalas desenvolvidas por cada pesquisador. Moura (2000) propõe o uso das escalas apresentadas nas Figuras 25 e 26.

<b>Descrição</b>	<b>Categoria</b>	<b>Definição</b>
Catastrófico	I	Morte, perda do sistema ou danos ambientais severos.
Crítica	II	Ferimentos graves, doenças ocupacionais grave, danos grandes ao sistema ou ao meio ambiente. Consumo significativo de recursos naturais, elevada geração de poluentes.
Marginal	III	Ferimentos leves, doenças do trabalho não importantes, danos pequenos aos sistemas ou ao meio ambiente. Consumo moderado de recursos naturais, moderada geração de poluentes e rejeitos.
Desprezível	IV	Pequenos ferimentos, doenças do trabalho não importantes e não há danos aos sistemas ou ao meio ambiente. Consumo desprezível de recursos naturais, não há significativa geração de poluentes.

**Figura 25:** Escala para avaliar a gravidade do impacto ambiental (Fonte: MOURA, 2000)

<b>Descrição</b>	<b>Categoria</b>	<b>Definição</b>
Frequente	A	Ocorre permanentemente uma vez iniciada a operação
Provável	B	Ocorre várias vezes após o início da operação
Ocasional	C	Ocorre algumas vezes após o início da operação
Remota	D	Não há expectativa de ocorrência na operação
Improvável	E	Pode-se assumir que não irá ocorrer na operação

**Figura 26:** Escala para avaliar a frequência ou probabilidade de ocorrência do impacto ambiental (Fonte: MOURA, 2000)

A partir daí, o passo seguinte é consultar a Matriz de Riscos, conforme ilustrada na Figura 27, para verificar o efeito do impacto.

Frequência de ocorrência (FO)	(A)	5	10	15	20
	(B)	4	8	12	16
	(C)	3	6	9	12
	(D)	2	4	6	8
	(E)	1	2	3	4
		(IV)	(III)	(II)	(I)
		Gravidade (G)			

**Figura 27:** Matriz de Riscos e a classificação dos Impactos ambientais (Fonte: MOURA, 2000)

Segundo Moura (*op. cit.*), a partir do produto entre os índices de gravidade (G) e de frequência ocorrência (FO) do impacto ambiental, pode-se determinar seu efeito, de acordo com a seguinte escala de pontuação:

- a) maior ou igual a 9, assume-se que o efeito é crítico – área vermelha;
- b) superior ou igual a 6 e inferior a 9, admite-se que o efeito é significativo – área amarela;
- c) superior ou igual a 4 e inferior a 6, assume-se que o efeito é reduzido – área azul;
- d) menor do que 4, admite-se que o efeito é desprezível – área verde.

Para os impactos cujos efeitos sejam críticos ou significativos, Moura (2000) propõe que seja elaborado um plano de ação a fim de reduzir o efeito do impacto ou prevenir sua existência.

#### 2.5.1.3 Limitações da Avaliação de Riscos Ambientais:

Slater e Jones (1999) relataram algumas dificuldades ainda existentes no método de Avaliação de Riscos Ambientais, que devem ser contornadas a partir de mais

estudos empregando e adaptando esse método. Basicamente eles observaram que há a necessidade de se considerar aspectos econômicos em conjunto com a avaliação de riscos ambientais. Além disso, é necessário explorar um pouco mais a ligação existente entre os métodos de avaliação ambiental e aqueles utilizados classicamente para a avaliação de riscos.

Outra dificuldade diz respeito à aplicação desse método em conjunto com o LCA. Embora Burgess e Brennan (2001) afirmem que a Avaliação de Riscos Ambientais possa ser utilizada em conjunto com a Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos, através do seu emprego nas atividades que compõem esse ciclo, a SETAC (2002) salienta que sua utilização em todo o ciclo de vida de um produto tornaria a análise muito complexa, ficando praticamente impossível gerenciá-la.

De forma similar à Avaliação de Riscos, a Análise de Modos e Efeitos de Falha pode ser utilizada a fim de investigar os impactos ambientais de processos produtivos sob condições de operação emergenciais. Tal método passa a ser discutido a seguir. Observa-se que existe uma certa similaridade entre esses dois métodos, o que facilita sua aplicação conjuntamente.

### **2.5.2 Análise de Modos de Falha e Efeitos**

A Análise de Modos e Efeitos de Falha (*Failure Mode and Effects Analysis – FMEA*) é um método 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, mediante um raciocínio basicamente dedutivo. É um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa (HELMAN; ANDERY, 1995). Scipioni *et al.* (2002) complementam afirmando que se trata de um método que necessita da participação de um grupo de pessoas de diversas áreas da empresa para conduzi-lo.

Historicamente, o FMEA foi desenvolvido e implementado pela primeira vez em 1949 pelo exército norte-americano. A partir dos anos 70, devido a sua validade e força enquanto método de análise, passou a ser utilizado pela indústria aeroespacial e automotiva. Logo, seu campo de aplicação se estendeu para os demais segmentos industriais (SVRP, 1997 *apud* SCIPIONI *et al.*, 2002).

De acordo com Teng e Ho (1996), o FMEA tornou-se um método amplamente empregado pois permite identificar potenciais problemas em produtos ou em processos antes que eles ocorram, evitando-se assim, ações corretivas que promoveriam o aumento nos seus custos.

### 2.5.2.1 Estrutura do Método FMEA

A fim de compreender a estrutura do método FMEA, faz-se necessário definir alguns termos utilizados na análise: modo, efeito e causa da falha. O primeiro termo é definido por Helman e Andery (1995) como o conjunto de eventos que promovem uma diminuição parcial ou total da função do produto ou do processo e de suas metas de desempenho. Para identificar os modos de falha, esses autores recomendam que a seguinte questão seja respondida: “*De que maneira este processo pode fracassar na sua função estabelecida?*”. Eles salientam que os esforços devem se concentrar na forma como o processo pode falhar e não na investigação se o problema realmente ocorrerá ou não.

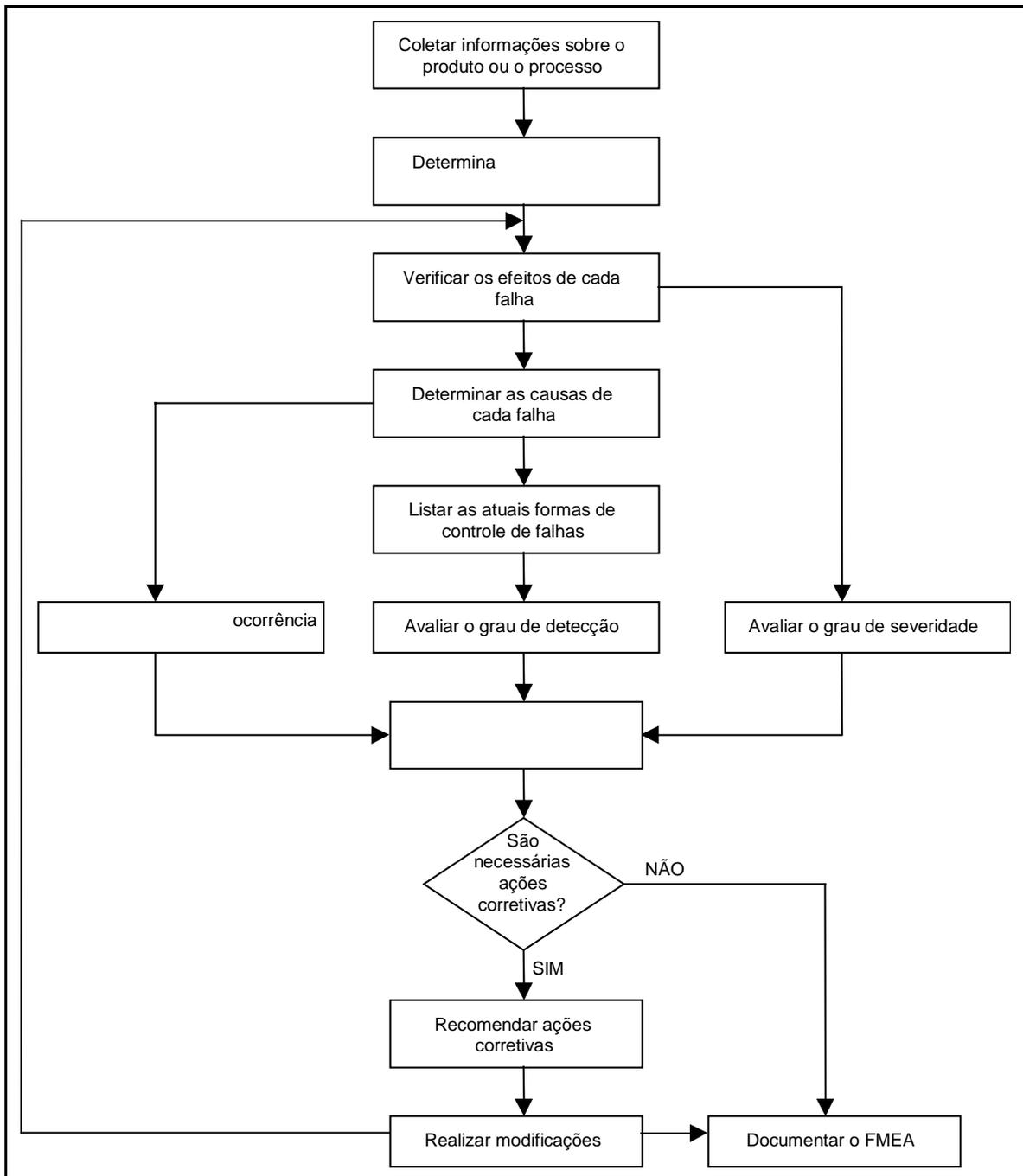
Já o termo efeito da falha compreende as formas como os modos de falha afetam o desempenho do sistema. A sua identificação é estabelecida a partir das respostas dadas a seguinte questão: “*O que acontecerá ao sistema se ocorrer o tipo de falha descrito?*”. Salienta-se que um modo de falha pode ter mais de um efeito, devendo-se considerar todos eles na análise (HELMAN; ANDERY, 1995).

Por fim, Helman e Andery (1995) conceituam o termo causa da falha como sendo o conjunto de eventos que geram, provocam ou induzem o aparecimento do modo de falha. Para identificá-los, os autores recomendam que seja respondida a seguinte questão: “*Quais variáveis do processo podem provocar este modo de falha?*”.

De acordo com Helman e Andery (*op. cit.*) o FMEA permite um raciocínio de “baixo para cima”, ou seja, identificam-se os modos de falha dos componentes mais simples do sistema (produto ou processo), as suas causas e a maneira como eles afetam os seus níveis superiores.

Teng e Ho (1996) dividem esse método em duas fases. Na primeira, são listados os potenciais modos de falha e seus efeitos; já na segunda, os resultados são

analisados de forma crítica, a fim de priorizar os modos de falha. A Figura 28 apresenta a estrutura do método FMEA.



**Figura 28:** Estrutura do Método FMEA (adaptado de TENG; HO, 1996)

Segundo Scipioni *et al.* (2002), o método FMEA consiste em uma seqüência de passos que se inicia com a análise do processo ou do produto. Após, são listadas as possibilidades de falhas, avaliadas as suas freqüências, gravidades e formas de detecção. A

partir desses dados é possível realizar uma avaliação global do problema e definir ações preventivas que podem ser utilizadas para eliminar ou reduzir as possibilidades de falha estudadas. Salienta-se que é necessário a participação de um grupo de apoio em cada uma dessas fases, principalmente para a determinação dos valores dos indicadores de frequência, de gravidade e de detecção.

Entende-se por gravidade a magnitude do efeito da falha sobre a segurança e a funcionalidade do sistema. Já a frequência de ocorrência é um indicativo de quão provável é a ocorrência do modo de falha. Por sua vez, a probabilidade de detecção é a medida relacionada com a possibilidade de detecção da falha antes que ela ocorra (SCIPIONI *et al.*, 2002). Esses autores afirmam ainda que não há uma escala padrão para avaliar tais variáveis, no entanto, é comum a atribuição de notas entre 1 e 10 para cada variável estudada.

Conforme Scipioni *et al.* (2002), a partir do produto dos valores atribuídos para o índice de gravidade (IG), de probabilidade de ocorrência (IPO) e de probabilidade de detecção (IPD), encontra-se o índice de risco – IR (*Risk Priority Numbers* – RPN) o qual é utilizado para priorizar os modos de falha. De acordo com o valor do RPN, os riscos podem ser classificados nas seguintes categorias:

- a) baixo risco – não é necessário tomar ação preventiva;
- b) risco moderado – algumas ações preventivas devem ser realizadas;
- c) risco elevado – ações preventivas são necessárias;
- d) risco crítico – devem ser realizadas ações preventivas imediatamente e profundas mudanças no produto ou no processo são necessárias.

Helman e Andery (1995) afirmam que o índice de risco é uma maneira mais precisa de hierarquizar as falhas. Uma falha pode ocorrer frequentemente, mas ter pequena importância e ser facilmente detectável, assim, apresentará baixo risco. Nesse mesma linha de raciocínio, uma falha que tenha baixíssima probabilidade de ocorrer, mas que seja extremamente grave, merecerá uma grande atenção e os equipamentos de segurança e sistemas de detecção deverão ser redimensionados.

A aplicação do método FMEA é realizada com o preenchimento de um formulário para organizar os resultados da análise, facilitando posteriores revisões. A Figura 29 ilustra um exemplo de um formulário de FMEA simplificado.

<b>FMEA</b>			[ ] Produto		Data de elaboração:	Cliente:				
					Data de próxima revisão:		Produto:			
			[ ] Processo		Coordenador:	Processo:				
					Unidade/Setor:					
Item	Nome do processo	Função do processo	FALHAS POSSÍVEIS			Controles atuais	ÍNDICES			
			Modo	Efeito	Causas		IG	IPO	ID	RPN

**Figura 29:** Exemplo de um formulário de FMEA simplificado (adaptado de HELMAN; ANDERY, 1995)

#### 2.5.2.2 Dificuldades no Método FMEA

Para Teng e Ho (1996) os pontos críticos na aplicação do método FMEA são a determinação dos potenciais modos de falha; a obtenção de dados que permitam avaliar os índices de probabilidade de ocorrência, de detecção e de gravidade; e o desenvolvimento de ações preventivas.

Outro aspecto salientado é que em muitas aplicações do método FMEA, as empresas não vão além da documentação do estudo, ou seja, não implementam as ações de melhoria identificadas no estudo. Considerando que esse método visa melhorar o desempenho do processo através da identificação e implementação de ações de melhoria, se tais ações não forem realizadas, a empresa estará gastando seus esforços em vão. Essa análise deve ir além da simples documentação de processos ou produtos (TENG; HO, 1996).

Portanto, segundo Teng e Ho (1996), o maior problema do FMEA é a implantação das ações de melhoria. Em geral, realiza-se uma pesquisa profunda, identificam-se os pontos críticos de falha no processo ou no produto, mas não há investimentos nas ações propostas para prevenir tais falhas.

### 2.5.2.3 Aplicação do Método FMEA na Avaliação Ambiental

De forma similar ao cálculo do índice de risco (RPN), o Método FMEA pode ser aplicado a fim de determinar um índice de risco ambiental. Assim, a análise deve procurar identificar quais os potenciais modos de falha que tenham efeito sobre o meio ambiente, independente disso afetar a qualidade do produto ou não (VANDENBRANDE, 1998).

De acordo com Vandenbrande (1998), a ISO 14004 indica que os impactos ambientais, causados por um produto, um processo ou uma atividade, podem se positivos ou negativos. Para avaliar os impactos negativos, é necessário medir os riscos associados com as atividades desenvolvidas no processo. Assim, o FMEA surge como um método que permite operacionalizar essa avaliação.

A partir de tal constatação, esse autor adaptou o FMEA para analisar os impactos ambientais negativos de um processo, desenvolvendo o PNEIA (*Potential Negative Environmental Impact Analysis*). Segundo Vandenbrande (1998), o PNEIA é um método simples para quantificar os riscos potenciais e verificar quais os impactos ambientais mais críticos em um processo.

Outro autor, Moura (2000), também cita o FMEA como um método passível de adaptações para ser utilizado em avaliações ambientais. Ele cita que as normas de Gestão Ambiental exigem que sejam redigidos e implantados procedimentos para identificar não-conformidades nos processos, verificar as responsabilidades e definir as medidas corretivas necessárias. Para cada não-conformidade é necessário investigar as causas que a geraram, de modo a atuar no sentido de evitá-las no futuro. Desta forma, o FMEA surge como um método que permite implementar tal análise.

Assim, verifica-se que o FMEA é um método potencialmente útil para a Gestão Ambiental. O emprego de tal método em estudos de avaliação ambiental pode auxiliar na sua melhor compreensão e na determinação de possíveis restrições. Além disso, a combinação do FMEA com outras metodologias de avaliação ambiental pode produzir modelos de avaliação ambiental mais consistentes.

## 2.6 CONCLUSÕES

A degradação dos recursos naturais e a poluição dos ecossistemas vêm motivando a preocupação da sociedade com a qualidade ambiental. Como resultado observa-se a mudança de comportamento das pessoas quanto aos assuntos relacionados ao meio ambiente. No âmbito governamental, isso se traduz por novas exigências ditadas pela rigorosa legislação ambiental. Dessa forma, as empresas industriais, principais responsáveis por esses problemas, vêm sofrendo uma forte pressão para adequar seus processos produtivos a essas novas necessidades. Como resposta, muitas organizações têm adotado Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), os quais visam tratar as questões ambientais dentro da empresa, analisando os sistemas produtivos, identificando fontes de impacto ambiental e propondo ações de melhoria.

A Avaliação do Ciclo de Vida surgiu para dar apoio aos SGA, realizando uma análise sistemática e abrangente dos problemas ambientais. No entanto, ficou evidente ao longo da revisão bibliográfica que essa metodologia ainda apresenta algumas lacunas. Entre elas, pode-se citar a falta de um consenso quanto às categorias de impacto ambiental a serem adotadas nos estudos e, ainda, a falta de uma análise econômica mais detalhada.

Para suprir essa última necessidade, alguns modelos e metodologias para a avaliação de custos ambientais foram propostos, sendo que a maioria se baseia nos princípios de custos da qualidade. Porém, verificou-se que cada autor define as categorias de custos de acordo com seu interesse e necessidade, não havendo um consenso comum entre eles. Por outro lado, poucas metodologias apresentam de forma clara como esse levantamento econômico é realizado. Entre as que realizam tais procedimentos, o ABC é o método de custeio mais indicado, por dois motivos: primeiro porque foi desenvolvido para analisar custos indiretos, os quais representam uma parcela relevante quando se trata de custos ambientais; segundo, porque tem uma estrutura diferente dos demais métodos de custeio, fazendo uso do mapeamento de processo. Deste ponto de vista, o ABC está de acordo com a metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*).

Também, ao longo da revisão bibliográfica mostrou-se que as metodologias de análise ambiental apresentam uma grande deficiência, ao tratar separadamente a avaliação de impactos e de custos ambientais. Os poucos estudos que tentaram integrar esses dois assuntos, fizeram-no com o auxílio de fatores de ponderação, os quais apresentam forte caráter

subjetivo. A partir dessa constatação, verifica-se a necessidade de desenvolver uma abordagem que seja capaz de analisar, simultaneamente e de forma objetiva, esses dois aspectos.

Por outro lado, na revisão bibliográfica ficou claro que uma avaliação ambiental completa e profunda necessita que sejam considerados os impactos ambientais gerados nos processos em condições de operação anormais (partida e parada de equipamentos, mudanças de regimes) e condições emergenciais. Neste sentido, a Avaliação de Riscos Ambientais e a Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) mostram-se potencialmente úteis para tal análise e devem ser consideradas na elaboração de uma metodologia de avaliação ambiental consistente.

Em resposta a estas necessidades, o próximo capítulo apresenta uma abordagem sistemática que foi desenvolvida para suprir tais lacunas existentes na literatura.

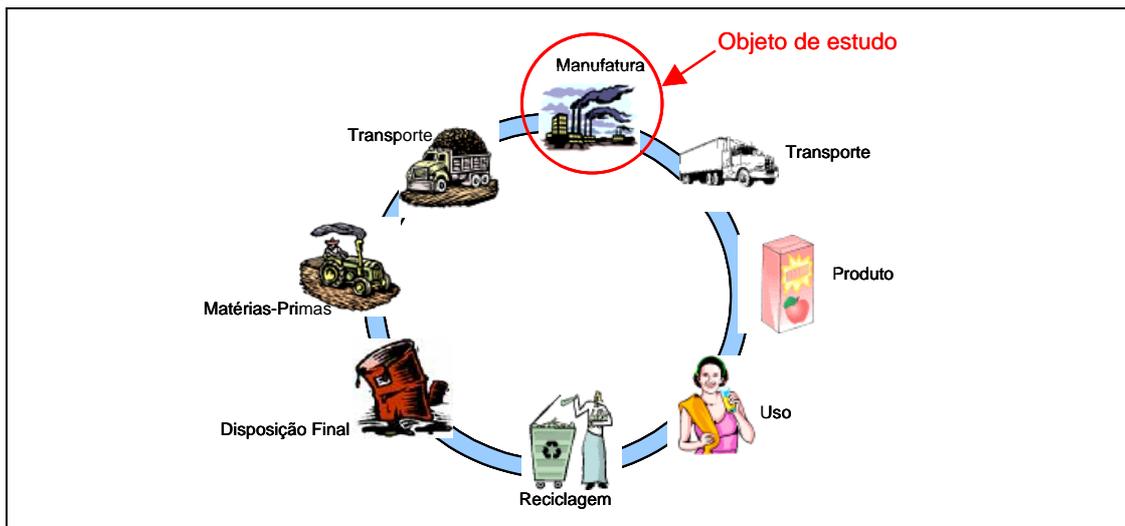
### **3 METODOLOGIA PROPOSTA**

A partir desse ponto, faz-se necessário definir o termo metodologia para o pleno entendimento do restante do trabalho. Desta forma, ele é usado como sinônimo de abordagem sistemática, pois, conforme o dicionário eletrônico Houaiss da Língua Portuguesa, esse vocábulo é entendido como o corpo de regras para direcionar uma pesquisa.

A metodologia proposta neste capítulo foi desenvolvida a partir dos tópicos apresentados na revisão bibliográfica. Sua finalidade primordial é contornar a falta de uma avaliação simultânea de impactos e custos ambientais, conforme identificado no capítulo anterior. Para isso, utilizando como base a estrutura da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment* – LCA), foi proposta uma nova abordagem que agrega etapas para realizar a avaliação econômica. Ainda, alguns passos originais do LCA foram substituídos, bem como outros foram complementados.

No que se refere à avaliação econômica, ela foi desenvolvida a partir de modelos abrangentes e sedimentados, como os propostos por Kraemer (2002) e Jasch (2003). Já para a substituição de etapas do LCA, foram utilizadas algumas ferramentas de uso freqüente na Engenharia da Qualidade, e devidamente adaptadas para a análise ambiental. Também foram empregados alguns princípios da Avaliação de Riscos Ambientais.

A fim de diminuir a complexidade envolvida na análise completa do ciclo de vida de um produto e por restrições de tempo hábil para a realização do mestrado, a abordagem desenvolvida tem sua atenção centrada na etapa de processamento e fabricação do produto. Para melhor compreender o foco da metodologia proposta, a Figura 30 apresenta o objeto de estudo considerado, dentro do contexto do ciclo de vida do produto.



**Figura 30:** A metodologia desenvolvida, no contexto do ciclo de vida de produtos

### 3.1 ESTRUTURA DA ABORDAGEM PROPOSTA

A abordagem proposta é constituída de três grandes fases, a saber:

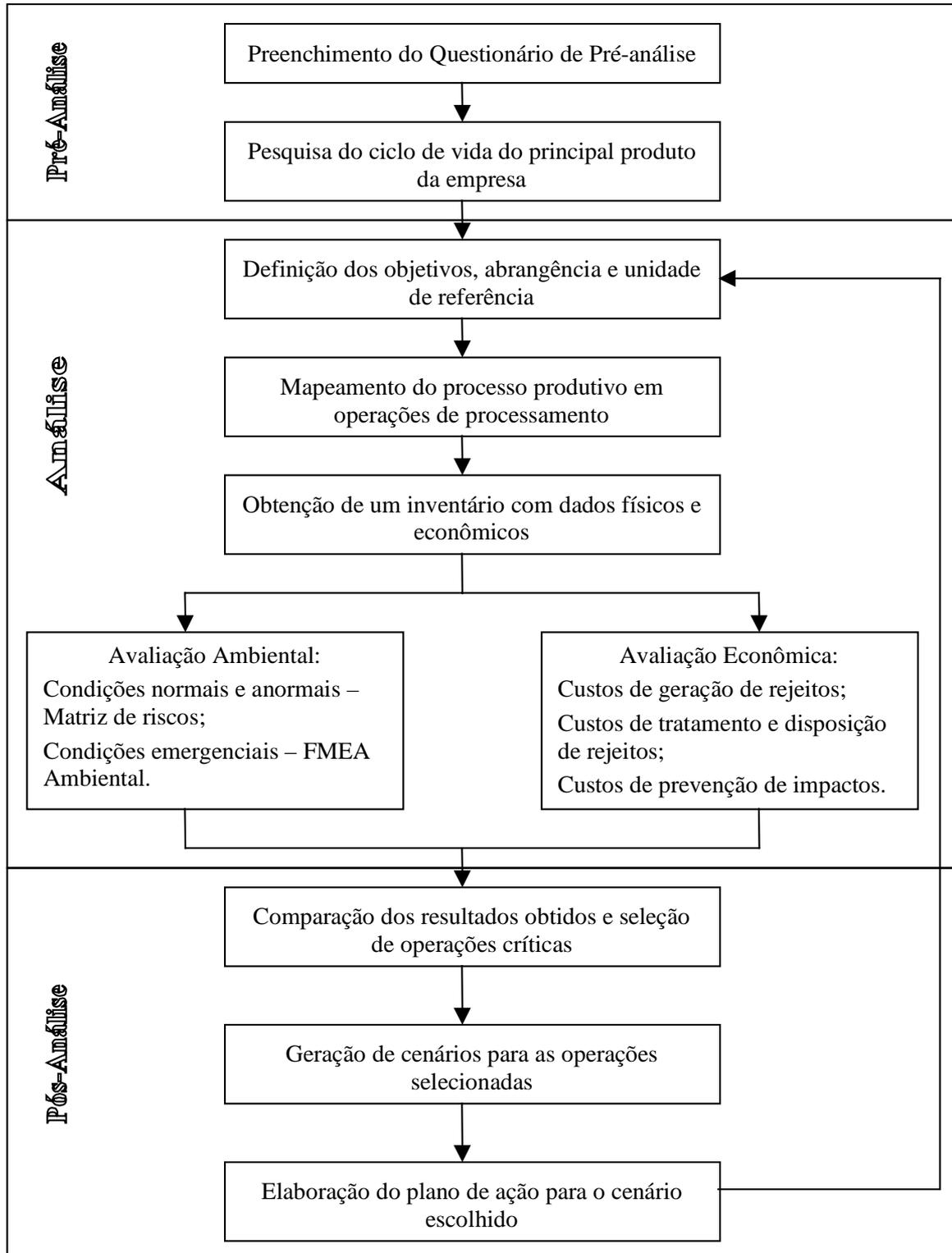
- a) 1ª Fase – Pré-Análise: visa inicialmente formar um grupo de apoio na empresa, conhecê-la e preencher o Questionário de Pré-Análise (QPA) para poder traçar um panorama econômico-ambiental da organização e, em seguida, estabelecer o ciclo de vida de seu principal produto;
- b) 2ª Fase – Análise: é composta por uma série de passos que direcionam a avaliação do processo produtivo, tornando possível a identificação dos aspectos e dos impactos ambientais relevantes, a mensuração dos custos relacionados com a qualidade ambiental e, conseqüentemente, a priorização das operações do processo;
- c) 3ª Fase – Pós-Análise: seu objetivo é gerar cenários de operação do processo que visem minimizar os impactos ambientais identificados e estabelecer um plano de ação para que sejam implementadas possibilidades de melhoria.

Para a melhor compreensão da estrutura da metodologia, a Figura 31 apresenta um quadro contendo o encadeamento das fases da análise, suas etapas, finalidades e os

princípios e métodos de base em que se apóia. Além disso, o fluxograma da Figura 32 ilustra a conexão entre as fases e as etapas da abordagem proposta, para permitir uma visão global da metodologia. Observe que ao final do estudo pode ocorrer o desdobramento da análise, através da definição de novos objetivos e abrangências dentro do contexto do trabalho. Isso é representado pela seta que une a etapa final da Pós-Análise e a etapa inicial da fase de Análise.

			Bases teóricas										
			LCA	MECAIA	EMA	ABC	FMEA	MATRIZ DE RISCOS	ANÁLISE DE PARETO	FERRAMENTA 5W 2H			
		<b>Etapas</b>	<b>Finalidades</b>										
<b>Fases da metodologia proposta</b>	PRÉ-ANÁLISE	Formação de equipe de apoio	Auxiliar na realização do trabalho						X	X			
		Preenchimento do QPA	Traçar perfil econômico-ambiental da empresa			X							
		Pesquisa do ciclo de vida	Identificar e caracterizar o ciclo de vida do produto		X								
	ANÁLISE	Definições	Especificar objetivos, abrangência e unidade de referência		X								
		Mapeamento do processo	Desmembrar o processo produtivo em operações de processamento		X	X		X					
		Obtenção de inventário	Obtenção de dados do processo produtivo analisado		X			X					
		Avaliação ambiental	Analisar as operações de processamento e compará-las		X				X	X			
		Avaliação econômica	Analisar as operações de processamento e compará-las			X	X	X					
	PÓS-ANÁLISE	Interpretação dos resultados	Comparar as informações obtidas e priorizar as operações de processamento		X					X	X		
		Geração de cenários	Prever o comportamento do processo em outras condições de operação e propor cenários de melhoria		X				X				
		Plano de ação	Propor ações para alcançar o cenário de melhoria gerado anteriormente										X

**Figura 31:** Caracterização geral da abordagem e suas bases teóricas



**Figura 32:** Interrelacionamento entre fases e etapas da abordagem proposta

### **3.1.1 1ª Fase – Pré-Análise**

Os objetivos da primeira fase da metodologia são: conhecer a organização na qual serão desenvolvidos os trabalhos, traçar o seu perfil econômico-ambiental e identificar e caracterizar o ciclo de vida de seu principal produto.

Inicialmente, ocorre a formação de um grupo de colaboradores na empresa que irá auxiliar a realização dos trabalhos. Salienta-se que este grupo deve ser composto por pessoas ligadas aos setores operacional, financeiro e de meio ambiente, se houver.

A fim de estruturar as informações necessárias a essa primeira fase, deve-se aplicar o Questionário de Pré-Análise – QPA, o qual é constituído de questões sobre: a empresa propriamente dita, os produtos e os sistemas produtivos, a geração de rejeitos, o sistema de custeio e a análise de desempenho da companhia. Assim, o QPA está dividido em 6 seções, sendo que cada parte cobre um dos aspectos citados anteriormente (Anexo A). Com os resultados obtidos nessa análise preliminar, pode-se estruturar um mapa global da empresa, identificando o consumo de materiais, de água e de energia, a geração dos rejeitos produzidos e os principais produtos da organização.

Após o estabelecimento do mapa, deve-se buscar informações junto à equipe de apoio da empresa ou na literatura, que permitam traçar o ciclo de vida do principal produto a ser analisado. Isso será importante para que na próxima parte do estudo (2ª. Fase) fique melhor evidenciado qual a sua abrangência e a sua relação com as demais etapas do ciclo de vida do produto.

### **3.1.2 2ª Fase – Análise**

Nesta segunda fase, o sistema produtivo é analisado mais detalhadamente. Para isso, estabelece-se uma série de etapas a serem seguidas a fim de direcionar o estudo. Na primeira etapa desta fase, determinam-se os objetivos do trabalho, sua abrangência e a unidade de referência. Após, é realizado o mapeamento do processo produtivo, identificando as operações de processamento e sua seqüência. No próximo passo, faz-se a obtenção de um inventário de dados físicos e econômicos, necessários para as etapas finais dessa fase, envolvendo avaliações do tipo ambiental e econômica.

### 3.1.2.1 Etapa 1: Definição dos objetivos, da abrangência do estudo e da unidade funcional

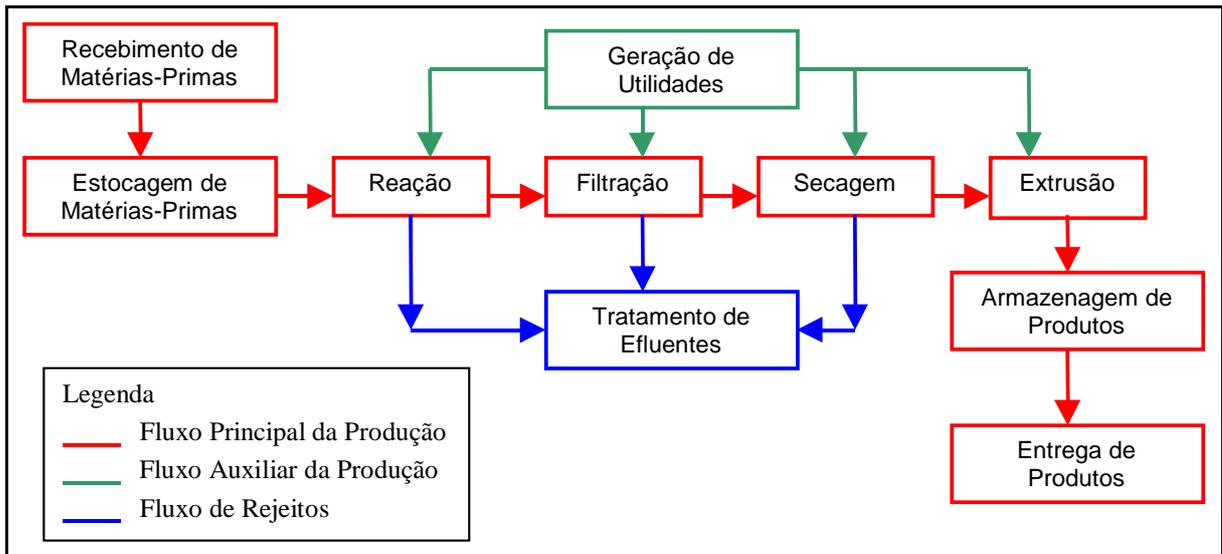
Inicialmente, deve-se determinar os objetivos do estudo, os quais podem estar relacionados à: comparação entre produtos e/ou processos produtivos; comparação entre operações do processo produtivo; avaliação econômico-ambiental de uma operação específica do processo produtivo; ou, ainda, a determinação dos principais problemas ambientais do setor analisado na empresa.

Com base no ciclo de vida traçado na Pré-Análise e considerando-se os objetivos do estudo estabelecidos acima, delimita-se a abrangência do trabalho.

A finalização desta primeira etapa ocorre com a escolha de uma unidade funcional ou de referência, na qual são expressos os resultados do estudo. Em geral, é conveniente adotar uma propriedade relacionada ao produto, como por exemplo um quilograma ou uma tonelada de produto (dependendo da escala de produção), um lote de produto, entre outros.

### 3.1.2.2 Etapa 2: Mapeamento de processo

O mapeamento do processo produtivo visa estruturá-lo em operações de processamento de forma seqüenciada. Para isso, segue-se o caminho percorrido pelas matérias-primas, desde a entrada na empresa, passando pela transformação, até a saída como produto acabado. Neste momento, ainda não é necessário identificar as entradas e saídas de materiais em cada etapa, apenas pretende-se obter um diagrama de blocos do processo analisado, como exemplificado na Figura 33. Deve-se salientar que o grau de detalhamento do processo produtivo dependerá de sua complexidade e da abrangência do estudo. Por exemplo, se a análise é realizada em uma planta petroquímica, é sugerido que esse desdobramento não alcance o nível de equipamentos, devido ao complexo diagrama de blocos que seria obtido. Por outro lado, se a análise fosse realizada em apenas uma etapa do processo produtivo da mesma planta petroquímica, na etapa de acabamento do produto, por exemplo, então o mapeamento em nível de equipamentos seria adequado.



**Figura 33:** Exemplo de diagrama de blocos obtido com o mapeamento de processo produtivo

### 3.1.2.3 Etapa 3: Obtenção de um inventário de dados físicos e econômicos

O mapeamento do processo produtivo não é suficiente para avaliar o processo do ponto de vista ambiental e econômico, é necessário listar os materiais consumidos e seus custos, os equipamentos utilizados, a mão-de-obra empregada, os produtos, subprodutos e rejeitos gerados e a área ocupada por cada operação produtiva.

Devido à grande quantidade de dados obtidos nesta etapa, é importante estruturá-los para facilitar a análise. Logo, propõe-se proceder ao preenchimento de quadros de inventários de dados como os apresentados a seguir nas Figuras 34 a 39.

Além da obtenção dos dados relativos à condição de operação normal do processo, é necessário ainda obter um inventário para as condições de operação anormais (partida e parada da unidade, variações de regime de operação, manutenção, etc.) e de riscos ambientais, como emergências, incidentes, acidentes, entre outros (MOURA, 2000).

Observa-se que os quadros de inventário de dados também devem ser preenchidos para as operações de processamento auxiliares, tais como: tratamento de águas e de efluentes, purificação de emissões gasosas, entre outros.

		<b>Quantidade de material consumido em cada operação</b>			
<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<i>Operação 1</i>	<i>Operação 2</i>	<i>Operação 3</i>	<i>Operação 4</i>
<i>Material A</i>	kg				
<i>Material B</i>	kg				
<i>Auxiliar de processo C</i>	kg				
<i>Auxiliar de processo D</i>	kg				

**Figura 34:** Lista de materiais consumidos em cada operação de processamento

		<b>Consumo de energia em cada operação</b>			
<b>Fonte de energia</b>	<b>Unidade</b>	<i>Operação 1</i>	<i>Operação 2</i>	<i>Operação 3</i>	<i>Operação 4</i>
<i>Energia elétrica</i>	kWh				
<i>Combustível fóssil</i>	kJ				

**Figura 35:** Listagem do consumo energético em cada operação de processamento

		<b>Quantidade de rejeito produzido em cada operação</b>			
<b>Rejeitos produzidos</b>	<b>Unidade</b>	<i>Operação 1</i>	<i>Operação 2</i>	<i>Operação 3</i>	<i>Operação 4</i>
<i>Resíduo A</i>	kg				
<i>Efluente I</i>	m <sup>3</sup>				
<i>Emissão N</i>	kg				

**Figura 36:** Lista dos rejeitos gerados em cada operação de processamento

		<b>Tempo de utilização em cada operação de processamento (unidade)</b>			
<b>Equipamentos</b>		<i>Operação 1</i>	<i>Operação 2</i>	<i>Operação 3</i>	<i>Operação 4</i>
<i>Equipamento A</i>					
<i>Equipamento B</i>					

**Figura 37:** Tempo de utilização dos equipamentos em cada operação de processamento

		<b>Tempo dedicado a cada operação de processamento (unidade)</b>			
<b>Operadores</b>		<i>Operação 1</i>	<i>Operação 2</i>	<i>Operação 3</i>	<i>Operação 4</i>
<i>Operador A</i>					
<i>Operador B</i>					

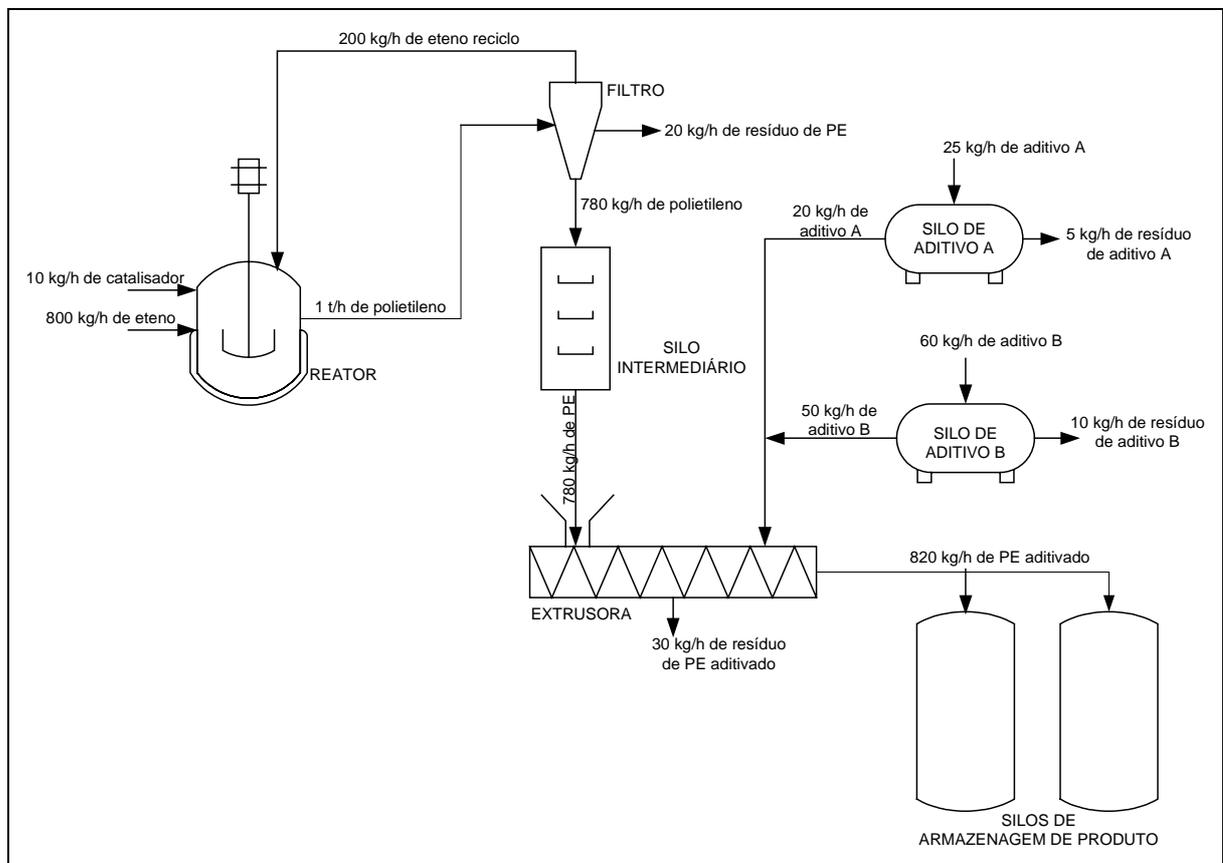
**Figura 38:** Mão-de-obra direta utilizada em cada operação de processamento

<b>Materiais</b>	<b>Custo Unitário (\$)</b>	<b>Fontes de Energia</b>	<b>Custo Unitário (\$)</b>	<b>Operadores</b>	<b>Custo-Hora (\$)</b>
<i>Material A</i>		<i>Energia elétrica</i>		<i>Operador A</i>	
<i>Material B</i>		<i>Combustível fóssil</i>		<i>Operador B</i>	
<i>Auxiliar C</i>					
<i>Auxiliar D</i>					

**Figura 39:** Custo unitário dos materiais, energia e mão-de-obra

Após, com base nos dados físicos do inventário e no mapeamento das operações produtivas, pode-se estabelecer o fluxograma simplificado de processo. Conforme Moura (2000), o fluxograma de processo é uma ferramenta de interesse na identificação inicial dos aspectos e impactos ambientais de um processo.

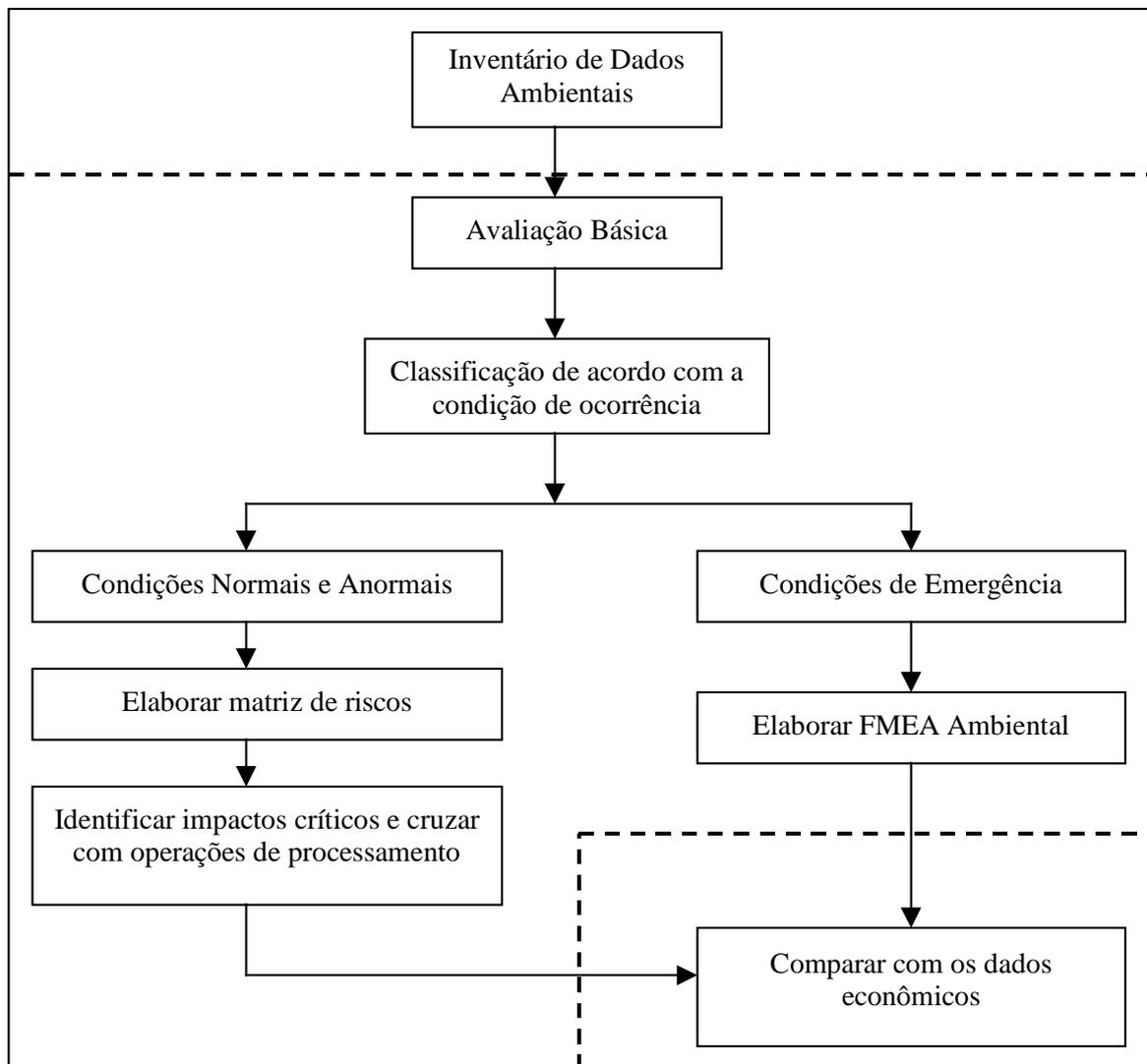
Assim, através desse fluxograma são identificadas as entradas e saídas de material de cada operação produtiva. A Figura 40 exemplifica um fluxograma de processo para a produção de polietileno.



**Figura 40:** Exemplo de fluxograma de processo simplificado para a produção de polietileno

### 3.1.2.4 Etapa 4: Avaliação Ambiental

Nesta etapa, todas as intervenções ambientais listadas em cada operação de processamento são analisadas detalhadamente, de acordo com os objetivos estipulados inicialmente. Sua finalidade é estabelecer uma ordem de priorização para tratar as operações de processamento, em função de seus impactos ambientais reais ou potenciais. Essa avaliação é desenvolvida conforme o fluxograma apresentado na Figura 41, no qual as etapas compreendidas dentro da área pontilhada fazem parte da análise ambiental.



**Figura 41:** Fluxograma de orientação para a avaliação ambiental

### Avaliação Básica:

A avaliação básica é necessária para permitir uma descrição inicial dos rejeitos produzidos. Além disso, as informações obtidas serão úteis para a avaliação econômica (etapa 5).

Essa avaliação consiste em classificar os rejeitos identificados na etapa de obtenção de inventário quanto ao seu estado físico (resíduo, efluente ou emissão), ao seu destino (aterro industrial, estação de tratamento de efluentes, atmosfera, esgoto), ao meio diretamente impactado por ele (solo, água, ar) e a sua origem no processo produtivo (matéria-prima, insumo, produto intermediário, limpeza de maquinário). Também são estudadas as condições de operação em que ele é gerado, ou seja:

- a) condições normais – funcionamento contínuo dos equipamentos da planta;
- b) condições anormais – durante partidas e paradas de equipamentos e variações de regime de operação do sistema;
- c) condições de emergência – paradas de equipamentos inesperadas, acidentes e incidentes.

A Figura 42 ilustra um quadro que pode ser utilizado para sistematizar a avaliação básica.

<b>Operação de processamento</b>	<b>Intervenção ambiental</b>	<b>Classificação geral</b>	<b>Destino</b>	<b>Meio impacto</b>	<b>Origem</b>	<b>Condição</b>
<i>Corte</i>	<i>Aparas de borracha</i>	<i>Resíduo</i>	<i>Aterro</i>	<i>Solo</i>	<i>Produto</i>	<i>Normal</i>

**Figura 42:** Quadro para direcionar a avaliação básica dos rejeitos

A classificação das intervenções quanto à condição de ocorrência é muito importante, pois direciona a avaliação ambiental subsequente. Para as condições normais e



No exemplo apresentado na Tabela 1 observa-se que a presença de fenol na corrente de efluente (intervenção ambiental) da operação de recuperação de matérias-primas eleva a sua demanda química de oxigênio (DQO). Como resultado, a empresa precisa realizar um tratamento mais rigoroso dos seus efluentes, para evitar que os efeitos dessa intervenção ambiental sejam propagados para níveis regionais e globais.

Na coluna dos efeitos regionais, são listados os efeitos decorrentes da intervenção quando ela não é tratada na empresa. No exemplo anterior, caso o fenol presente na corrente de efluente não seja removido, ocorrerá a poluição do curso de água onde ele é lançado. Logo, devido à toxicidade provocada por essa substância, os organismos que vivem nesse meio serão afetados, podendo inclusive morrer. Dessa forma, observa-se uma contribuição dessa substância para a ecotoxicidade aquática, o que é uma consequência global dessa intervenção ambiental.

No presente trabalho são adotadas as categorias globais de impacto ambiental apresentadas na Figura 13, dada a frequência que elas são citadas nos trabalhos da literatura.

Um outro aspecto importante que deve ser salientado na Tabela 1 é a investigação quanto à toxicidade humana e à existência de legislação específica que trate dos rejeitos. No primeiro caso, embora isto seja contemplado na metodologia LCA, julgou-se necessário separá-la, pois considera-se que qualquer intervenção ambiental que esteja acima dos limites de toxicidade humana deve ser imediatamente tratada. Para verificar quais são esses limites, recomenda-se averiguar sua existência na legislação brasileira. Na sua ausência, deve-se adotar os valores estabelecidos pelo Instituto Nacional para a Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos (*National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH*<sup>1</sup>).

Em se tratando da segunda situação citada, a investigação servirá para observar se há alguma norma para a classificação do rejeito e que indique o seu tratamento adequado. Para exemplificar, se o rejeito for um resíduo, existe uma norma específica (NBR 10004) que trata de sua classificação e estabelece os seus limites de toxicidade.

---

<sup>1</sup> [www.cdc.gov/niosh/idlh/intrid14.html](http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intrid14.html)

No intuito de auxiliar a priorização das operações de processamento, a segunda parte da Matriz de Avaliação Ambiental envolve a análise de gravidade (G) e frequência de ocorrência (FO) das intervenções geradas no processo. Por gravidade entende-se o dano ao meio ambiente e à saúde humana que uma determinada intervenção pode causar. O quadro apresentado na Figura 25 deve ser utilizado para avaliar as intervenções ambientais quanto a esse critério.

Já a frequência de ocorrência deve ser entendida como o grau de incidência da intervenção ambiental no processo. A avaliação, segundo esse critério, é estabelecida a partir da análise de dados históricos, podendo ser descrita em ocorrências reais ou potenciais. Assim, a classificação é feita conforme a escala apresentada na Figura 26.

Após essa classificação, pode-se determinar a pontuação (P) da intervenção ambiental. Isto é estabelecido a partir da combinação dos índices G e FO, conforme já foi ilustrado na Figura 27.

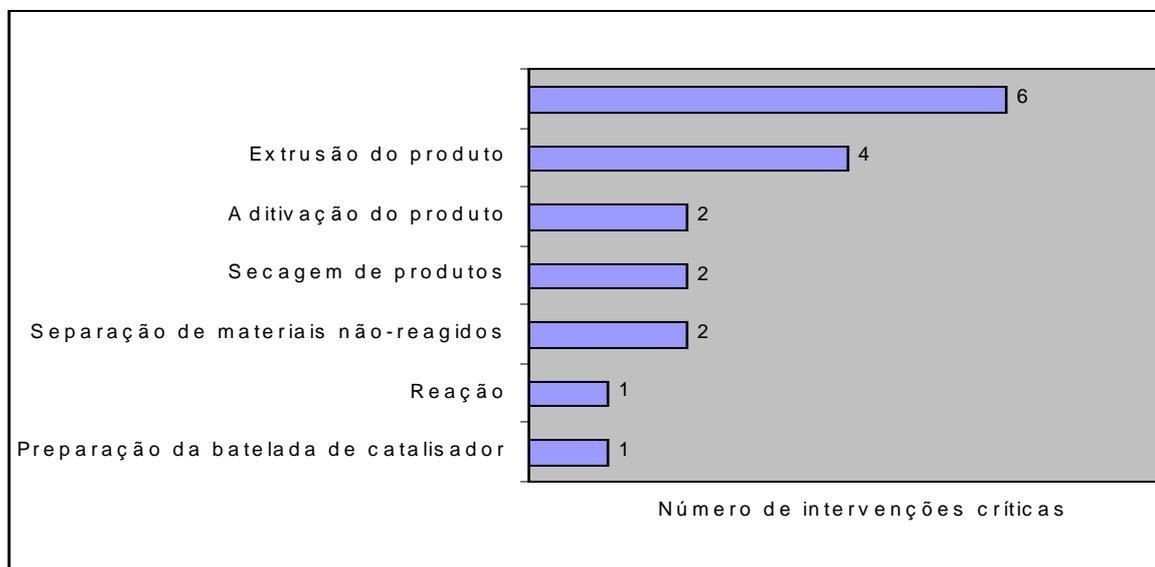
A classificação das intervenções quanto aos critérios de gravidade e de frequência deve ser conduzida junto com o grupo de apoio da empresa e deve considerar também os efeitos do alcance do impacto, listados na primeira parte da Matriz de Avaliação Ambiental, assim como a sua quantidade.

Após o preenchimento da Matriz de Avaliação Ambiental, os resultados das intervenções ambientais são comparados entre si, conforme os seguintes critérios:

- a) Critério I – Legislação Específica: caso esteja fora dos limites estabelecidos pela legislação que regulamenta o rejeito ou acima dos níveis de toxicidade humana estabelecidos pela legislação brasileira ou pela Norma NIOSH;
- b) Critério II – Efeito: todas as intervenções que apresentaram efeitos críticos são selecionadas. Caso nenhuma apresente tal efeito, são selecionadas aquelas que possuem efeitos mais significativos e assim sucessivamente.

O passo seguinte consiste em comparar as intervenções selecionadas com as operações de processamento, para identificar as operações que apresentaram o pior desempenho ambiental. Essa informação é obtida a partir do emprego de um Gráfico de

Pareto, no qual representa-se o número de intervenções selecionados em cada operação de processamento, como exemplificado de forma esquemática e ilustrado na Figura 43.



**Figura 43:** Relação entre intervenções ambientais críticas e operações de processamento

Por fim, os resultados dessa avaliação ambiental são comparados com aqueles provenientes da análise econômica, visando traçar um plano de ação para que sejam alcançadas as melhorias no processo produtivo.

#### Avaliação de intervenções ambientais produzidas em condições emergenciais:

A avaliação das intervenções ambientais possíveis de serem produzidas em condições emergenciais é analisada através do emprego da ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*). Para isso, os dados históricos da produção são estudados, identificando-se aqueles que tenham sido obtidos em condições de operação emergencial. Para complementar essa análise, propõe-se que sejam investigadas todas as possíveis condições emergenciais junto à equipe responsável pelo acompanhamento do trabalho na empresa.

Nesse sentido, a Figura 44 apresenta um modelo de formulário de FMEA, adaptado para a avaliação ambiental – FMEA Ambiental – que auxilia a organização dos dados e direciona a análise a ser realizada.



FMEA AMBIENTAL		Data elaboração: xx/xx/xxxx				Setor: Acabamento de produto e aditivação					
		Data próxima revisão: xx/xx/xxxx				Processo: Produção de Borrachas					
		Coordenador: xxxxxx									
Operação de processamento	Função da operação	Falhas Possíveis					Controles Atuais	Índices			
		Modo	Causa	Efeito Local	Efeito Regional	Efeito Global		IG	IPO	ID	IR
<i>Secagem do produto</i>	<i>Reduzir teor de umidade</i>	<i>Descontrole da temperatura</i>	<i>Falha no medidor de temperatura</i>	<i>Geração de borracha carbonizada</i>	<i>Aumento de resíduos no aterro</i>	<i>Ecotoxicidade terrestre</i>	<i>Não há</i>	8	2	9	144

**Figura 44:** Estrutura de um formulário de FMEA Ambiental (adaptado de HELMAN; ANDERY, 1995)

O preenchimento do formulário de FMEA Ambiental inicia-se com a identificação da operação de processamento analisada e sua função dentro do processo produtivo. No exemplo apresentado na Figura 44, ilustrou-se a avaliação da operação de secagem de produtos, pertencente à etapa de acabamento, no processo de produção de borracha, cuja finalidade é reduzir o seu teor de umidade.

As etapas seguintes – identificação de modos de falha, causas e efeitos – são realizadas de acordo com o procedimento descrito no item 2.5.2.1. No entanto, deve-se salientar que ao serem estabelecidos os efeitos que o modo de falha têm sobre o meio ambiente, é necessário que se siga a mesma relação de causa-efeito apresentada na Tabela 1.

No exemplo citado anteriormente, observou-se que um possível modo de falha no processo de secagem de produtos é o descontrole de temperatura, o qual é causado por uma falha do medidor de temperatura. Como consequência, o efeito local é a geração de resíduos de borracha carbonizada. Em nível regional, isso provoca o aumento de resíduos no aterro industrial, elevando-se o nível de ecotoxicidade terrestre e o uso inadequado do solo, que são efeitos globais.

A estrutura original do FMEA recomenda que é necessário investigar ainda a existência de formas de prevenção e detecção das falhas. No contexto deste estudo, isto é descrito no item de controles atuais, na Figura 44.

Por fim, realiza-se uma análise quanto à gravidade, à ocorrência e à detecção para se determinar o Índice de Risco, que é utilizado para hierarquizar as falhas. No que concerne ao Índice de Gravidade (IG), ele reflete a intensidade do impacto ambiental da falha analisada. Para caracterizar tal intensidade propõe-se o uso da escala para indicar a gravidade da falha do processo, adequada e adaptada à avaliação ambiental, sendo apresentada na Figura 45 (HELMAN; ANDERY, 1995).

Já o Índice de Probabilidade de Ocorrência (IPO) avalia a possibilidade de ocorrer o modo de falha e a partir dele resultar a falha analisada. A escala para avaliar esse índice, é apresentada na Figura 46 e baseia-se também na proposta dos autores supra citados.

Quanto ao Índice de Detecção (ID), que mede a probabilidade da falha ser detectada antes que atinja o meio ambiente, a escala adotada está ilustrada na Figura 47 (HELMAN e ANDERY, 1995).

<b>Índice (IG)</b>	<b>Conceito</b>
1	Falha de menor importância. Quase não são percebidos os efeitos sobre o meio ambiente.
2 a 3	Provoca redução da qualidade ambiental, seus efeitos locais são muito maiores do que os efeitos regional e global.
4 a 6	Haverá uma degradação progressiva do meio ambiente e os efeitos regionais passam a ser consideráveis.
7 a 8	É uma falha grave, com efeitos significativos em níveis local e regional, os efeitos globais começam a ser considerados.
9 a 10	É uma falha muito grave, com efeitos globais elevados.

**Figura 45:** Escala para avaliar o Índice de Gravidade (adaptado de HELMAN; ANDERY, 1995)

<b>Índice (IPO)</b>	<b>Probabilidade de ocorrência</b>	<b>Tipo de Ocorrência</b>
1	Muito remota	Excepcional
2	Muito pequena	Pouquíssimas vezes
3	Pequena	Poucas vezes
4 – 5 – 6	Moderada	Ocasional, algumas vezes
7 – 8	Alta	Frequente
9 – 10	Muito alta	Inevitável, certamente ocorrerá a falha.

**Figura 46:** Escala para avaliar o Índice de Probabilidade de Ocorrência (adaptado de HELMAN; ANDERY, 1995)

<b>Índice (ID)</b>	<b>Conceito</b>
1	Probabilidade de detecção é muito alta.
2 a 3	Probabilidade de detecção é alta.
4 a 6	Probabilidade de detecção é moderada.
7 a 8	Probabilidade de detecção é pequena.
9	Probabilidade de detecção é muito pequena.
10	Probabilidade de detecção é remota.

**Figura 47:** Escala para avaliar o Índice de Detecção (adaptado de HELMAN; ANDERY, 1995)

Deve-se ressaltar que a atribuição desses índices a cada modo de falha é realizada a partir de dados históricos do processo, também em reunião com o grupo de apoio da empresa.

Finalmente, o índice de risco (IR) é determinado empregando-se a equação (2).

$$IR = IG \times IPO \times ID, \quad (2)$$

em que:  $IR$  é o Índice de Risco;  
 $IG$  é o Índice de Gravidade;  
 $IPO$  é o Índice de Probabilidade de Ocorrência;  
 $ID$  é o Índice de Detecção.

Assim, a escala utilizada nesse trabalho para qualificar o risco está também baseada naquela apresentada por Helman e Andery (1995):

Qualificação do Risco	Faixa de Variação
Baixo .....	$1 < IR \leq 135$
Moderado .....	$135 < IR \leq 500$
Alto .....	$501 < IR \leq 1000$

A etapa final da avaliação ambiental para a situação de emergência envolve o desenvolvimento de um plano de ação para aquelas falhas cujo índice de risco foi classificado como alto. Isto será desenvolvido na fase de Pós-Análise da metodologia.

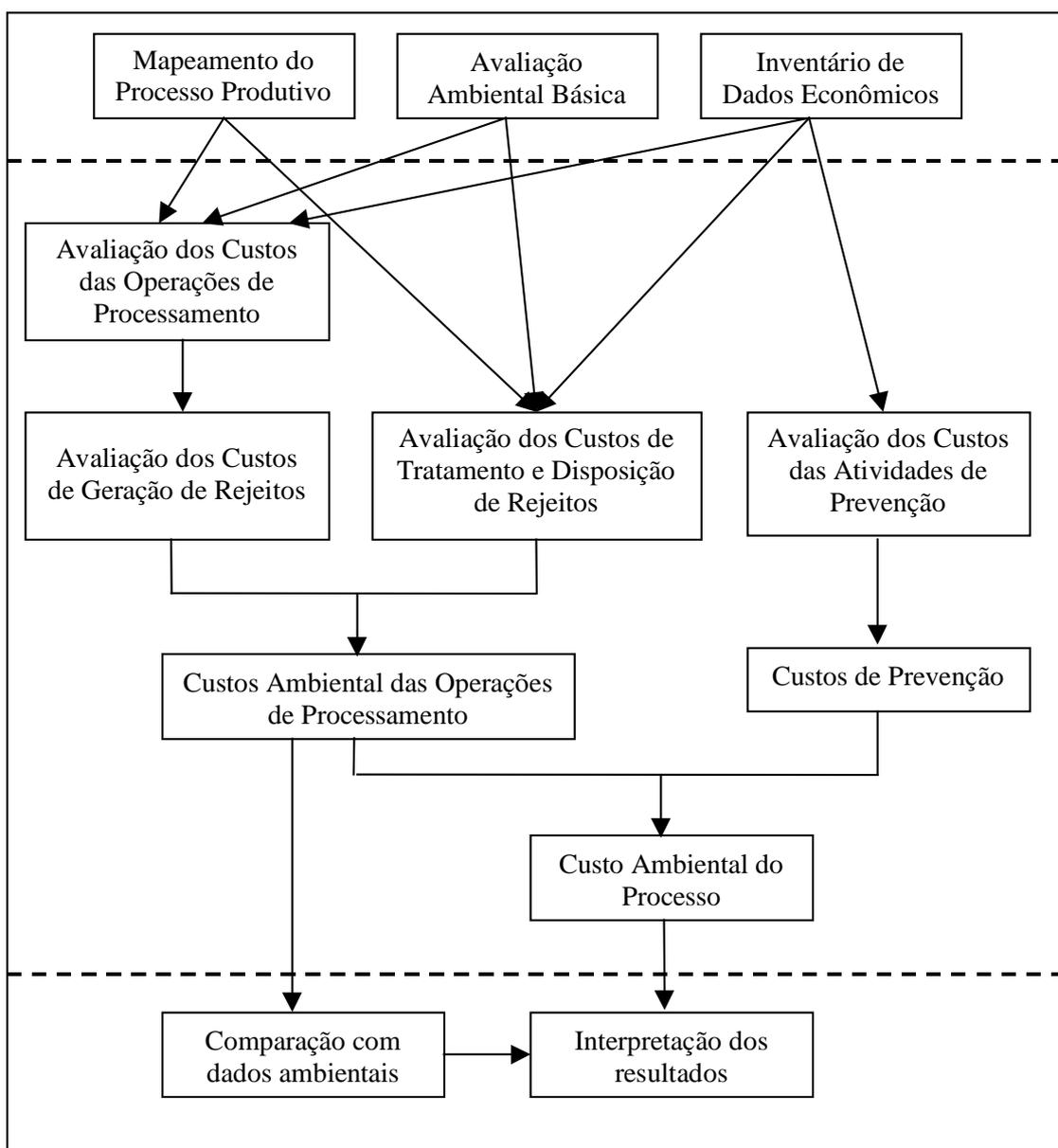
### 3.1.2.5 Etapa 5: Avaliação Econômica

Nesta etapa, realiza-se a avaliação dos custos ambientais de cada operação de processamento. No contexto desse trabalho, custo ambiental deve ser entendido como os gastos relacionados a perdas de matérias-primas e insumos e os custos operacionais associados (custo de geração) que venham a ter efeitos negativos sobre o meio ambiente, os custos necessários para tratar os rejeitos gerados no processo (custos de tratamento e disposição ou de correção) e os investimentos realizados na prevenção de problemas ambientais e melhorias de processo sob esse aspecto (custos de prevenção).

Sua finalidade é identificar quais etapas do processo são responsáveis pelo maior custo de geração e de tratamento e disposição de rejeitos. Além disso, pretende-se analisar os custos de prevenção de impactos ambientais, a fim de averiguar a postura da

empresa frente à questão ambiental, ou seja, se ela tem um comportamento pró-ativo (custos de prevenção maiores do que os de correção) ou reativo (custos de correção maiores do que os de prevenção).

A avaliação econômica é desenvolvida conforme o fluxograma apresentado na Figura 48.



**Figura 48:** Fluxograma de orientação para a avaliação econômica

Novamente, nessa figura as ações compreendidas entre as linhas tracejadas representam as etapas dessa avaliação, enquanto aquelas externas a essa região são etapas precedentes e posteriores à avaliação econômica.

Como se observa na Figura 47, a análise de custos ambientais necessita de informações prévias, obtidas durante o mapeamento do processo, a obtenção de inventário e a avaliação ambiental. Esta etapa da metodologia está dividida em três partes fundamentais, as quais envolvem a avaliação dos custos das operações de processamento e de geração de rejeitos, os custos de tratamento e disposição dos rejeitos e os custos das atividades de prevenção. Com essas informações é possível identificar os custos ambientais das operações de processamento e os custos ambientais do processo, os quais servirão para a etapa seguinte que diz respeito à comparação entre os resultados da avaliação ambiental e econômica em cada operação de processamento.

#### Avaliação dos Custos das Operações de Processamento (CO)

Nesta parte da avaliação econômica pretende-se verificar o quanto de recursos financeiros são consumidos por cada operação do processo produtivo. Para isso, os gastos com materiais consumidos, mão-de-obra direta, energia e os custos indiretos (aluguel, atividades administrativas) são distribuídos entre as operações de processamento, através do emprego de direcionadores de recursos, de forma similar ao método ABC, discutido no item 2.4.4. A fim de facilitar a operacionalização dessa análise, propõe-se o preenchimento da Tabela 2, na qual são listados os recursos consumidos, o custo total dos recursos e os direcionadores empregados, bem como as operações de processamento analisadas.

Salienta-se que neste trabalho as operações de processamento correspondem às atividades do método ABC.

A partir da distribuição dos recursos entre as operações de processamento, calcula-se o custo de transformação associado a cada operação de processamento, fazendo uso da equação (3). Neste trabalho, essa parcela de custo será denominada simplesmente de custo da operação de processamento.

$$CO(j) = IN(j) + MOD(j) + E(j) + CI(j) \quad (3)$$

em que:  $j$  é o índice que caracteriza a operação de processamento analisada;  
 $CO(j)$  é o custo da operação  $j$ ;  
 $IN(j)$  é o custo dos insumos utilizados;  
 $MOD(j)$  é o custo da mão-de-obra direta;  
 $E(j)$  é o custo devido ao consumo de energia;  
 $CI(j)$  corresponde aos custos indiretos.

**Tabela 2:** Consumo de recursos pelas operações de processamento

Recursos	Custo do Recurso	Direcionador	Operações de Processamento			
			Operação 1	Operação 2	Operação 3	Operação 4
<i>Material A</i>	<i>10.000,00</i>	<i>Consumo direto</i>	<i>5.000,00</i>		<i>2.500,00</i>	<i>2.500,00</i>
<i>Auxiliar de processo B</i>						
<i>Energia elétrica</i>						
<i>Mão-de-obra</i>						
<i>Aluguel</i>						
...						

O custo das matérias-primas não deve ser distribuído entre as operações de processamento, uma vez que esses materiais são consumidos pelo processo como um todo e não em uma operação específica, embora sua entrada no processo produtivo ocorra em determinadas etapas.

#### Avaliação dos Custos de Geração de Rejeitos (CG)

Cada atividade de processamento é responsável pela fabricação de produtos intermediários. No entanto, eventualmente também são gerados subprodutos, resíduos, efluentes e emissões. Assim, esta avaliação tem a finalidade de distribuir os custos das operações de processamento entre esses objetos de custo.

Para realizar tal avaliação é necessário utilizar as informações apresentadas na Tabela 2, na avaliação básica de rejeitos (Figura 42) e no fluxograma do processo produtivo

(Figura 40). O cálculo dos custos de geração de rejeitos deve ser realizado gradativamente seguindo o fluxo de produção, ou seja, desde a primeira até a última operação de processamento, considerando ainda os fluxos de materiais e os custos das operações de processamento. Para isso, emprega-se a equação (4).

$$CG(i) = CM_i + w_i \cdot CO(j) \quad (4)$$

em que:  $CG(i)$  é o custo de geração do rejeito  $i$ ;  
 $CM_i$  é a parcela dos custos do material que originou o rejeito  $i$ ;  
 $w_i$  é o fator que associa os custos operacionais da operação  $j$  com a geração do rejeito  $i$ .

O fator  $w_j$  utilizado na equação (4) corresponde à razão entre a quantidade de rejeito  $i$  gerado na operação  $j$  e a quantidade total de material que sai dessa operação.

Caso o material que deu origem ao rejeito seja um insumo, a parcela  $CM_{ij}$  não é considerada no cálculo do seu custo de geração. Isto porque os insumos são utilizados para dar sustento às operações de processamento, ou seja, são materiais auxiliares e já foram considerados na parcela dos custos de produção, conforme equação (3). No entanto, se o rejeito for originado de matérias-primas, a parcela  $CM_i$  deve fazer parte do custo de geração do rejeito, pois esses materiais são consumidos para a produção de produtos, não de rejeitos.

Já o custo de geração associado à operação de processamento é calculado através da equação (5). Observe que nesse caso não se considera o custo do material perdido, pois isto iria distorcer a comparação entre as diversas operações de processamento.

$$CGP(j) = \sum_{j=1}^n w_i \cdot CO(j) \quad (5)$$

em que:  $CGP(j)$  é o custo de geração de rejeitos associado a operação  $j$ .

Ao final dessa análise, os resultados obtidos são organizados com o auxílio das Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3:** Custos de geração de cada rejeito

Rejeitos	Parcela de custo relativo à perda de material	Custo da operação de processamento associado	Custo de geração do rejeito
<i>Rejeito A</i>	<i>120,00</i>	<i>80,00</i>	<i>200,00</i>
<i>Rejeito B</i>			
...			

**Tabela 4:** Distribuição dos custos operacionais entre os objetos de custos

Operações de processamento	Custos Operacionais	Objetos de Custo			
		Resíduos	Efluentes	Emissões	Produto Intermediário
<i>Operação 1</i>	<i>1.200,00</i>	<i>150,00</i>	<i>50,00</i>		<i>1.000,00</i>
<i>Operação 2</i>					
...					

Novamente, salienta-se que o procedimento metodológico utilizado acima é semelhante àquele discutido na apresentação do método de custeio ABC, em que os custos das atividades são distribuídos entre os objetos de custos.

#### Avaliação dos Custos de Tratamento e Disposição de Rejeitos (CTD)

Assim como os custos de geração, os gastos com tratamento, controle e disposição de rejeitos produzidos pelo processo produtivo são outras parcelas de custos que compõem os custos ambientais, conforme as definições desse trabalho. Para avaliar tais parcelas, o primeiro passo consiste em identificar todos os recursos consumidos por essas atividades ambientais: materiais, energia gasta pelos equipamentos de tratamento de rejeitos, mão-de-obra empregada nessas atividades, os gastos com transporte de resíduos, as taxas de disposição de rejeitos em aterros industriais, entre outros.

A seguir, deve-se observar as relações de causa-efeito entre o tratamento e disposição de rejeitos e as operações de processamento, conforme foi explicitado no quadro da Figura 42, durante a etapa de avaliação ambiental básica. Assim, esses custos são alocados em cada operação de processamento, considerando-se os direcionadores de atividades  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$  e  $z_{ij}$ . Tais direcionadores relacionam a quantidade de rejeito  $i$  produzido pela operação  $j$  e a quantidade total de efluentes tratados ( $x_{ij}$ ), de resíduos dispostos ( $y_{ij}$ ) e de tratamento de emissões ( $z_{ij}$ ). A equação (6) permite determinar o custo de tratamento e disposição de rejeitos da operação  $j$ .

$$CTD(j) = \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot CL + \sum_{i=1}^n y_{ij} \cdot CR + \sum_{i=1}^n z_{ij} \cdot CE \quad (6)$$

em que:  $CTD(j)$  é o custo de tratamento e disposição da operação  $j$  do processo produtivo;  
 $CL$  é o custo total com o tratamento de efluentes líquidos;  
 $CR$  é o custo total com o tratamento e disposição de resíduos sólidos;  
 $CE$  é o custo total com o tratamento de emissões gasosas;  
 $x_{ij}$  é o direcionador de custo de tratamento de efluentes devido ao rejeito  $i$  na operação  $j$ ;  
 $y_{ij}$  é o direcionador de custo de tratamento e disposição de resíduos devido ao rejeito  $i$  na operação  $j$ ;  
 $z_{ij}$  é o direcionador de custo de tratamento de emissões devido ao rejeito  $i$  na operação  $j$ .

#### Avaliação dos Custos Ambientais das Operações de Processamento (CAOP)

A partir do cálculo das duas parcelas de custos determinadas anteriormente, é possível mensurar o custo ambiental de cada operação de processamento, conforme pode ser observado na equação (7).

$$CAOP(j) = CGP(j) + CTD(j) \quad (7)$$

em que:  $CAOP(j)$  é o custo ambiental da operação  $j$  do processo produtivo.

### Avaliação dos Custos das Atividades de Prevenção (CPV)

Uma parcela muito importante dentro da avaliação de custos ambientais de uma empresa está relacionada com atividades de prevenção de impactos ambientais. Essa parcela envolve a análise e a quantificação dos custos das atividades que são desenvolvidas na empresa, cuja finalidade é evitar a geração de rejeitos e a ocorrência de impactos ambientais. Alguns exemplos de atividades de prevenção são tratamento de águas, preparo e condicionamento de matérias-primas e auxiliares de processo, treinamento de operadores, auditorias ambientais e gastos com o Sistema de Gestão Ambiental, se for o caso.

A avaliação dessa parcela de custo inicia-se com a investigação das atividades de prevenção realizadas na empresa. Após, com o auxílio de direcionadores de recursos, quantificam-se os custos dessas atividades.

Como as atividades de prevenção buscam melhorar o desempenho ambiental da organização como um todo, os seus custos não serão direcionados nem para as operações de processamento específicas, nem para objetos de custos.

### Avaliação dos Custos Ambientais do Processo (CA)

Uma vez calculados os custos ambientais das operações de processamento e os custos das atividades de prevenção, pode-se determinar a magnitude dos custos ambientais do processo, conforme a equação (8).

$$CA = \sum_{j=1}^n CAOP(j) + CPV \quad (8)$$

em que:  $CA$  é o custo ambiental do processo produtivo;  
 $CPV$  é o custo total das atividades de prevenção.

Ao final dessa avaliação, foram obtidas todas as informações econômicas necessárias para a metodologia. Na etapa seguinte, esses resultados são comparados com aqueles referentes à avaliação ambiental.

### 3.1.2.6 Etapa 6: Interpretação dos Resultados

Nas etapas anteriores foram realizadas as avaliações ambiental e econômica em cada operação de processamento. Agora, esses resultados são confrontados, a fim de verificar quais as operações do processo que apresentam os piores desempenhos ambiental e econômico. Com essa comparação é possível selecionar as operações que são mais críticas ao processo produtivo.

Além disso, nesta etapa de interpretação dos resultados são feitas algumas análises que permitem verificar o comportamento da empresa frente à questão ambiental, tais como:

- a) verificar se os principais impactos ambientais do processo produtivo estão relacionados às condições de operação normais, anormais ou emergenciais.
- b) identificar se os impactos são devidos à geração de resíduos, efluentes ou emissões;
- c) avaliar quais são os efeitos locais, regionais e globais das principais intervenções ambientais;
- d) comparar os custos de prevenção e de correção de problemas ambientais;
- e) comparar os custos de geração e de tratamento e disposição de rejeitos;
- f) comparar os custos ambientais relacionados com resíduos, efluentes e emissões;
- g) comparar os custos ambientais devido a rejeitos produzidos em condições normais de operação e em condições anormais;
- h) verificar se há uma relação direta entre os impactos e os custos ambientais, ou seja, se as intervenções, cujos efeitos ambientais são críticos, também são responsáveis pelas maiores parcelas de custos ambientais.

### 3.1.3 3ª. Fase – Pós-Análise

A partir da interpretação dos resultados, é possível conhecer quais são os pontos fracos do processo produtivo no que se refere aos aspectos ambiental e econômico. Com base nisso, podem ser propostas algumas ações de melhoria, finalidade dessa fase final da metodologia.

A fase de Pós-Análise está dividida em duas etapas: a geração de cenários de operação e a proposição de planos de ação. Na primeira etapa, as operações de processamento selecionadas na interpretação de resultados são simuladas em condições de operação diferenciadas, verificando-se o comportamento do processo quanto aos aspectos ambiental e econômico. Para isso, são investigadas as mudanças nas matérias-primas utilizadas na operação; as modificações em parâmetros de processo da operação; as reduções na geração de rejeitos; as trocas de equipamentos (se for o caso); entre outros.

Dessa forma, em cada cenário criado, as modificações nas variáveis ambientais e econômicas são avaliadas seguindo os passos da metodologia apresentados nas etapas 4 e 5.

Após, junto com a equipe da empresa, seleciona-se o cenário de maior interesse, por minimizar os impactos e os custos ambientais. A partir deste momento, devem ser estabelecidos objetivos e metas ambientais. Segundo Moura (2000), objetivos ambientais são as metas globais de desempenho, originárias da política ambiental e da avaliação de efeitos e impactos significativos, que uma organização estabelece para si própria. Já as metas ambientais são os requisitos detalhados de desempenho, sempre que possível quantificados (metas mensuráveis) aplicados a uma organização ou a uma parte dela.

Para que os objetivos e metas ambientais sejam alcançados, estrutura-se um plano de ação. Conforme Moura (2000), este plano deve conter basicamente as seguintes informações:

- a) o que tem que ser feito (*What?*), ou seja, quais são os aspectos e impactos ambientais que serão tratados;
- b) quando será feito (*When?*), isto é, os prazos para a execução de cada atividade planejada;

- c) onde serão executadas as ações programadas (*Where?*), ou seja, em qual operação de processamento, equipamento ou atividade do processo;
- d) por que serão executadas tais ações (*Why?*), isto é, quais os requisitos legais ou corporativos que determinam a realização das ações;
- e) quem tem a responsabilidade de realizar a ação (*Who?*), ou seja, quem é a pessoa ou a área da companhia diretamente responsável pela ação;
- f) como será realizada a ação necessária para atingir a meta (*How?*), isto é, qual o procedimento que deverá ser seguido para se chegar ao resultado pretendido;
- g) qual o custo da ação (*How much?*), ou seja, em termos de custos ambientais, o que esta ação irá acarretar para a empresa.

A Figura 49 mostra a estrutura do plano de ação, com alguns exemplos de sua utilização.

Observe que no plano de ação são considerados os aspectos e os impactos ambientais gerados em condições normais, anormais e de emergência no processo produtivo, que foram previamente analisadas na etapa 4.

Ao final da elaboração do plano de ação, encerra-se a aplicação da metodologia. No entanto, para garantir as melhorias desejadas é necessário que as ações previstas nesse documento sejam implementadas. Após isso, pode-se comparar o desempenho econômico-ambiental do processo antes e após o emprego da metodologia, a fim de verificar se as melhorias foram efetivamente alcançadas. Por fim, visando a melhoria contínua, novos objetivos podem ser definidos e esta metodologia pode ser novamente utilizada para alcançá-los. Agora, como os dados necessários já estão organizados, essas análises posteriores serão mais facilmente realizadas.

A fim de identificar as potencialidades e as limitações da abordagem proposta, o capítulo a seguir apresenta sua utilização em um problema real.

WHAT				WHY		WHERE	WHEN	WHO	HOW	HOW MUCH
Aspecto ambiental	Impactos ambientais	Objetivos	Metas	Requisitos Legais	Normas da empresa	Etapa do processo	Prazo de realização	Responsável	Ação	Custo ambiental
<i>Despejos de águas residuárias com fenol</i>	<i>Aumento da DQO do efluente</i>	<i>Reduzir a concentração de fenol no efluente</i>	<i>Reduzir a concentração de fenol de 60 mg/L para 5 mg/L</i>	<i>Legislação ambiental, artigo 19<sup>A</sup> fenóis e graxas. Limite de fenóis: 5,0 mg/L</i>	<i>Não há</i>	<i>Recuperação de matérias-primas</i>	<i>1 ano</i>	<i>Engenheiro de processos</i>	<i>Modificação de auxiliar de processo empregado nesta etapa do processo produtivo</i>	<i>Redução dos custos R\$ 10.000,00 por mês com o tratamento e geração de rejeitos</i>
<i>Geração de borracha carbonizada</i>	<i>Aumento na quantidade de resíduos a ser disposto no aterro industrial</i>	<i>Evitar a carbonização da borracha no processo de secagem</i>	<i>Reduzir em 20 % a probabilidade de carbonização da borracha</i>	<i>Lei ambiental (a pesquisar)</i>	<i>Instrução de operação do processo de secagem, número 25</i>	<i>Secagem de produto na etapa de acabamento</i>	<i>2 anos</i>	<i>Engenheiro de Produção</i>	<i>Instalação de medidores de temperatura ao longo do secador, em redundância</i>	<i>Elevação dos custos de prevenção em R\$ 5.000,00 por ano.  Redução dos custos de transporte e disposição de resíduos no aterro industrial em R\$ 10.000,00 por ano.</i>

**Figura 49:** Estrutura de um plano de ação e exemplos de sua aplicação

## **4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA**

Neste capítulo será apresentada a aplicação da abordagem proposta. Os resultados obtidos em cada etapa da metodologia são descritos detalhadamente. Para a melhor compreensão, inicialmente será feita uma breve descrição da empresa em que se deu tal aplicação e de seus principais produtos.

### **4.1 A EMPRESA E SEUS PRODUTOS**

A empresa na qual foi aplicada a abordagem proposta nesta dissertação produz incineradores e lavadores de gases. Os incineradores são equipamentos utilizados para a decomposição térmica, via oxidação, de resíduos provenientes de processos industriais e hospitalares. Já os lavadores de gases são empregados na remoção de particulados e gases nocivos de emissões industriais. Aproximadamente, 95 % de suas vendas devem-se aos incineradores, cujo tempo médio de produção é de 30 dias.

Os incineradores produzidos são constituídos de três partes principais: a câmara de alimentação, a câmara de combustão e o ciclone. Através da câmara de alimentação os resíduos são adicionados ao equipamento. Já na câmara de combustão, eles passam por três etapas: a secagem, a gaseificação e a oxi-redução. Durante a secagem, são submetidos a temperaturas na faixa de 150 a 200°C. Na gaseificação ocorre admissão de ar e o material atinge temperaturas da ordem de 300°C e na oxi-redução o material restante é oxidado a temperaturas em torno de 500°C. Da câmara de combustão saem cinzas e gases comburentes, estes últimos são finalmente queimados em um ciclone a 1200°C.

A empresa produz três modelos de incineradores: o modelo A de pequena capacidade de processamento, o modelo B com capacidade média e o modelo C, cuja capacidade de processamento é maior. A Figura 50 ilustra um incinerador modelo B, o qual é o objeto de estudo nesse trabalho.



**Figura 50:** Incinerador modelo B

Esses equipamentos são fabricados com chapas de aço carbono, reforçados externamente por cantoneiras e revestidos internamente por camadas de isolante térmico e de refratário à base de alumínio, o que lhe oferece alta resistência à temperatura e a agentes químicos. Eles possuem ainda uma grelha sobre a qual é depositado o material para ser incinerado. Essa grelha é produzida utilizando materiais que lhe conferem boa resistência ao calor e a agentes corrosivos.

Os incineradores também possuem sensores de temperatura para monitorar o processo e acompanhar todas as etapas da queima, evitando que se atinjam temperaturas acima de 1250°C; nas quais há um aumento no teor de óxido de nitrogênio dos gases exaustos do equipamento, além de lançar na atmosfera grande quantidade de metais pesados.

#### 4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – 1<sup>ª</sup>. FASE: PRÉ-ANÁLISE

A aplicação da abordagem desenvolvida iniciou com a definição do grupo de apoio na empresa. Através de uma reunião com o diretor da organização e os responsáveis

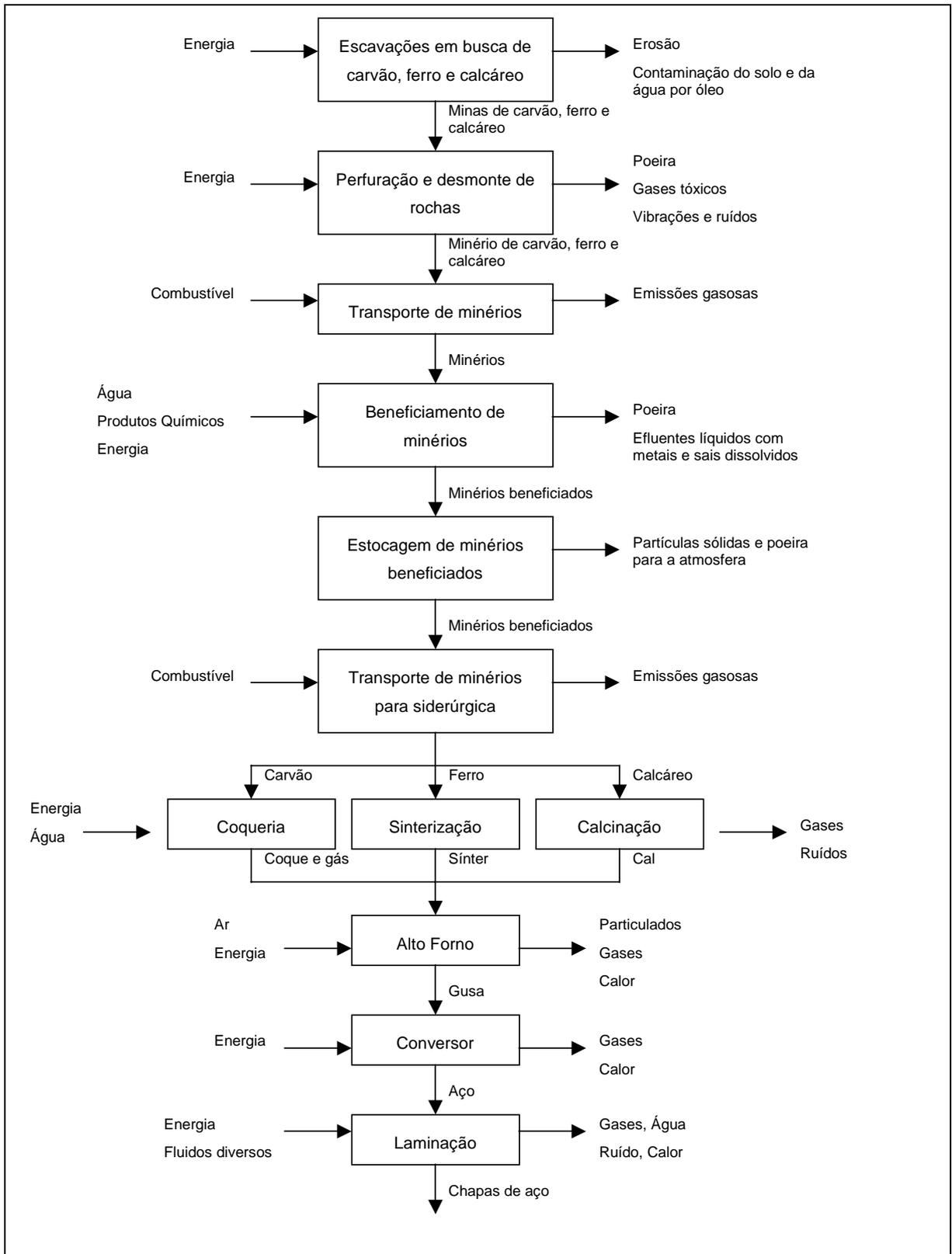
pelos setores de produção e administrativo, três pessoas foram escolhidas para compor a equipe: o gerente geral, o supervisor de produção e um encarregado de produção. Vale ressaltar que a empresa não possui um setor específico para tratar da área ambiental, por isso não há um responsável pelo meio ambiente no grupo formado.

Em um segundo momento, a equipe formada respondeu às perguntas do Questionário de Pré-Análise (QPA). Salienta-se que durante esta tarefa, à medida que o grupo apresentava dúvidas, elas eram esclarecidas. O Anexo B apresenta o QPA preenchido pela equipe de apoio.

A partir das respostas que constam no QPA, verificou-se que a empresa não possui Sistema de Gestão Ambiental implantado, embora tenha algumas certificações nessa área em função da qualidade ambiental de seus produtos. Além disso, constatou-se que ela não tem geração de efluentes e as emissões são basicamente decorrentes do processo de soldagem e de polimento da solda. No entanto, há produção de resíduos de chapas de aço que, segundo a norma NBR 10004, é um resíduo Classe III, ou seja, inerte.

Quanto à parte econômica, o questionário revelou que o sistema de custeio da organização está estruturado por Centro de Custos e que não há uma avaliação dos custos ambientais. Conseqüentemente, a empresa desconhece o percentual dos custos operacionais que são devidos à manutenção da qualidade ambiental. Por fim, observou-se a inexistência de indicadores ambientais específicos, embora o grupo de apoio tenha respondido que a empresa possui um conjunto de indicadores estabelecidos pelo PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais), o qual é obrigatório para todas as empresas desse setor, de acordo com a Norma Regulamentadora 9, criada pela Portaria nº 3214/78.

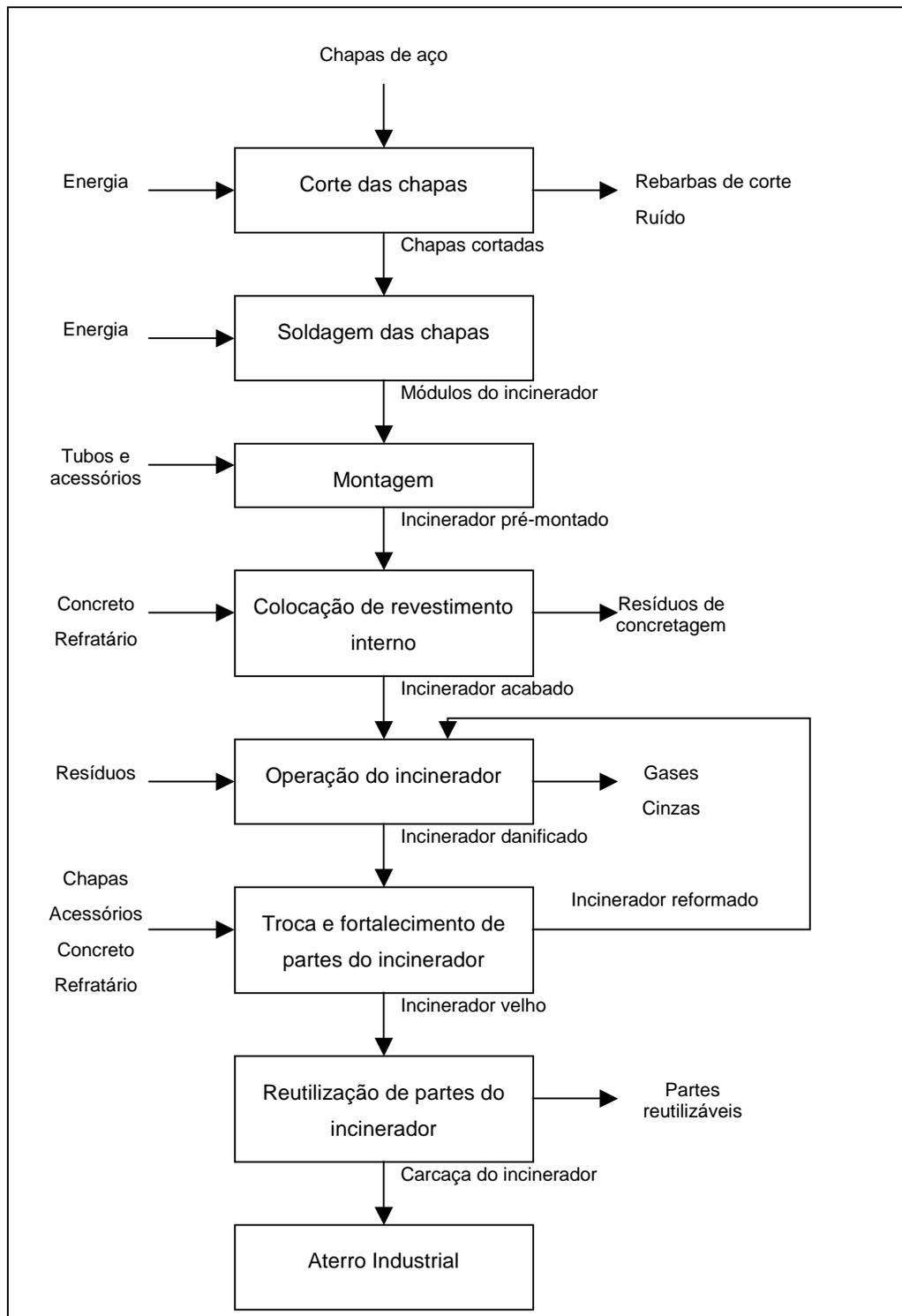
Para finalizar a Fase de Pré-Análise, procurou-se informações na literatura e, através de pesquisas de campo, que permitissem traçar o ciclo de vida do principal produto da empresa. A partir da resposta da questão 19 do QPA, concluiu-se que para a realização dessa etapa seria necessário conhecer o processo de produção de chapas de aço. Em Moura (2000) há uma descrição dos processos de mineração e fabricação do aço, a qual foi utilizada para traçar as partes iniciais do ciclo de vida do incinerador. As informações para compor as etapas finais deste ciclo foram obtidas a partir de pesquisa de campo. A Figura 51 apresenta os resultados dessa análise.



- continua -

**Figura 51:** Ciclo de vida do incinerador (Fontes: MOURA, 2000; Pesquisa de Campo)

- continuação -



**Figura 51:** Ciclo de vida do incinerador (continuação)

### 4.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – 2ª. FASE: ANÁLISE

#### 4.3.1 Etapa 1: Definição dos objetivos e abrangência do estudo

A aplicação da metodologia na empresa analisada teve como objetivo realizar uma avaliação econômico-ambiental do seu processo produtivo. Desejava-se identificar quais etapas do processo apresentavam maior potencial de impacto sobre o meio ambiente, o alcance desses impactos e os custos associados com a geração, o tratamento e a prevenção de problemas ambientais.

De acordo com esses objetivos e considerando-se o ciclo de vida do produto, ilustrado na Figura 51, a análise foi desenvolvida em todo o processo de manufatura do incinerador. Assim, a abrangência desse trabalho compreende as etapas entre o corte de chapas e a colocação de revestimento interno, conforme a referida figura.

Para finalizar a etapa inicial da Fase de Análise, foi escolhida uma unidade de incinerador do modelo B como referência para expressar os resultados. Isto corresponde a aproximadamente, 10 toneladas de produto. Salienta-se que todas essas definições foram estabelecidas em reunião com a equipe de apoio da empresa.

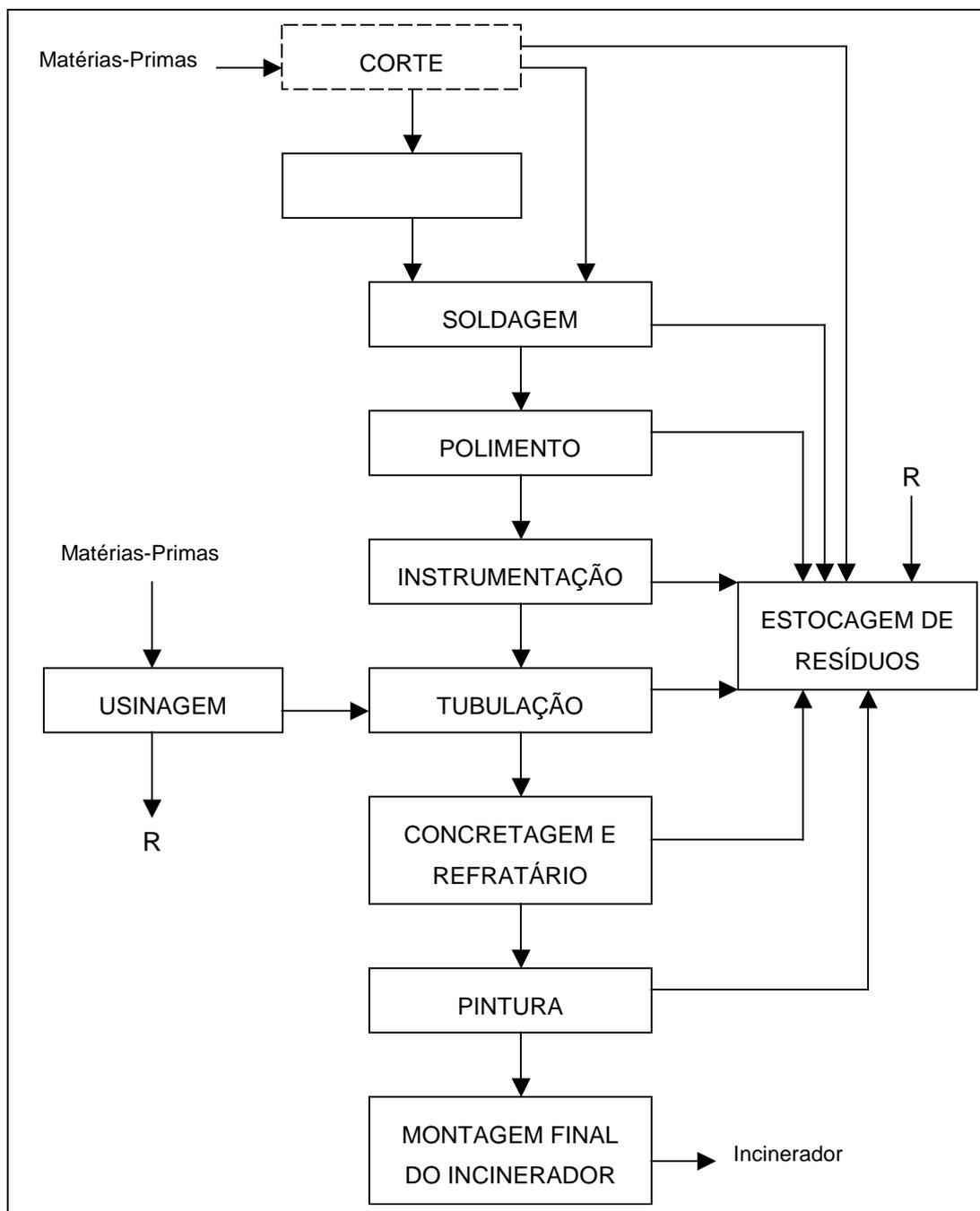
#### 4.3.2 Etapa 2: Mapeamento do processo

A partir de visitas à unidade produtiva e do acompanhamento do fluxo de produção, foi realizado o mapeamento do processo. A Figura 52 apresenta o diagrama de blocos obtido. Devido à simplicidade do processo produtivo, o grau de detalhamento durante esse mapeamento foi elevado, alcançando o nível dos equipamentos utilizados na manufatura do incinerador.

As matérias-primas necessárias ao processo são recebidas e armazenadas na empresa. A fim de diminuir os estoques de materiais, são comprados apenas aqueles que serão utilizados na manufatura do próximo incinerador a entrar na linha de produção.

A maior parte das chapas de aço, principal matéria-prima do produto, são demarcadas e enviadas para outra empresa na qual são cortadas e retornam para o processo produtivo. Por isso, o bloco referente a esta operação de processamento está pontilhado. Outras chapas, utilizadas como moldes, são cortadas no próprio processo. Para diferenciá-las,

nesse trabalho será citado o termo “corte externo”, referindo-se a primeira situação, e “corte interno”, referindo-se ao segundo caso.



**Figura 52:** Diagrama de blocos do processo produtivo analisado

Algumas chapas cortadas seguem para a calandragem, em que receberão o formato cilíndrico. As demais são enviadas diretamente para a soldagem. Durante esta

operação as chapas são soldadas para formar os módulos do incinerador, a saber: câmaras de alimentação; de secagem e gaseificação; da grelha, cinzeiro e mix e do ciclone. Esses módulos são levados a seguir para a operação de polimento, em que o excesso de solda é removido.

Já na operação de instrumentação, são adicionados os componentes dos sistemas eletro-eletrônico, de ar, combustível, ignição e pneumático. Após, na operação de tubulação, são colocados os tubos que fazem as ligações entre as câmaras do equipamento. Alguns desses tubos são produzidos na própria empresa, na operação denominada de usinagem. Também nesta última são fabricados alguns acessórios para o incinerador.

O equipamento pré-montado segue para a operação de concretagem e refratário, na qual os módulos recebem um revestimento interno para minimizar as perdas de calor para o meio ambiente durante o seu funcionamento. A seguir, o incinerador é encaminhado para a operação de pintura, em que recebe o acabamento final.

Por fim, ele passa para a operação de montagem final, na qual cada uma de suas partes são fixadas e o incinerador fica pronto para a expedição.

Salienta-se que em todas as operações de processamento há geração de resíduos, com exceção da calandragem e da montagem final. Esses rejeitos são estocados em uma área específica da empresa de onde são enviados para o aterro.

### **4.3.3 Etapa 3: Obtenção do inventário de dados físicos e econômicos**

Nesta etapa da abordagem proposta são obtidos os dados necessários para a realização da avaliação ambiental e econômica. Estas informações foram organizadas conforme a estrutura proposta no item 3.1.2.3 e são apresentadas nas Tabelas 5 a 10.

Na Tabela 5 estão relacionados as matérias-primas consumidas pela empresa para a produção do incinerador e as etapas em que são utilizados.

De maneira análoga, na Tabela 6 estão listados os insumos utilizados no processo produtivo. Como visto no capítulo anterior, a separação entre matérias-primas e insumos é importante para a adequada avaliação econômica.

**Tabela 5:** Lista de matérias-primas consumidas em cada operação de processamento

Materiais	Unidade de medida	Operações de Processamento									
		Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e refratário	Pintura	Montagem final
Água	L								750		
Amianto isolante térmico	kg								153		
Barras de ferro	kg			135			1010				
Cantoneiras	kg			238							
Chapas de aço	kg	3120									
Chapas para moldes	kg	116									
Componentes fixação	peça					400*		460*			800*
Comp. sist. combustível	peça					71					
Comp. sist. ignição	peça					13					
Comp. sist. pneumático	peça					46					
Comp. sist. eletro-eletrônico	peça					59					
Concreto isolante	kg								1400		
Concreto refratário	kg								2500		
Manta fibra cerâmica	m <sup>2</sup>								5		
Tinta A	kg									10	
Tinta B	kg									15	
Tinta C	kg									10	
Tubos	peça							21			
Válvulas	peça							7			
Vigas	kg			193,4							

\* valores estimados

**Tabela 6:** Lista de insumos utilizados em cada operação de processamento

Materiais	Unidade de medida	Operações de Processamento									
		Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e refratário	Pintura	Montagem final
Água	L								700		
Arame para solda	kg			3*							
Cilindro de CO <sub>2</sub>	kg			25							
Disco de corte	kg	2,4				3					
Disco de desbaste	kg				5						
Eletrodo	kg			20							
Estopa	kg									5	
Solvente	L									10	

\* valores estimados

A fim de simplificar a apresentação dos dados, as informações que deveriam constar nos quadros das Figuras 35 e 37 foram agrupadas, como pode ser verificado na Tabela 7. Nela há uma lista com os equipamentos utilizados no processo produtivo, sua potência, o tempo de utilização total durante a fabricação de um incinerador e a distribuição percentual de seu uso entre as operações de processamento. Com isto, foi possível calcular o consumo energético de cada operação de processamento.

**Tabela 7:** Lista com o tempo de utilização dos equipamentos e o consumo energético em cada operação de processamento

Equipamentos	Potência (kW)	Tempo de utilização total (h)	Percentual de utilização dos equipamentos											
			Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e refratário	Pintura	Montagem final		
Calandra	3,73	8		100										
Esmerilhadeira	2	16				80		20						
Furadeira de bancada	1,104	24						100						
Furadeira manual	0,7	18					80		20					
Máquina solda elétrica	1,21	15			80			20						
Máquina de solda mig	1,3	20			80			20						
Misturador	7,36	44								100				
Pistola de pintura	0,19	15									100			
Serra elétrica	0,745	10							100					
Tesoura elétrica	0,5	18	40				50		10					
Torno	13,2	24						100						
Consumo total de energia elétrica (kWh)			3,6	29,8	35,3	25,6	14,6	359	9,97	325	2,79	0		
Consumo de energia térmica (kWh)									174					
Consumo total de energia (kWh)			3,6	29,8	35,3	25,6	14,6	359	183,6	325	2,79	0		

Salienta-se que a análise do processo produtivo revelou ainda o consumo de acetileno e oxigênio industrial necessários para a operação de tubulação. Esses gases são utilizados na tarefa de oxi-corte dos tubos que são colocados no incinerador. A partir do consumo dessas substâncias, avaliou-se a quantidade de energia térmica necessária para a referida operação.

Após a identificação do consumo de materiais e de energia, foram analisados quais rejeitos eram produzidos pelo processo, nas condições normais e anormais de operação, conforme listados na Tabela 8.

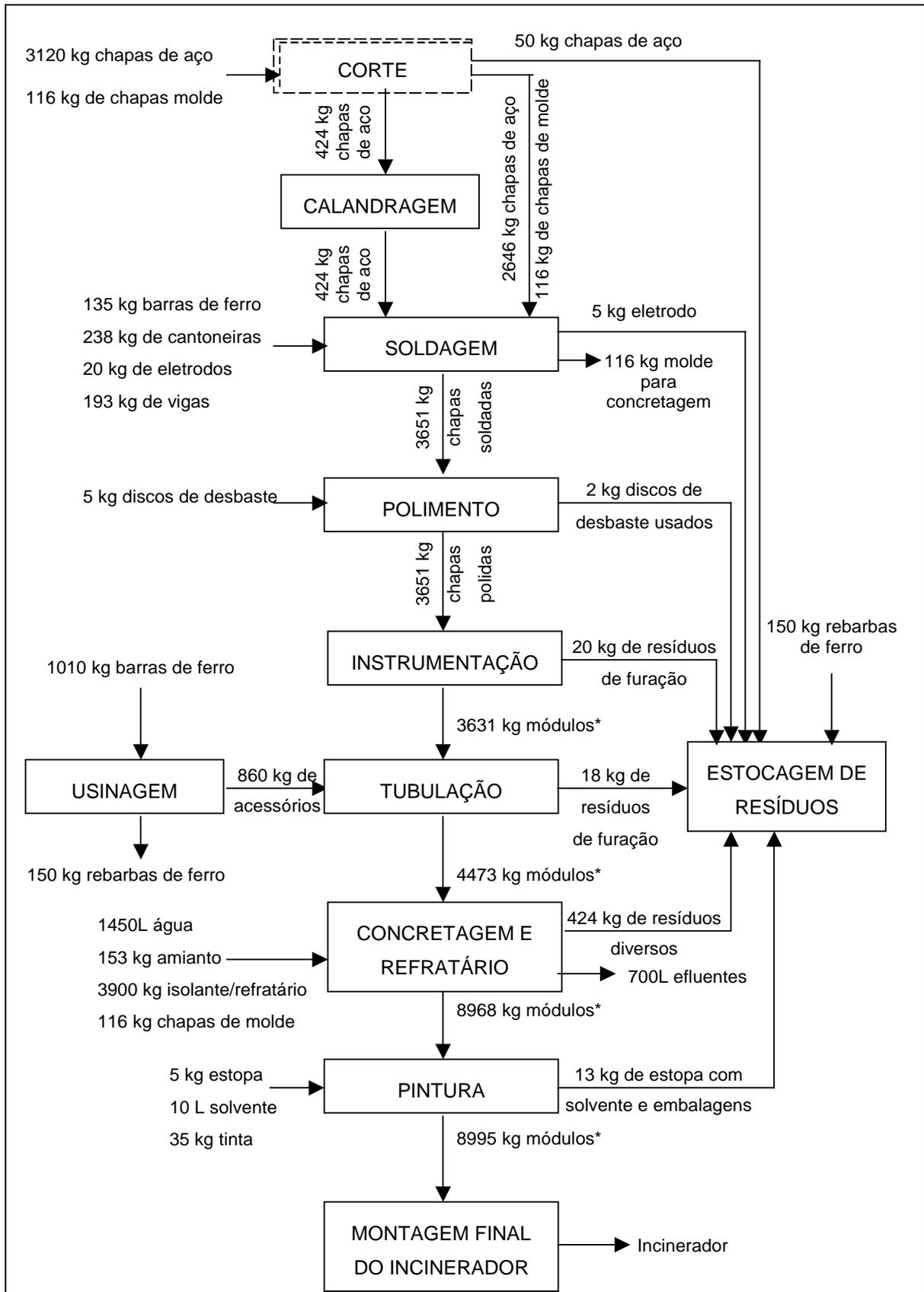
**Tabela 8:** Lista dos rejeitos gerados em cada operação de processamento

Rejeitos	Unidade de medida	Operações de processamento									
		Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e refratário	Pintura	Montagem final
Efluente de lavagem de equipamento	L								700		
Emissões de polimento <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>				NQ						
Emissões de hidrocarbonetos <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>									NQ	
Resíduo de concreto isolante	kg							70			
Resíduo de concreto refratário	kg							125			
Resíduos de corte de chapas	kg	50									
Resíduos de discos de corte	kg	1				1					
Resíduos de discos de desbaste	kg				2						
Resíduos de eletrodos	kg			5							
Resíduos de embalagens	un							52	8		
Resíduos de estopa	kg								5		
Resíduos de molde de aço	kg							116			
Resíduos de rebarba do torno	kg						150				
Resíduos de sobras de amianto	kg							61			
Resíduos sólidos de furação	kg					20		18			

Nota: NQ – não-quantificável

A partir dos dados das Tabelas 5, 6 e 8, foi possível estabelecer um fluxograma simplificado do processo. Para isso, partindo-se do diagrama de blocos apresentado na Figura 52, foram acrescentados os dados relativos ao consumo de materiais e geração de rejeitos, em cada operação de processamento. A Figura 53 ilustra o fluxograma simplificado do processo analisado. Este fluxograma é importante, pois permite identificar claramente o fluxo de materiais no processo.

<sup>3</sup> Não serão analisados nesse trabalho, pois essas intervenções não puderam ser quantificadas.



**Figura 53:** Fluxograma simplificado do processo produtivo analisado

No fluxograma da Figura 53, os valores marcados com (\*) não correspondem exatamente à massa do incinerador, pois não foi considerada a massa dos instrumentos instalados no equipamento.

O passo seguinte na obtenção do inventário foi a avaliação da mão-de-obra utilizada e da área ocupada em cada operação de processamento. Esses valores, apresentados na Tabela 9, serão importantes para a avaliação econômica. Deve-se salientar que os tempos de dedicação foram obtidos a partir de entrevistas com o grupo de apoio. Já os resultados da área de ocupação foram medidos na planta industrial.

**Tabela 9:** Mão-de-obra direta e percentual de área ocupada por cada operação de processamento

Operador	Operações de processamento									
	Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e refratário	Pintura	Montagem final
Mão-de-obra direta (horas-homem)	8	8	32	16	32	64	32	48	16	24
Percentual de área ocupada (%)	3	6	7,2	6	6	4,8	3	9	9	6

Cabe destacar que o tempo total de mão-de-obra (280 horas) não é exatamente igual ao tempo de produção do incinerador (240 horas), pois algumas operações podem ocorrer simultaneamente, como é o caso da usinagem, da calandragem e soldagem.

Observa-se que a área ocupada pela empresa para a fabricação do equipamento equivale a 60% da área total da fábrica. O restante é destinado ao estoque de matérias-primas, insumos e rejeitos e ao setor de administração de fábrica.

Para finalizar a etapa de obtenção de inventário foram identificados os custos das matérias-primas e insumos, energia e mão-de-obra, os quais estão listados na Tabela 10. Por motivos de sigilo industrial, os valores apresentados nessa tabela, apesar de refletirem a realidade, foram alterados proporcionalmente pela empresa.

**Tabela 10:** Custos unitários dos materiais, energia e mão-de-obra

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Custo Unitário (R\$/unidade)</b>
Água	m <sup>3</sup>	2,74
Amianto para isolamento térmico	kg	4,63
Arame para solda	kg	5,09
Barra de ferro	kg	4,2
Cantoneira	kg	3,1
Chapas de aço	kg	2,18
Chapas de molde	kg	2,83
Cilindro de dióxido de carbono	kg	1,76
Componentes de fixação	pç	0,08
Componentes de sistema combustível*	-	1.559,20
Componentes do sistema de ignição*	-	67,00
Componentes do sistema pneumático*	-	843,51
Componentes eletro-eletrônicos*	-	1.958,06
Concreto isolante	kg	0,18
Concreto refratário	kg	0,77
Disco de corte	kg	7,25
Disco de desbaste	kg	13,20
Eletrodo	kg	23,14
Estopa	kg	0,50
Manta de fibra cerâmica	m <sup>2</sup>	44,69
Solvente	L	3,00
Tinta A	kg	11,19
Tinta B	kg	19,00
Tinta C	kg	7,31
Tubos*	-	1.711,13
Válvulas*	-	399,39
Vigas	kg	2,00
<b>Energia</b>		
Energia elétrica	kWh	0,32
Energia térmica	kWh	0,77
<b>Mão-de-obra</b>		
Operador	horas	6,40**

\* Valor total do conjunto

\*\* Incluindo encargos trabalhistas

Ao final dessa etapa todos as informações necessárias para as avaliações ambiental e econômica foram obtidas. Assim, a etapa 4 da abordagem proposta pode ser realizada.

#### 4.3.4 Etapa 4: Avaliação Ambiental

Com base nas informações obtidas na etapa anterior (Tabela 8 e Figura 53), foi possível identificar as intervenções ambientais do processo produtivo analisado. A partir daí, seguiu-se a avaliação básica dos rejeitos, conforme proposto no capítulo anterior. A Figura 54 apresenta os resultados de tal avaliação.

A análise da avaliação básica dos rejeitos revela que a etapa de concretagem é a que gera mais intervenções ambientais. Outro aspecto importante é que os rejeitos são praticamente apenas resíduos e o solo é o meio que sofre maior impacto pelos rejeitos do processo. Além disso, somente os efluentes de limpeza do misturador são gerados em condição de operação anormal. Por fim, nota-se que essas intervenções, em sua maioria, são originadas das matérias-primas empregadas no processo.

Operação de processamento	Intervenção ambiental	Classificação geral	Destino	Meio impacto	Origem	Condição
Concretagem e Refratário	Efluentes de lavagem de equipamento	Efluente	Chão da fábrica	Solo	Limpeza	Anormal
Concretagem e Refratário	Resíduos de embalagem	Resíduo	Aterro	Solo	Matéria-prima	Normal
Concretagem e Refratário	Resíduos de concreto isolante	Resíduo	Aterro	Solo	Matéria-prima	Normal
Concretagem e Refratário	Resíduos de concreto refratário	Resíduo	Aterro	Solo	Matéria-prima	Normal
Concretagem e Refratário	Resíduos de molde de aço	Resíduo	Aterro	Solo	Insumo	Normal
Concretagem e Refratário	Resíduos de sobras de amianto	Resíduo	Aterro	Solo	Matéria-prima	Normal
Corte	Resíduos de corte de chapas	Resíduo	Aterro	Solo	Matéria-prima	Normal
Corte	Resíduos de disco de corte	Resíduo	Aterro	Solo	Insumo	Normal
Instrumentação	Resíduos de furação	Resíduo	Aterro	Solo	Produto intermediário	Normal
Instrumentação	Resíduos de disco de corte	Resíduo	Aterro	Solo	Insumo	Normal
Pintura	Resíduos de estopa	Resíduo	Aterro	Solo	Insumo	Normal
Pintura	Resíduos de embalagem	Resíduo	Aterro	Solo	Matéria-prima	Normal
Polimento	Resíduos de disco de desbaste	Resíduo	Aterro	Solo	Insumo	Normal
Soldagem	Resíduos de eletrodo	Resíduo	Aterro	Solo	Insumo	Normal
Usinagem	Resíduos de rebarba de ferro	Resíduo	Aterro	Solo	Matéria-prima	Normal
Tubulação	Resíduos de furação	Resíduo	Aterro	Solo	Produto intermediário	Normal

**Figura 54:** Quadro com a avaliação básica dos rejeitos do processo analisado

No entanto, essa análise não é suficiente para distinguir as intervenções ambientais que têm efeitos mais pronunciados sobre o meio ambiente, daqueles cujos efeitos podem ser desprezados. Para isso, é necessário o preenchimento da Matriz de Avaliação Ambiental. Conforme foi dito no capítulo 3, nessa matriz cada intervenção é avaliada quanto

ao alcance do impacto ambiental provocado e segundo os critérios de toxicidade, gravidade e frequência de ocorrência, conforme pode ser observado na Tabela 11. Salienta-se que a classificação quanto à gravidade e à frequência de ocorrência foi estabelecida em reunião com a equipe de apoio, mostrando-lhes os efeitos local, regional e global das intervenções e a sua magnitude.

Para avaliar a toxicidade dos rejeitos foi utilizada a Norma Brasileira NBR 10004, a qual é específica para resíduos sólidos. Além disso, essa norma estabelece uma classificação para os resíduos, permitindo direcionar corretamente o seu tratamento final. O Anexo C apresenta a sistemática de classificação de resíduos sólidos, segundo essa norma.

Como pode-se observar a partir dos resultados da Tabela 11, apenas quatro intervenções geradas no processo produtivo possuem efeito crítico (efluente de lavagem de equipamento, resíduo de concreto refratário, resíduo de molde de aço, resíduo de rebarba de torno). Outro aspecto relevante é que praticamente todas as intervenções provocam um aumento na quantidade de resíduos que a empresa tem que dispor. Conseqüentemente, observa-se uma elevação na quantidade de material nos aterros, o qual é um efeito regional dos impactos ambientais do processo produtivo. Além disso, algumas intervenções também contribuem para a proliferação de insetos e outros organismos patogênicos, que são vetores de doenças. Já em nível global, o principal efeito é o uso inadequado do solo. No entanto, em algumas situações observa-se também a contribuição para elevar o potencial de ecotoxicidade terrestre e a exaustão de recursos naturais não-renováveis (chapas de aço). Neste último caso, também pode-se citar o uso inadequado de recursos naturais, uma vez que eles são extraídos da natureza, gerando todos os impactos ambientais decorrentes da mineração e manufatura de chapas (ver Figura 51) e não têm uma finalidade nobre, que seria sua incorporação ao incinerador.

Ainda, a análise dos resultados da Tabela 11 mostra que os resíduos de sobras de amianto são perigosos (Classe I), segunda a mesma norma adotada. Por isso, embora esse resíduo tenha efeito significativo, ele será considerado na proposição de ações de melhoria. As demais intervenções ambientais pertencem às Classes II e III, ou seja, são resíduos não-inertes ou inertes.

**Tabela 11:** Matriz de avaliação ambiental das intervenções identificadas no processo analisado

<i>Operação do Processo</i>	<i>Intervenção Ambiental</i>	<b>Alcance do Impacto</b>			<i>Classe do resíduo</i>	<i>Condição de Geração</i>	<b>Matriz de Riscos Ambientais</b>			
		<i>Local</i>	<i>Regional</i>	<i>Global</i>			<i>Gravidade (G)</i>	<i>Frequência de ocorrência (FO)</i>	<i>Pontuação (P)</i>	<i>Efeito</i>
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Efluente de lavagem de equipamento</i>	<i>Geração de efluentes</i>	<i>Contaminação dos solos</i>	<i>Elevação do potencial de ecotoxicidade terrestre</i>	<i>NA</i>	<i>Anormal</i>	<i>III</i>	<i>A</i>	<i>10</i>	<i>Crítico</i>
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Resíduos de embalagens</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos da empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros, agem como vetores de doenças e proliferação de insetos e roedores</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>II</i>	<i>Normal</i>	<i>III</i>	<i>B</i>	<i>8</i>	<i>Significativo</i>
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Resíduos de concreto isolante</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos da empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>III</i>	<i>C</i>	<i>6</i>	<i>Significativo</i>
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Resíduos de concreto refratário</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos da empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>II</i>	<i>C</i>	<i>9</i>	<i>Crítico</i>
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Resíduos de molde de aço</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos da empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo e elevação do potencial de exaustão de recursos não-renováveis</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>III</i>	<i>A</i>	<i>10</i>	<i>Crítico</i>

continua ....

**Tabela 11:** Matriz de avaliação ambiental das intervenções identificadas no processo analisado (continuação)

<i>Operação do Processo</i>	<i>Intervenção Ambiental</i>	<b>Alcance do Impacto</b>			<i>Classe do resíduo</i>	<i>Condição de Geração</i>	<b>Matriz de Riscos Ambientais</b>			
		<i>Local</i>	<i>Regional</i>	<i>Global</i>			<i>Gravidade (G)</i>	<i>Freqüência de Ocorrência (FO)</i>	<i>Pontuação (P)</i>	<i>Efeito</i>
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Resíduos de sobras de amianto</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros e contaminação dos solos</i>	<i>Uso inadequado do solo e elevação do potencial de ecotoxicidade terrestre</i>	<i>I</i>	<i>Normal</i>	<i>III</i>	<i>C</i>	<i>6</i>	<i>Significativo</i>
<i>Corte</i>	<i>Resíduos de corte de chapas</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>III</i>	<i>C</i>	<i>6</i>	<i>Significativo</i>
<i>Corte</i>	<i>Resíduos de disco de corte</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>IV</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>Desprezível</i>
<i>Instrumentação</i>	<i>Resíduos sólidos de furação</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>IV</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>Desprezível</i>
<i>Instrumentação</i>	<i>Resíduos de disco de corte</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>IV</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>Desprezível</i>
<i>Pintura</i>	<i>Resíduos de estopa</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Contaminação dos solos</i>	<i>Uso inadequado do solo e elevação do potencial de ecotoxicidade terrestre</i>	<i>II</i>	<i>Normal</i>	<i>III</i>	<i>C</i>	<i>6</i>	<i>Significativo</i>

continua ...

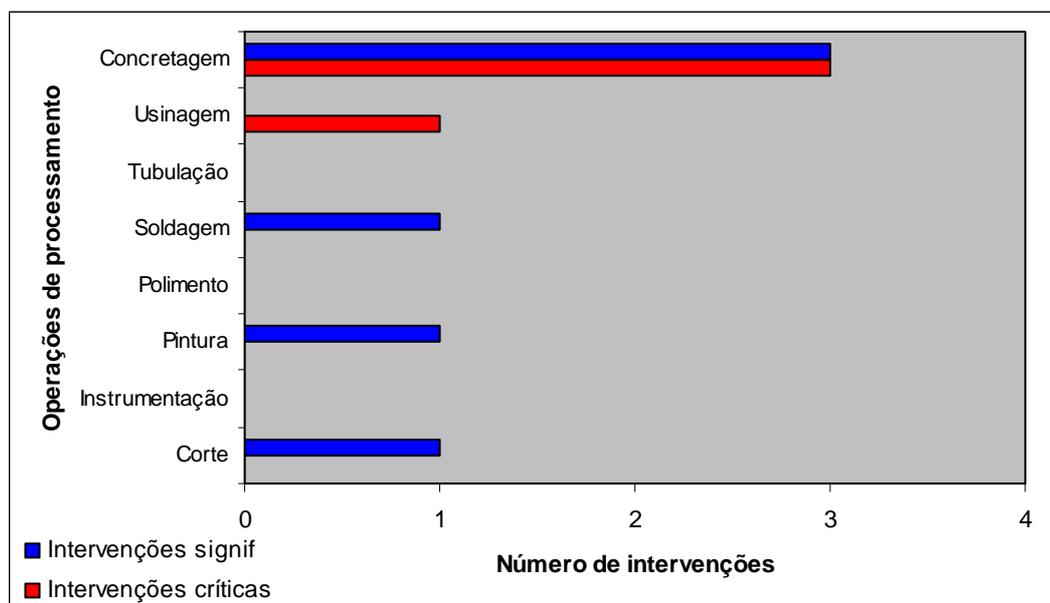
**Tabela 11:** Matriz de avaliação ambiental das intervenções identificadas no processo analisado (continuação)

<i>Operação do Processo</i>	<i>Intervenção Ambiental</i>	<b>Alcance do Impacto</b>			<i>Classe do resíduo</i>	<i>Condição de Geração</i>	<b>Matriz de Riscos Ambientais</b>			
		<i>Local</i>	<i>Regional</i>	<i>Global</i>			<i>Gravidade (G)</i>	<i>Frequência de Ocorrência (FO)</i>	<i>Pontuação (P)</i>	<i>Efeito</i>
<i>Pintura</i>	<i>Resíduos de embalagens</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros, age como vetores de doenças e proliferação de insetos e roedores</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>II</i>	<i>Normal</i>	<i>IV</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>Desprezível</i>
<i>Polimento</i>	<i>Resíduos de disco de desbaste</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>IV</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>Desprezível</i>
<i>Soldagem</i>	<i>Resíduos de eletrodo</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>III</i>	<i>B</i>	<i>8</i>	<i>Significativo</i>
<i>Usinagem</i>	<i>Resíduos de rebarba do torno</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>II</i>	<i>A</i>	<i>15</i>	<i>Crítico</i>
<i>Tubulação</i>	<i>Resíduos de furação</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos na empresa</i>	<i>Aumenta a quantidade de material nos aterros</i>	<i>Uso inadequado do solo</i>	<i>III</i>	<i>Normal</i>	<i>IV</i>	<i>C</i>	<i>3</i>	<i>Desprezível</i>

NA – Não-aplicável

NI – Não identificado

A partir dessas análises, as intervenções críticas e significativas foram comparadas com as operações de processamento, para identificar quais as operações do processo têm desempenho ambiental crítico. Isto é apresentado na Figura 55.



**Figura 55:** Identificação das operações críticas de processamento

De acordo com a Figura 55, a concretagem apresentou o maior número de intervenções com efeitos crítico e significativo. Ainda, a usinagem mostrou ser responsável por uma intervenção ambiental de efeito crítico. Desta forma, sob o ponto de vista ambiental, essas duas operações de processamento foram selecionadas para serem estudadas com maior detalhe na etapa seguinte.

O passo final da avaliação ambiental foi a investigação de condições de operação emergenciais. Para isso, em uma outra reunião com a equipe de apoio da empresa, foram identificadas situações de risco no processo que poderiam ter conseqüências negativas sobre o meio ambiente. A partir daí, ocorreu o preenchimento do formulário de FMEA Ambiental, conforme descrito no item 3.1.2.4 do capítulo anterior.

A Figura 56 apresenta o quadro com os resultados da avaliação de impactos ambientais das condições de operação emergencial identificados no processo em estudo.

FMEA AMBIENTAL		Data elaboração: 14/08/2003				Setor: Produção					
		Data próxima revisão: 14/08/2004				Processo: Manufatura de incinerador					
		Coordenador:									
Operação de processamento	Função da operação	Falhas Possíveis					Controles Atuais	Índices			
		Modo	Causa	Efeito Local	Efeito Regional	Efeito Global		IG	IPO	ID	IR
<i>Tubulação</i>	<i>Fazer a ligação entre as câmaras do incinerador</i>	<i>Vazamento nos cilindros de acetileno</i>	<i>Falha na válvula de regulação de fluxo de gás</i>	<i>Emissões de acetileno na fábrica, risco de incêndio ou explosão</i>	<i>Aumento da concentração de gases poluentes no ar</i>	<i>Elevação do potencial de toxicidade humana, ecotoxicidade e formação de oxidantes fotoquímicos</i>	<i>Não há</i>	3	2	7	42
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Revestir internamente o incinerador e minimizar as perdas térmicas</i>	<i>Excesso de água na preparação do concreto e do refratário</i>	<i>Erro na dosagem de água</i>	<i>Elevação do consumo de mistura de concreto e refratário para correção do erro. Haverá mais sobra de concreto e de refratário</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos a ser disposto no aterro</i>	<i>Elevação do potencial de ecotoxicidade Terrestre</i>	<i>Detecção visual</i>	2	3	5	30
<i>Concretagem e refratário</i>	<i>Revestir internamente o incinerador e minimizar as perdas térmicas</i>	<i>Qualidade da mistura ruim</i>	<i>Matéria-prima de má qualidade</i>	<i>Elevação do consumo de concreto e refratário. Haverá muito refratário a ser disposto no aterro.</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos a ser disposto no aterro</i>	<i>Elevação do potencial de ecotoxicidade terrestre</i>	<i>Não há</i>	4	3	9	108
<i>Corte</i>	<i>Adequar as chapas ao tamanho necessário para a fabricação dos módulos</i>	<i>Erro durante a operação de corte</i>	<i>Traçado incorreto das linhas de corte ou erro operacional</i>	<i>Embora haja um reaproveitamento de parte das chapas, algumas serão descartadas para o aterro, aumentando o volume de materiais a ser disposto.</i>	<i>Aumenta a quantidade de resíduos no aterro e eleva o uso inadequado do solo.</i>	<i>Contribui para a exaustão de recursos não-renováveis</i>	<i>Inspeção durante o processo de corte</i>	4	3	4	48

**Figura 56:** FMEA ambiental para o processo produtivo analisado em condições de riscos ambientais

Basicamente, verificou-se que poderia ocorrer vazamento nos cilindros de acetileno, o que provocaria riscos à saúde dos operários, ao meio ambiente e às instalações da empresa. Outra situação investigada foi o erro na dosagem de água, durante a preparação do concreto refratário e isolante. Nesse caso, aumentaria o consumo da mistura de concreto refratário e isolante para deixar a mistura dentro das especificações previstas na operação. Outra possível falha nessa operação de processamento foi a má qualidade da matéria-prima utilizada, o que acarretaria a perda de qualidade do produto e a necessidade de substituição desse revestimento em um período inferior ao prazo de validade do equipamento. Conseqüentemente, a empresa acabaria consumindo mais mistura para concreto refratário e isolante, além de dispor uma quantidade maior de resíduos dessa operação para o aterro.

Por fim, investigou-se ainda a possibilidade de erro durante o corte das chapas. Como essa atividade é terceirizada, sua ocorrência não é remota. Em virtude dessa falha, a empresa perderia grande parte das chapas de aço, elevando a quantidade de material a ser disposto no aterro e contribuindo para a exaustão de recursos não-renováveis, uma vez que novas placas seriam necessárias para a produção do incinerador, sendo que as placas danificadas não foram utilizadas para um fim nobre.

Com o preenchimento do FMEA Ambiental, foi constatado que nenhum dos modos de falha estudados apresentou índice de risco (IR) acima de 135, qualificando os riscos como de baixo efeito. Em conseqüência, durante a proposição de cenários de melhoria (3ª Fase – Pós-Análise) esse fatores serão desconsiderados.

A interpretação completa da análise ambiental será realizada após a avaliação econômica, na etapa 6 da metodologia, conforme proposto no Capítulo 3.

#### **4.3.5 Etapa 5: Avaliação Econômica**

A finalidade da avaliação econômica é mensurar os custos ambientais das operações de processamento, ou seja, o custo de geração e de tratamento e disposição dos rejeitos. Também pretende-se avaliar os gastos que a empresa possui com as atividades de prevenção de impactos ambientais, para ter um panorama de seu desempenho ambiental.

Inicialmente, foi mensurado o consumo de recursos pela empresa. Neste sentido, avaliaram-se os custos de matérias-primas, insumos, energia, mão-de-obra direta,

aluguel e impostos relacionados com as atividades produtivas. Para isso, foram utilizados os dados econômicos obtidos durante a realização da etapa 3 e listados na Tabela 10.

A seguir exemplifica-se o procedimento de cálculo adotado.

#### Chapas de aço

Consumo de material (kg) = 3120 (Tabela 5)

Custo unitário (R\$/kg) = 2,18 (Tabela 10)

Custo das chapas de aço (R\$) =  $3120 \times 2,18 = 6.801,60$

#### Aluguel

Valor mensal do aluguel do pavilhão industrial (R\$) = 2.800,00

#### Impostos

Valor anual dos impostos pagos (R\$) = 12.960,00

Valor dos impostos corrigidos para o período de produção do incinerador – 30 dias (R\$) =  $(30/360) \times 12.960 = 1.800,00$

O passo seguinte consistiu em repassar esses custos para as operações de processamento, utilizando direcionadores de recursos. No caso das matérias-primas e insumos, o direcionador utilizado foi o consumo desses materiais pelas operações de processamento, conforme listados nas Tabela 5 e 6. Já para a energia elétrica, como era conhecida a potência elétrica dos equipamentos e o seu tempo de uso, pôde-se determinar o consumo energético de cada operação de processamento, o qual serviu como direcionador desse recurso. Para a mão-de-obra, as horas trabalhadas em cada operação foram empregadas como direcionadores. Por fim, os valores de aluguel e impostos foram repassados para as atividades, segundo a área ocupada por elas (Tabela 9). Observa-se que neste trabalho, as operações de processamento correspondem às atividades dentro do método de custeio ABC.

A Tabela 12 apresenta a distribuição dos recursos consumidos pela área operacional entre as operações de processamento. Também são mostrados os custos totais de matérias-primas e insumos, os custos operacionais e o custo total de cada operação de processamento, obtidos a partir do emprego da equação (3). Observe que, embora os custos das matérias-primas tenham sido distribuídos entre as operações de processamento, eles pertencem a todo o processo e não podem ser atribuídos exclusivamente a uma operação.

**Tabela 12:** Custos das operações de processamento

	Recursos	Custo do recurso (R\$)	Direcionador	Operações de Processamento										
				Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e Refratário	Pintura	Montagem Final	
Matérias-Primas	Água	2,06	Direto	-	-							2,06		
	Amianto	708,39	Direto									708,39		
	Barras de ferro	4.809,00	Direto			567,00				4.242,00				
	Cantoneira	737,80	Direto			737,80								
	Chapas de aço	6.801,60	Direto	6.801,60										
	Chapas de molde	328,28	Direto	328,28										
	Comp. Fixação	132,80	Direto					32,00			36,80			64,00
	Comp. Sist. Combustível	1.559,20	Direto					1.559,20						
	Comp. Sist. Ignição	67,00	Direto					67,00						
	Comp. Sist. Pneumático	843,51	Direto					843,51						
	Comp. Eletro-eletrônico	1.958,06	Direto					1.958,06						
	Concreto isolante	252,00	Direto									252,00		
	Concreto refratário	1.925,00	Direto									1.925,00		
	Manta fibra cerâmica	223,45	Direto									223,45		
	Tinta A	111,90	Direto										111,90	
	Tinta B	285,00	Direto										285,00	
	Tinta C	73,10	Direto										73,10	
	Tubos	1.711,13	Direto								1.711,13			
	Válvulas	399,39	Direto								399,39			
	Vigas	386,80	Direto			386,80								

continua ...

**Tabela 12:** Custos das operações de processamento (continuação)

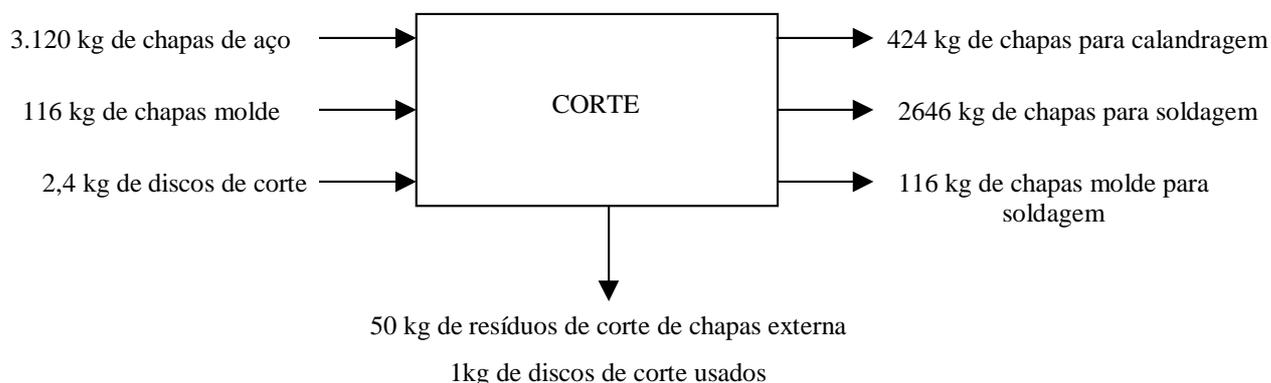
	Recursos	Custo do recurso (R\$)	Direcionador	Operações de Processamento									
				Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e Refratário	Pintura	Montagem Final
Insumos	Água	1,92									1,92		
	Arame solda	15,27	Direto			15,27							
	Cilindro de CO <sub>2</sub>	44,00	Direto			44,00							
	Disco de corte	39,15	Direto	17,40				21,75					
	Disco de desbaste	66,00	Direto				66,00						
	Eletrodo	462,80	Direto			462,80							
	Estopa	2,50	Direto								2,50		
	Solvente	30,00	Direto								30,00		
	Energia elétrica	257,58	Potência	1,15	9,54	11,30	8,19	1,41	114,73	3,19	103,92	0,89	
	Energia fóssil	133,672	Direto							133,67			
	Mão-de-obra direta	1.792,00	Horas	51,20	51,20	204,80	102,40	204,80	409,60	204,80	307,20	102,40	153,60
	Aluguel	2.800,00	Área	84,00	168,00	201,60	168,00	168,00	134,40	84,00	252,00	252,00	168,00
	Impostos	1.800,00	Área	54,00	108,00	129,60	108,00	108,00	86,40	54,00	162,00	162,00	108,00
	Custos de Matérias-Primas			7.129,88		1.691,60		4.459,77	4.242,00	2.147,32	3.110,90	470,00	64,00
	Custo de Insumos			17,40		522,07	66,00	21,75			1,92	32,50	
	Custos Operacionais			3.310,35	336,74	547,30	386,59	485,47	745,13	479,66	825,12	517,29	429,60
	Custo das Operações de Processamento			3.327,75	336,74	1.069,37	452,59	507,22	745,13	479,66	827,03	549,79	429,60

Deve-se salientar ainda que nos custos operacionais da operação de corte foi incluído o gasto que a empresa possui com a terceirização de parte dessa atividade (corte externo), o qual corresponde a R\$ 3.120,00. O restante dos custos operacionais que aparecem nessa atividade estão associados ao corte de chapas de molde, que ocorre dentro da empresa (corte interno).

Analisando as informações que constam na Tabela 12, verifica-se que a operação de soldagem é a que possui maior custo de materiais de consumo direto (insumos). Isto ocorre devido ao custo elevado dos eletrodos, material largamente utilizado nessa operação. Já a operação de corte é a que possui maior custo operacional, devido aos gastos relacionados à terceirização de parte dessa atividade. Finalmente, considerando o custo da operação de processamento como um todo, o corte continua sendo a operação com maior consumo de recursos nesse processo.

#### Avaliação dos Custos de Geração de Rejeitos

O passo seguinte na análise econômica foi a avaliação dos custos de geração de cada rejeito produzido pelo processo. Para isso, foi empregada a equação (4) e utilizado o fluxograma apresentado na Figura 53. A rotina de cálculo para cada operação de processamento é apresentada no Anexo D. A título de exemplificação, será considerada somente a operação de corte.



Custo da operação de corte interno (R\$) = 207,75

Custo da operação de corte externo (R\$) = 3.120,00

Quantidade de material que sai do corte interno (kg) = 117

Quantidade de material que sai do corte externo (kg) = 3120

Com base nessas informações e naquelas existentes na Tabela 12, avaliou-se o custo das chapas de molde que saem da operação de corte interno e dos resíduos de disco de corte, conforme apresentado na Tabela 13. Analogamente, pôde-se avaliar os custos das chapas que saem da operação de corte externo e que são enviadas para a calandragem e para a soldagem, assim como a parte dos custos associada aos resíduos de corte de chapas, também ilustrados na Tabela 13.

**Tabela 13:** Alocação dos custos da operação de corte interno e externo

	<b>Material</b>	<b>Custo de Matéria-prima</b>	<b>Parâmetro wi*</b>	<b>Custo Operacional</b>	<b>Custo de Geração</b>
Corte interno	Chapa molde	328,28	116/117	205,98	534,26
	Disco de corte	-	1/117	1,78	1,78
Corte externo	Chapa para calandragem	924,32	424/3120	424,00	1.348,32
	Chapa para soldagem	5.768,28	2646/3120	2.646,00	8.414,28
	Resíduo de corte	109,00	50/3120	50,00	159,00

\*Razão entre a massa do material e a massa total de material que sai da operação

Este procedimento de cálculo foi estendido para todas as demais intervenções ambientais. Os principais resultados obtidos são sintetizados na Tabela 14.

**Tabela 14:** Custos de geração de cada rejeito do processo

<b>Rejeito</b>	<b>Parcela relativa à perda de material</b>	<b>Parcela relativa aos custos operacionais</b>	<b>Custo de geração</b>
Efluente de lavagem de equipamento	-	57,36	57,36
Resíduos de embalagem de concretagem	27,29	4,26	31,55
Resíduo de concreto isolante	12,60	5,74	18,34
Resíduo de concreto refratário	96,25	10,24	106,49
Resíduo de molde de aço	567,14	9,51	576,64
Resíduo de sobras de amianto	283,36	5,02	288,37
Resíduo de corte de chapas	109,00	50,00	159,00
Resíduo de disco de corte usado no corte	-	1,78	1,78
Resíduos sólidos de furação da instrumentação	72,73	2,78	75,51
Resíduos de disco de corte usado na instrumentação	-	0,17	0,17
Resíduos de estopa	-	0,31	0,31
Resíduos de embalagem de pintura	122,50	0,49	122,99
Resíduo de disco de desbaste	-	0,27	0,27
Resíduos de eletrodo	-	1,42	1,42

Resíduos de rebarba de torno	630,00	110,66	740,66
Resíduos sólidos de furação na tubulação	90,06	1,92	91,98

Para avaliar os custos de geração relacionados com as operações de processamento, foi empregada a equação (5). Como se observa, neste caso os custos de geração relacionados com a perda de material não são considerados pois, conforme salientado anteriormente, as matérias-primas são consumidas pelo processo como um todo e não por uma operação específica do processo. A Tabela 15 apresenta a distribuição dos custos das operações de processamento entre os objetos de custos. Já a Tabela 16 consolida os custos de geração de cada operação de processamento.

**Tabela 15:** Distribuição dos custos das operações entre os objetos de custos

Operação	Custos das operações de processamento	Objetos de Custos		
		Resíduos	Efluentes	Produto Intermediário
Corte	3.327,75	51,78		3.275,97
Calandragem	336,74	-		336,74
Soldagem	1.069,37	1,42		1.067,95
Polimento	452,59	0,27		452,32
Instrumentação	507,22	2,94		504,28
Usinagem	745,13	110,66		634,47
Tubulação	479,66	1,92		477,74
Concretagem e refratário	827,03	34,76	57,36	734,91
Pintura	549,79	0,79		549,00
Montagem final	429,60	-		429,60

**Tabela 16:** Custos de geração dos rejeitos por operação de processamento

Operação de processamento	Custo de geração de rejeitos (R\$)	Percentual relativo (%)
Corte	51,78	19,8
Calandragem	-	-
Soldagem	1,42	0,54
Polimento	0,27	0,10
Instrumentação	2,94	1,12
Usinagem	110,66	42,25
Tubulação	1,92	0,73
Concretagem e refratário	92,12	35,17
Pintura	0,79	0,30

Montagem final	-	-
TOTAL	261,9	100

Os resultados da Tabela 16 mostram que a operação de usinagem é a que apresenta maior custo de geração de rejeitos, correspondente a 42,3% dos custos totais de geração de rejeitos no processo. Além disso, os custos das operações de processamento associados com a geração de rejeitos correspondem a 3% do custo total dessas operações.

#### Avaliação dos Custos de Tratamento e Disposição de Rejeitos:

O passo seguinte na avaliação econômica foi a mensuração dos custos de tratamento e disposição de rejeitos. Inicialmente, apurou-se os seguintes gastos envolvidos com essa atividade:

Taxa de transporte de rejeitos (R\$) = 84,00

Tempo de dedicação dos operadores para armazenagem de rejeitos (horas) = 5

Custo da mão-de-obra envolvida na atividade (R\$) = 32,00

Percentual da área destinada a armazenagem de resíduos = 16%

Parcela do aluguel relativo à área de disposição de rejeitos na empresa (R\$) = 448,00

Parcela dos impostos relativo à área de disposição de rejeitos na empresa (R\$) = 288,00

Total de gastos com tratamento e disposição de rejeitos (R\$) = 852,00

Após a avaliação do montante gasto com a armazenagem e disposição de rejeitos, ele foi distribuído entre as operações de processamento, proporcionalmente à quantidade de rejeitos produzidos por tais operações, conforme os direcionadores da Tabela 17.

Utilizando os direcionadores apresentados na Tabela 17, o gasto total com a armazenagem e disposição de rejeitos na empresa e a equação (6), obteve-se os valores de custos de tratamento e disposição por operação de processamento, apresentados na Tabela 18.

**Tabela 17:** Direcionadores dos custos de tratamento e disposição de rejeitos para as operações de processamento ( $y_{ij}$ )

Rejeitos	Operações de processamento									
	Corte	Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem e refratário	Pintura	Montagem final
Resíduo de concreto isolante								0,1022		
Resíduo de concreto refratário								0,1826		
Resíduos de corte de chapas	0,073									
Resíduos de discos de corte	0,0016				0,0018					
Resíduos de discos de desbaste				0,0032						
Resíduos de eletrodos			0,0073							
Resíduos de embalagens								0,0759	0,0117	
Resíduos de estopa									0,0073	
Resíduos de molde de aço								0,1694		
Resíduos de rebarba do torno						0,219				
Resíduos de sobras de amianto								0,0894		
Resíduos sólidos de furação					0,0292		0,0263			

**Tabela 18:** Custos de tratamento e disposição de rejeitos por operação de processamento

Operação	Custo de tratamento e disposição de rejeitos (R\$)	Percentual relativo (%)
Corte	63,55	7,46
Calandragem	-	
Soldagem	6,22	0,73
Polimento	2,74	0,32
Instrumentação	26,38	3,10
Usinagem	186,66	21,91
Tubulação	22,40	2,63
Concretagem e refratário	527,87	61,96
Pintura	16,18	1,90
Montagem final	-	
TOTAL	852,00	100

A partir dos resultados da Tabela 18, conclui-se que a operação de concretagem e refratário é responsável pela maior parte dos gastos de tratamento e disposição de rejeitos (62 %).

#### Avaliação dos Custos Ambientais das Operações de Processamento:

A partir das informações apresentadas nas Tabelas 16 e 18 e com o auxílio da equação (7) foi possível calcular os custos ambientais das operações de processamento, os quais constam na Tabela 19.

**Tabela 19:** Custos ambientais das operações de processamento

<b>Operação</b>	<b>Custo ambiental (R\$)</b>	<b>Percentual relativo (%)</b>
Corte	115,33	10,35
Calandragem	-	-
Soldagem	7,64	0,69
Polimento	3,01	0,27
Instrumentação	29,32	2,63
Usinagem	297,32	26,70
Tubulação	24,32	2,18
Concretagem e refratário	619,99	55,66
Pintura	16,97	1,52
Montagem final	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.113,90</b>	<b>100</b>

A análise dos resultados apresentados nessa tabela revela que os custos ambientais das operações de processamento correspondem a R\$ 1.113,90. Ainda, a maior parcela desses custos (55,7%) deve-se à operação de concretagem e refratário. Isto já era esperado, pois essa operação havia apresentado o maior custo de tratamento e disposição de rejeitos e foi a segunda operação com maior custo de geração.

#### Avaliação dos Custos das Atividades de Prevenção:

Para finalizar a avaliação econômica, juntamente com a equipe de apoio foram estimados os gastos com as atividades de prevenção de problemas ambientais. Após entrevista com esse grupo, apurou-se que a empresa oferece um treinamento semanal aos funcionários. Nele, além de questões ambientais, são tratados assuntos relacionados com Qualidade, Saúde

e Segurança. Assim, os custos de atividades de prevenção na organização analisada puderam ser estimados a partir das seguintes informações:

Tempo de treinamento mensal (horas) = 10

Número de funcionários envolvidos = 6

Custo da mão-de-obra (R\$/homem/h) = 6,40

Gastos com infra-estrutura e materiais (R\$) = 80,00

Portanto, o custo de prevenção (*CPV*) é composto de duas parcelas: os gastos com infra-estrutura e materiais e o tempo de dedicação dos operadores para essa atividade.

$$CPV = 10 \times 6 \times 6,40 + 80,00 = 464,00$$

#### Avaliação dos Custos Ambientais do Processo

Finalmente, o custo ambiental do processo produtivo (*CA*) relacionados à produção de um incinerador, conforme a equação (8), é:

$$CA = 1.113,90 + 464,00 = 1.577,90$$

A comparação entre os custos de prevenção e os custos ambientais do processo mostra que eles representam apenas 29,41% dos custos ambientais. Dessa forma, a organização analisada apresenta um perfil ambiental reativo.

Uma interpretação mais completa dos resultados da avaliação econômica, assim como aqueles obtidos durante a avaliação ambiental, são apresentados na etapa 6 da metodologia.

#### 4.3.6 Etapa 6: Interpretação dos Resultados

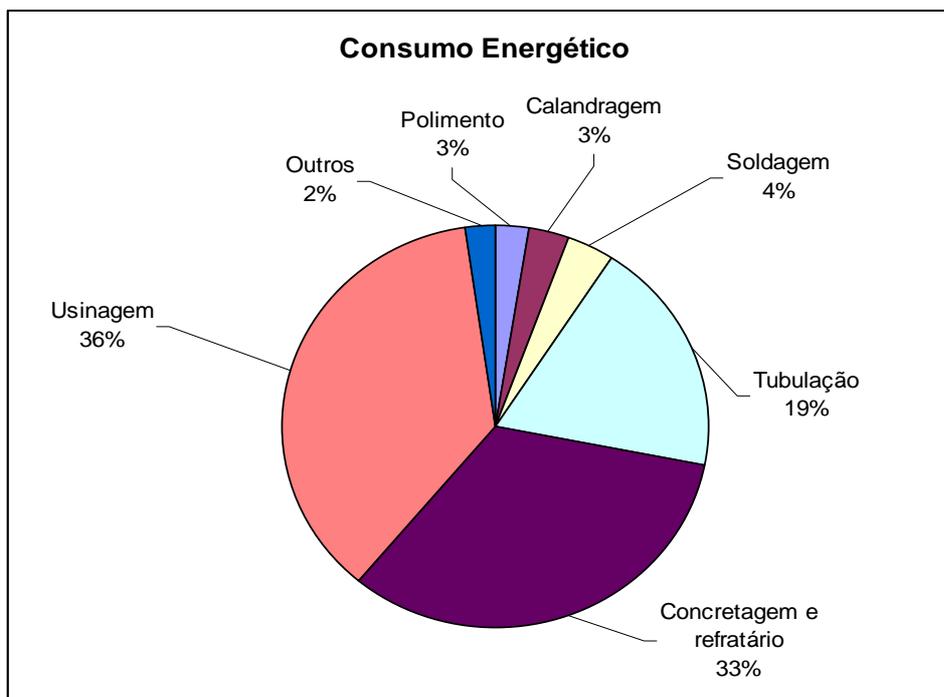
Neste item são retomadas as principais conclusões obtidas durante as análises anteriores. Além disso, pretende-se fornecer interpretações mais integradas dos resultados, visto que agora já se dispõe das avaliações ambiental e econômica completas.

As primeiras interpretações visam comparar as respostas dadas pelo grupo de apoio ao Questionário de Pré-Análise (QPA) com as observações realizadas durante a condução do estudo. Nesse aspecto, dois fatores devem ser destacados: o desconhecimento da geração de efluente no processo (questão 30) e a existência de resíduos perigosos (questão 27). No primeiro caso, essa atitude se justifica pela pequena quantidade de efluente gerado ao longo da produção de um incinerador e por não ser uma geração contínua. Já no que se refere à periculosidade dos resíduos, pode-se afirmar que isso ocorre devido à inexistência de um acompanhamento mais detalhado dos rejeitos produzidos e pela falta de padronização.

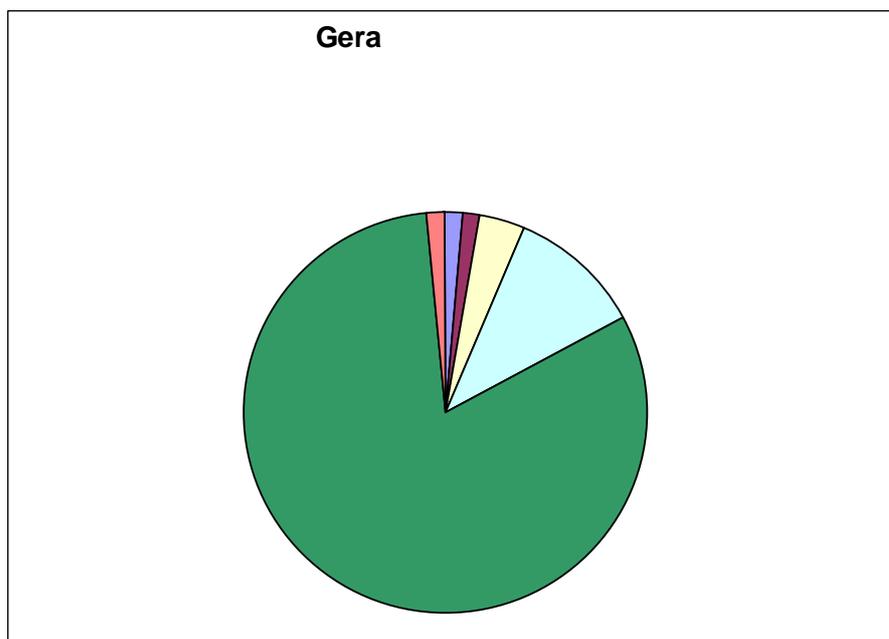
No que diz respeito ao mapeamento do processo, alguns comentários são necessários. Ao final da etapa de coleta de dados verificou-se que algumas operações de processamento deveriam ter sido mais detalhadas durante aquela etapa, pois apresentaram um intenso fluxo de materiais consumidos e rejeitos produzidos. Isso pode ser exemplificado com a operação de concretagem e refratário. Por outro lado, em outras operações o nível de detalhamento foi elevado, pois praticamente não interferiram nas análises realizadas. A calandragem e a montagem final são exemplos dessa situação. Nesse caso, seria recomendável agrupar tais operações com aquelas precedentes ou posteriores, simplificando assim o fluxograma de processo proposto.

Durante a realização da coleta de dados na etapa 3 da metodologia, constatou-se que as operações de corte e de usinagem são responsáveis pela maior quantidade de materiais consumidos. Já as observações do consumo energético revelaram que as operações de usinagem, de concretagem e refratário e de tubulação são responsáveis por mais de 80% do consumo total desse recurso, como está apresentado no gráfico da Figura 57. É importante destacar que, embora a operação de tubulação tenha sido a terceira maior consumidora de energia, é a única a utilizar energia liberada pela queima de combustível. Além disso, essa fonte de energia é responsável por mais de 90% da energia consumida nessa operação.

Durante a etapa de obtenção de inventário também foi possível identificar que a operação de concretagem e refratário é responsável pela geração de mais de 80% dos resíduos produzidos no processo analisado, como se conclui a partir do gráfico da Figura 58.



**Figura 57:** Percentual de consumo energético em cada operação de processamento



**Figura 58:** Percentual de geração de rejeitos de cada operação de processamento

Já na etapa de análise ambiental, a avaliação básica dos resíduos (Figura 54), foram identificadas 16 intervenções ambientais, sendo que apenas uma gerada em condições anormais de processamento. Além disso, observou-se que essas intervenções são praticamente só resíduos sólidos e que, em sua maioria, originam-se das matérias-primas utilizadas no processo. Também verificou-se que o solo é o elemento do meio ambiente mais impactado por tais intervenções.

Posteriormente, com o preenchimento da Matriz de Avaliação Ambiental (Tabela 11) ficou evidente que apenas 4 intervenções tinham efeito crítico sobre o meio ambiente, a saber: efluente de lavagem de equipamento, resíduos de concreto refratário, resíduos de molde de aço e resíduos de rebarba do torno. Também constatou-se que, de uma maneira geral, as intervenções provocam um aumento na quantidade de resíduos que a empresa precisa dispor (efeito local), que por sua vez eleva a quantidade de materiais nos aterros (efeito regional). Em nível global, seu principal efeito é o uso inadequado do solo. Considerando-se o aspecto periculosidade, a classificação dos resíduos segundo a Norma NBR 10004 permitiu observar que apenas uma das intervenções (resíduos de sobra de amianto) é um resíduo perigoso. Por outro lado, os resíduos provenientes de embalagens da pintura, de discos de corte e de desbaste e resíduos de furação têm efeitos desprezíveis sobre o meio ambiente.

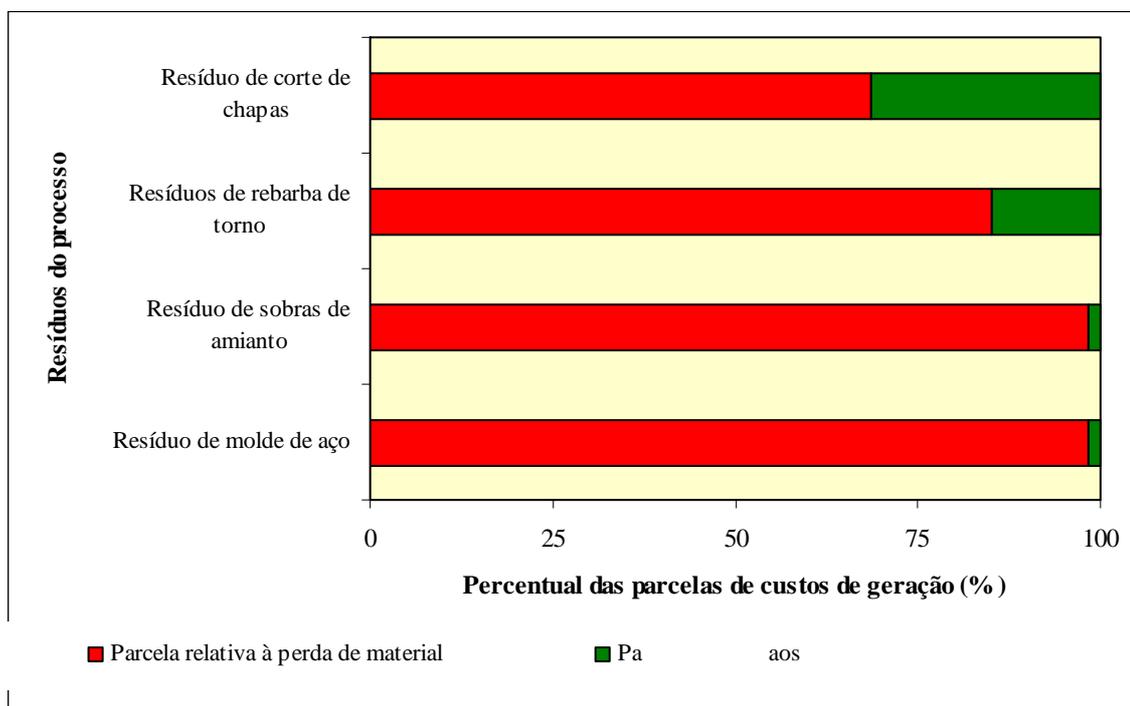
Quando as intervenções críticas foram analisadas em conjunto com as operações de processamento, constatou-se que a etapa de concretagem e refratário era responsável por 3 intervenções críticas. A outra intervenção crítica é gerada na operação de usinagem de peças.

Para finalizar a análise ambiental, foram avaliadas as conseqüências ambientais das operações de emergência. Para isso, foram investigados 4 modos de falha através do FMEA Ambiental: vazamento nos cilindros de acetileno, excesso de água na preparação de concreto e refratário, má qualidade da mistura de concreto e de refratário e erro durante a operação de corte de chapas. No entanto, nenhum dos modos de falha apresentou Índice de Risco (IR) acima de 135, o que os caracteriza como riscos de baixo efeito. O modo de falha que mais se aproximou do limite de risco moderado foi a má qualidade da mistura de concreto

e de refratário, pois seu índice de detecção (ID) era elevado. Assim, os efeitos ambientais desse tipo de operação podem ser considerados desprezíveis para o processo analisado e não serão investigados na proposição de cenários de melhoria.

Durante a avaliação econômica constatou-se que o corte de chapas apresenta o maior custo operacional dentre as operações de processamento da empresa, respondendo por 38% do montante. Conforme foi visto, isto se deve aos gastos com terceirização de parte dessa atividade.

Já na avaliação dos custos de geração, a análise comparativa entre as intervenções ambientais identificadas no processo mostrou que os resíduos de rebarba de torno são responsáveis por 33% do total dessa parcela de custos. Também foi possível verificar que de uma maneira geral, a parcela relativa à perda de material é maior do que aquela relativa aos custos operacionais. Na Figura 59 tal observação torna-se mais evidente.

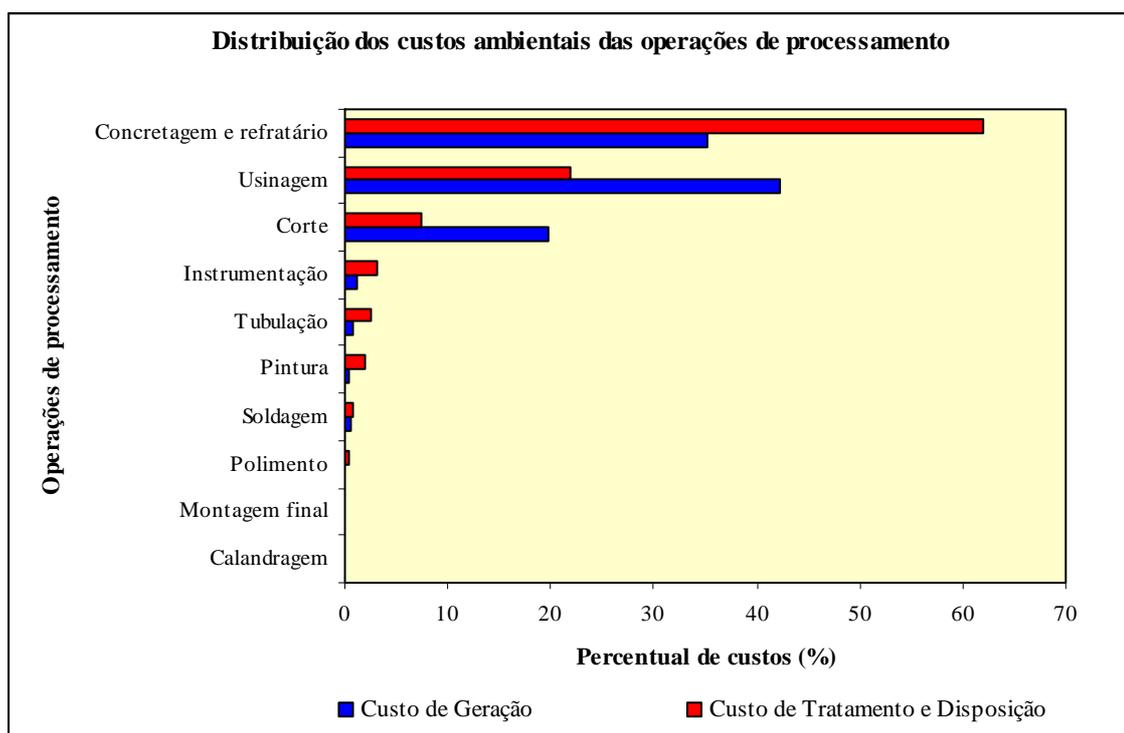


**Figura 59:** Parcelas dos custos de geração para os principais resíduos do processo, sob o aspecto econômico

Quando os custos de geração são analisados do ponto de vista de operação de processamento, os resultados indicam que a usinagem é a operação com desempenho mais crítico, pois é responsável por aproximadamente 43% custos de geração de rejeitos relativos a gastos operacionais.

Por sua vez, a avaliação dos custos de tratamento e disposição de rejeitos revelou que a operação de concretagem e refratário é a que contribui preponderantemente para essa parcela de custos, sendo responsável por 62% desse montante. A análise das parcelas que compõem os custos de tratamento e disposição de rejeitos revela que a área ocupada por eles na empresa é o fator responsável pela maior parte desses custos.

Para facilitar a comparação entre os custos de geração, os custos de tratamento e disposição de rejeitos e as operações de processamento, a Figura 60 sintetiza os principais resultados obtidos na avaliação econômica.

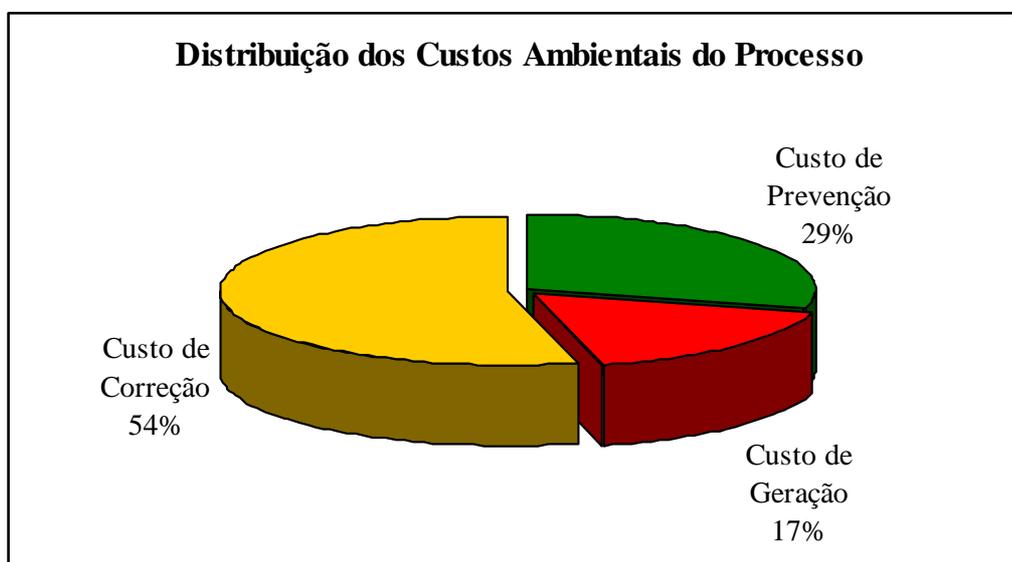


**Figura 60:** Distribuição dos custos de geração e de correção entre as operações do processo

Por fim, a comparação entre os custos de geração, de correção (tratamento e disposição) e de prevenção, conforme ilustrado no gráfico da Figura 61, permite concluir que:

a) os custos de correção são maiores do que os custos de prevenção, logo a empresa possui um comportamento reativo frente às questões ambientais, pois age predominantemente na correção dos problemas ambientais do que na sua prevenção;

b) os custos de geração correspondem a menor parcela dos custos ambientais do processo analisado, pois nessa comparação não foi considerada a parcela relativa à perda de materiais. Caso isso ocorresse, essa parcela de custos seria superior às outras duas.



**Figura 61:** Percentual de custos de geração, correção e prevenção no processo analisado

Ainda é necessário salientar que os custos ambientais desse processo, incluindo as perdas de materiais, representam 11% dos recursos totais consumidos para a produção do incinerador em estudo.

A análise em conjunto dos resultados da avaliação ambiental e econômica torna evidente que a operação de concretagem e refratário deve ser objeto de ações de melhoria. Isto porque na avaliação ambiental ela apresentou 3 intervenções cujo efeito foi classificado como crítico e na avaliação econômica apresentou uma parcela significativa dos custos de geração e a maior parcela dos custos de tratamento e disposição. A Tabela 20

apresenta o cruzamento das informações ambientais e econômicas para todas as intervenções ambientais do processo analisado.

A interpretação das informações apresentadas na Tabela 20 revela que as intervenções com efeito ambiental crítico são responsáveis por 65% dos custos de geração de rejeitos e 57% dos custos de correção (tratamento e disposição de resíduos) e, conseqüentemente, 63% dos custos ambientais das operações de processamento. A intervenção destacada em vermelho corresponde a um resíduo Classe I, conforme a avaliação ambiental.

**Tabela 20:** Sumário dos resultados da avaliação ambiental e econômica

Operação	Intervenção Ambiental	Efeito	Custo de Geração (R\$)	Custo de Correção (R\$)	Custo Ambiental Operacional (R\$)	% do custo de geração	% do custo de correção	% custo ambiental
Concretagem e refratário	Efluente de lavagem de equipamento	Crítico	57,36	-	57,36	2,52	0,00	1,84
	Resíduos de embalagem	Significativo	31,55	64,71	96,26	1,39	7,59	3,08
	Resíduo de concreto isolante	Significativo	18,34	87,11	105,44	0,81	10,22	3,37
	Resíduo de concreto refratário	Crítico	106,49	155,55	262,04	4,69	18,26	8,39
	Resíduo de molde de aço	Crítico	576,64	144,35	720,99	25,37	16,97	23,07
	Resíduo de sobras de amianto	Significativo	288,37	76,16	364,53	12,69	8,94	11,67
Corte	Resíduo de corte de chapas	Significativo	159,00	62,22	221,22	7,00	7,30	7,08
	Resíduo de disco de corte	Desprezível	1,78	1,33	3,11	0,08	0,16	0,10
Instrumentação	Resíduos sólidos de furação	Desprezível	75,51	24,89	100,40	3,32	2,92	3,21
	Resíduos de disco de corte	Desprezível	0,17	1,49	1,66	0,01	0,18	0,05
Pintura	Resíduos de estopa	Significativo	0,31	6,22	6,53	0,01	0,73	0,21
	Resíduos de embalagem	Desprezível	122,99	9,96	132,94	5,41	1,17	4,25
Polimento	Resíduo de disco de desgaste	Desprezível	0,27	2,74	3,01	0,01	0,32	0,10
Soldagem	Resíduos de eletrodo	Significativo	1,42	6,22	7,64	0,06	0,73	0,24

Usinagem	Resíduos de rebarba de torno	Crítico	740,66	186,66	927,32	32,59	21,91	29,68
Tubulação	Resíduos sólidos de furação	Desprezível	91,98	22,40	114,38	4,05	2,63	3,66

Com esses resultados, conclui-se que os objetivos estabelecidos inicialmente no estudo foram alcançados com o emprego da abordagem proposta, ou seja, identificou-se qual operação de processamento tem o pior desempenho ambiental e econômico, além de o estudo ter permitido caracterizar os custos ambientais relacionados com a produção de um incinerador de médio porte.

Para finalizar o emprego da metodologia desenvolvida, na fase de Pós-Análise serão gerados cenários de melhoria a partir dos quais é possível propor um conjunto de ações que permitam minimizar os impactos ambientais gerados por esse processo e os custos ambientais associados.

#### 4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – 3ª. FASE: PÓS-ANÁLISE

A geração de cenários de melhorias, apresentada neste item, tem como objeto de análise as intervenções cujos efeitos ambientais foram críticos e apresentaram relevante contribuição para os custos ambientais do processo. Tais intervenções estão destacadas na Tabela 20.

##### 4.4.1 Geração de Cenários – Caso I: Redução de resíduos de concreto refratário

Neste cenário foi investigado como a redução na quantidade de concreto refratário influencia o desempenho econômico-ambiental do processo. A Tabela 21 sintetiza os resultados das simulações realizadas.

**Tabela 21:** Resultados das simulações de redução de resíduos de concreto refratário

% Redução	Desempenho Ambiental				Desempenho Econômico		
	G	FO	P	Efeito	Custo de geração (R\$)	Custo de correção (R\$)	Economia por incinerador (R\$)

20	II	C	9	<i>Crítico</i>	85,21	129,16	47,67
40	II	C	9	<i>Crítico</i>	63,93	100,68	97,43
60	III	C	6	<i>Significativo</i>	42,63	69,87	149,54
80	III	D	4	<i>Reduzido</i>	21,32	36,43	204,29

Observa-se que apenas com uma redução de 60% o efeito ambiental da geração de resíduos de concreto refratário deixar de ser crítico. Por outro lado, a economia obtida nos custos de geração e de correção chega a R\$ 150,00 por incinerador para esse percentual de redução.

#### 4.4.2 Geração de Cenários – Caso II: Redução de resíduos de molde de aço

Os resíduos de molde de aço são utilizados no processo durante o revestimento interno dos módulos do incinerador. Serve como um anteparo para o concreto refratário e isolante. Quando o concreto está firme, esses moldes são retirados. Assim, neste cenário, foi investigado o desempenho econômico-ambiental do processo quando parte dessas chapas são reaproveitadas em outras operações de concretagem e refratário. Os resultados são apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22:** Resultados das simulações de redução de resíduos de chapa molde

% Redução	Desempenho Ambiental				Desempenho Econômico		
	G	FO	P	Efeito	Custo de geração (R\$)	Custo de correção (R\$)	Economia por incinerador (R\$)
25	III	B	8	<i>Significativo</i>	492,22	113,05	115,72
50	III	C	6	<i>Significativo</i>	407,78	78,85	234,36
75	IV	C	3	<i>Desprezível</i>	323,33	41,34	356,32

Para este resíduo, verifica-se que uma pequena redução em sua quantidade já é suficiente para que seu efeito deixe de ser crítico. No entanto, considerando o aspecto econômico e a complexidade envolvida para o reaproveitamento dessas chapas, a situação indicada é a redução em 50%, pois as economias provenientes passam a ser consideráveis.

#### 4.4.3 Geração de Cenários – Caso III: Redução na quantidade de efluente de lavagem de equipamento

O único efluente gerado no processo analisado é resultado da lavagem do equipamento responsável pelo preparo e mistura de concreto isolante e de refratário. Neste cenário, investigou-se o desempenho do sistema quando há redução na quantidade gerada desse efluente. Os resultados são apresentados na Tabela 23.

**Tabela 23:** Resultados das simulações de redução da geração de efluentes líquidos

% Redução	Desempenho Ambiental				Desempenho Econômico		
	G	FO	P	Efeito	Custo de geração (R\$)	Custo de correção (R\$)	Economia por incinerador (R\$)
20	III	A	10	Crítico	46,65	-	10,71
40	III	B	8	Significativo	35,47	-	21,89
60	IV	C	3	Desprezível	23,98	-	33,38
80	IV	C	3	Desprezível	12,16	-	45,20

Como pode ser verificado nessa tabela, a redução de 20% na quantidade de efluente gerado não é suficiente para que seu efeito ambiental deixe de ser crítico. Somente a partir de 40% de redução, o efeito se reduz a significativo. Por outro lado, as economias observadas com essa redução são muito inferiores às aquelas observadas nos cenários anteriores.

#### 4.4.4 Geração de Cenários – Caso IV: Tratamento adequado dos resíduos de sobra de amianto

Embora não tenha apresentado efeito ambiental crítico durante o preenchimento da Matriz de Avaliação Ambiental, essa intervenção foi selecionada por ser um resíduo Classe I, de acordo com a Norma NBR 10004. Nesse sentido, a redução na geração desse resíduo não é suficiente para que sejam estabelecidas ações de melhoria. Isso só será possível através da adequação do processo de tratamento e disposição desse resíduo. A ação recomendável é a substituição dessa matéria-prima no processo produtivo. Caso isso não seja possível, ele deve ser segregado e enviado para um aterro industrial de resíduos Classe I. Na primeira hipótese não pode ser estimado se haverá um aumento ou diminuição dos custos de geração e tratamento, uma vez que não se conhece a nova matéria-prima que irá substituir

o amianto, nem tampouco os seus resíduos. Já na segunda hipótese, certamente haverá um aumento com os gastos de disposição final de resíduos, além de permanecer os custos de geração.

#### 4.4.5 Geração de Cenários – Caso V: Redução na quantidade de resíduos de rebarba do torno

No processo de usinagem são utilizadas barras de ferro para produzir tubos e outros acessórios necessários ao incinerador. Os resíduos gerados nessa operação devem-se basicamente ao processo de torneamento das barras de ferro. Neste cenário, investigam-se os comportamentos ambiental e econômico da operação frente a reduções na quantidade de rebarba de torno produzida, como pode ser verificado na Tabela 24.

**Tabela 24:** Resultados das simulações de redução da geração de rebarba do torno

% Redução	Desempenho Ambiental				Desempenho Econômico		
	G	F	P	Efeito	Custo de geração (R\$)	Custo de correção (R\$)	Economia por incinerador (R\$)
20	III	A	10	Crítico	595,24	156,17	175,91
40	III	A	10	Crítico	448,59	122,75	355,98
60	III	B	8	Significativo	300,60	85,96	540,76
80	IV	C	3	Desprezível	151,12	45,27	730,94

Neste caso, observa-se que apenas a partir de uma redução de 60% na quantidade de resíduo produzido o efeito ambiental deixa de ser crítico, assumindo a categoria de significativo. Quanto à economia observada com a redução na quantidade de rebarba de torno, nota-se que a modificação na quantidade desse resíduo é a que traz maiores retornos para a empresa. Isto ocorre porque o seu custo de geração é muito elevado. Como se verificou na Tabela 20, esse resíduo é o que apresentava o maior custo de geração.

#### 4.4.6 Escolha dos Cenários e Proposta de Melhorias

Os cenários gerados anteriormente foram apresentados para a equipe de apoio da empresa, a fim de que fossem selecionadas as situações de seu interesse. A partir dessas escolhas foram propostas ações de melhoria.

Entre os cenários criados para o Caso I, foi escolhido aquele que permitia redução de 60% na quantidade de resíduos de concreto refratário, em relação à situação inicial. Já para os cenários do Caso II, foi selecionada a situação em que há uma redução de 50% nos resíduos de chapas moldes.

A redução de 40% na quantidade de efluente gerado durante a lavagem de equipamento foi a escolha entre os cenários gerados no Caso III. No Caso IV, não houve escolha de cenário, pois eles não foram propostos. Esse caso trata de uma situação atípica (geração de resíduo perigoso), para a qual a solução já foi apresentada durante a descrição dos cenários. A empresa pode, ainda, investigar as possibilidades de redução na quantidade de resíduos de amianto. No entanto, no presente trabalho este procedimento não faz parte de seus objetivos. Por fim, entre os cenários gerados no Caso V, foi selecionada a redução de 60% na quantidade de resíduos de rebarba do torno.

Com base nessas escolhas, foram estipuladas as metas a serem alcançadas com as ações de melhoria, conforme pode ser visto no quadro da Figura 62. Essa figura também apresenta todos as informações necessários para a execução de tais ações.

Recomenda-se que uma nova análise econômico-ambiental seja realizada nesse processo após a implementação das ações de melhoria, a fim de verificar a eficiência do plano proposto. Além disso, uma vez que as informações necessárias para a utilização dessa metodologia já estão organizadas, análises subseqüentes ou mesmo o desdobramento dessa avaliação em uma operação mais específica ficará mais simples e a busca pela melhoria contínua tornar-se-á uma realidade nessa empresa.

A partir dessa aplicação e dos resultados obtidos, é possível discutir de forma mais profunda as potencialidades, as dificuldades e as restrições dessa metodologia, como será visto no capítulo a seguir.



WHAT				WHY		WHERE	WHEN	WHO	HOW	HOW MUCH
Aspecto ambiental	Impactos ambientais	Objetivos	Metas	Requisitos Legais	Normas da empresa	Etapa do processo	Prazo de realização	Responsável	Ação	Custo ambiental
<i>Geração de resíduos de concreto refratário</i>	<i>Aumenta a quantidade de materiais nos aterros</i>	<i>Reduzir a quantidade de resíduo produzido</i>	<i>60% em relação à situação inicial</i>	<i>Não há</i>	<i>Não há</i>	<i>Concretagem e refratário</i>	<i>6 meses</i>	<i>Supervisão de produção</i>	<i>Identificar se as perdas estão na preparação ou na colocação do material no equipamento Treinar operadores</i>	<i>Redução nos custos ambientais de R\$ 149,54 por incinerador de médio porte. Haverá um aumento dos custos de prevenção.</i>
<i>Geração de resíduos de chapas de molde</i>	<i>Aumenta a quantidade de materiais nos aterros e exaustão de recursos não-renováveis</i>	<i>Reduzir a quantidade de resíduo produzido</i>	<i>50% em relação à situação inicial</i>	<i>Não há</i>	<i>Não há</i>	<i>Concretagem e refratário</i>	<i>4 meses</i>	<i>Desenvolvimento de processo</i>	<i>Identificar módulos em que as chapas de molde podem ser reaproveitadas, passando a ser moldes padrão</i>	<i>Redução nos custos ambientais de R\$ 234,36 por incinerador de médio porte.</i>
<i>Geração de efluentes de lavagem do misturador</i>	<i>Contaminação dos solos</i>	<i>Reduzir a quantidade de efluente gerado nessa operação</i>	<i>40% em relação à situação inicial</i>	<i>Não há</i>	<i>Não há</i>	<i>Concretagem e refratário</i>	<i>6 meses</i>	<i>Supervisor de produção</i>	<i>Reaproveitar o efluente para a preparação do concreto isolante e refratário no próximo dia</i>	<i>Redução nos custos ambientais de R\$ 21,89 por incinerador de médio porte.</i>

**Figura 62:** Plano de ação para alcançar as metas estabelecidas na geração de cenários

continua ...

... continuação

WHAT				WHY		WHERE	WHEN	WHO	HOW	HOW MUCH
Aspecto ambiental	Impactos ambientais	Objetivos	Metas	Requisitos Legais	Normas da empresa	Etapa do processo	Prazo de realização	Responsável	Ação	Custo ambiental
<i>Geração de resíduos de sobras de amianto</i>	<i>Aumenta a quantidade de materiais nos aterros e contaminação dos solos</i>	<i>Destinação adequada do resíduo</i>		<i>Resíduos Classe I devem ser dispostos em aterros especiais</i>	<i>Não há</i>	<i>Concretagem e refratário</i>	<i>2 meses</i>	<i>Supervisor de produção</i>	<i>Verificar a existência de local com aterro para resíduos de Classe I</i>	<i>Certamente haverá um aumento nos gastos com disposição de rejeitos.</i>
<i>Geração de resíduos de rebarba de torno</i>	<i>Aumenta a quantidade de materiais nos aterros</i>	<i>Reduzir a quantidade de resíduo produzido</i>	<i>60% em relação à situação inicial</i>	<i>Não há</i>	<i>Não há</i>	<i>Usinagem</i>	<i>8 meses</i>	<i>Responsável pela compra de materiais</i>	<i>Contatar fornecedores para verificar a viabilidade de comprar os tubos e alguns acessórios fabricados na empresa</i>	<i>Redução dos custos ambientais de R\$ 540,76 por incinerador de médio porte. Haverá um investimento na aquisição de novas matérias-primas.</i>

**Figura 62:** Plano de ação para alcançar as metas estabelecidas na geração de cenários (continuação)

## 5 DISCUSSÃO

Neste capítulo faz-se uma discussão sobre os objetivos da pesquisa e o emprego da metodologia proposta, salientando-se seus aspectos positivos e negativos, quando comparada com outros trabalhos existentes na literatura em geral.

### 5.1 ANÁLISE CRÍTICA SOBRE A METODOLOGIA PROPOSTA

O desenvolvimento dessa metodologia foi motivado pela constatação de poucas abordagens na literatura que tratam, em profundidade, os impactos e os custos ambientais simultaneamente. Assim, sua criação foi direcionada para suprir tal lacuna e necessidade.

Do ponto de vista estrutural, a abordagem proposta baseou-se na estrutura da Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment* – LCA) e utilizou os princípios do Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais (MECAIA), da Metodologia para a Contabilidade de Gerenciamento Ambiental (*Environmental Management Accounting* – EMA) e do Método do Custeio Baseado em Atividades (*Activity Based Costing* – ABC). Além dessas metodologias, foram utilizadas algumas ferramentas para complementar a análise proposta.

A seguir, apresenta-se uma comparação entre a abordagem proposta e as metodologias utilizadas em sua construção, destacando seus pontos em comum, suas divergências, limitações superadas e restrições ainda existentes.

### 5.1.1 Comparação entre a Metodologia LCA e a abordagem proposta

O LCA foi a base estrutural para o desenvolvimento da abordagem proposta neste estudo. Ele foi utilizado para compor as etapas de: Pesquisa do ciclo de vida (Fase de Pré-Análise); Definição dos objetivos, Abrangência e unidade de referência, Obtenção de inventário, Avaliação ambiental, Interpretação de resultados (Fase de Análise); e Geração de cenários (Fase de Pós-Análise).

As etapas de obtenção de inventário e de avaliação ambiental foram as que apresentaram maior diferença em relação à proposta original do LCA. Enquanto na metodologia LCA a primeira restringi-se à obtenção de dados físicos de entrada e de saída de materiais e energia, nesta abordagem procurou-se obter também informações de caráter econômico. Desta forma, a obtenção de inventário passou a ser mais ampla do que aquela realizada pelo LCA. Já na segunda etapa citada, as diferenças foram mais significativas, pois enquanto o LCA propõe que sejam selecionadas categorias de impactos ambientais em função dos objetivos do estudo, nesse trabalho tais categorias já foram pré-definidas a partir da análise apresentada no item 2.3.4. No entanto, a classificação dos dados nessas categorias de impacto permaneceu inalterada. Além disso, foi adotada a cadeia de causa-efeito desdobrando o impacto em níveis: local, regional e global, conforme proposto na ISO 14.040. Ainda na avaliação ambiental, as etapas de caracterização e normalização não foram contempladas nessa proposta. Isto, por dois motivos devidos à:

- a) necessidade de utilização de *softwares*, como por exemplo SimaPro 5.1, recomendado pela SETAC (1998) para realizar a caracterização, por não estarem disponíveis no momento e porque restringiriam futuras aplicações;
- b) polêmica existente no meio científico com relação à etapa de normalização, conforme foi discutido no item 2.3.5 deste trabalho.

Já na etapa de interpretação de resultados, entre as duas abordagens que direcionam essa análise e que foram discutidas no item 2.3.2.4 da revisão bibliográfica, este trabalho assemelha-se mais à proposta da ISO do que a da SETAC, uma vez que procura identificar quais partes do processo analisado têm maior contribuição para os impactos ambientais observados. No entanto, a geração de cenários proposta pela SETAC para analisar

a sensibilidade dos dados foi considerada nesse estudo. Porém, serviu apenas para identificar as situações de melhoria e estabelecer suas metas.

No entanto, quanto às hipóteses em que se baseia o LCA (item 2.3.3), elas permaneceram válidas para a metodologia proposta.

Por fim, pode-se afirmar que em relação ao LCA, a metodologia proposta é um avanço no contexto da avaliação de custos ambientais, questão muito criticada na literatura e pouco explorada, como pôde ser percebido durante a revisão bibliográfica. Além disso, o fato de avaliar os impactos ambientais nas condições de operação transiente (condições anormais de operação) e em situações de riscos iminentes (condições emergenciais), também torna essa abordagem mais completa do que o LCA, pois tais análises não são contempladas nessa metodologia. Por outro lado, a abordagem proposta não representa um progresso propriamente dito, no que se refere a uma avaliação mais quantitativa de impactos ambientais e, ainda, por esta não ter sido estendida para todo o ciclo de vida do produto.

### **5.1.2 Comparação entre o Modelo MECAIA e a abordagem proposta**

Este modelo, desenvolvido por Kraemer (2002), foi utilizado como base para propor a avaliação de custos ambientais. Teve maior participação nas etapas de elaboração do Questionário de Pré-Análise (QPA), na realização do mapeamento do processo e na avaliação econômica propriamente dita.

Assim como ocorre no modelo MECAIA, adotou-se nessa proposta a aplicação de um questionário inicial, cujo objetivo é fazer um reconhecimento geral da empresa, o que corresponde ao Diagnóstico Estratégico Preliminar daquele modelo.

No que se refere ao mapeamento do processo, esse trabalho diferenciou-se um pouco daquele realizado pelo modelo MECAIA. Enquanto Kraemer (2002) inclui atividades administrativas nessa análise, a presente abordagem considera apenas as atividades operacionais.

Já na avaliação econômica, tanto o modelo de Kraemer (2002) como o presente estudo fizeram uso do Método do Custeio Baseado em Atividades para mensurar os custos

ambientais. Desta forma, ambas propostas apresentam forte similaridade quanto a sua operacionalização.

Em relação ao MECAIA, essa abordagem é menos abrangente por não discutir a questão ambiental dentro das perspectivas estratégicas da empresa. Além disso, não utilizou a classificação dos processos e das atividades com respeito a sua tangibilidade e ao retorno ambiental, conforme a proposta de Kraemer (2002), nem considerou os custos das atividades administrativas na análise de custos ambientais.

Por outro lado, o estudo avança mais na questão da avaliação ambiental em relação ao MECAIA, uma vez que analisa a cadeia de causa-efeito das intervenções ambientais identificadas no processo, o que não ocorre naquele modelo. Ainda, com relação à avaliação de custos ambientais dessa abordagem, esta trata os custos de geração dos rejeitos, além dos gastos com a correção e com a prevenção de problemas ambientais, adotados por Kraemer (2002).

### **5.1.3 Comparação entre a Metodologia EMA e a abordagem proposta**

A metodologia desenvolvida por Jasch (2003) também foi utilizada na elaboração da etapa de avaliação econômica. Sua maior contribuição para a contextualização deste estudo foi no sentido de salientar a importância da avaliação do custo de geração dos rejeitos.

Ao analisar as características intrínsecas, tanto do LCA (item 2.3) como do EMA, ficou evidenciado que as duas metodologias utilizam-se da identificação e do conhecimento do fluxo de materiais no processo produtivo. A primeira, para avaliar o impacto ambiental (BRENTROP *et al.*, 2001) e a segunda para mensurar o custo de geração de rejeitos (JASCH, 2003). Dessa forma, é pertinente o uso dessas duas metodologias na estruturação de uma abordagem para avaliar impactos e custos ambientais tal como ocorreu neste estudo.

Também foram consideradas na elaboração dessa proposta as categorias de custos ambientais apresentadas por Jasch (2003), a saber: custo de disposição de rejeitos e tratamento de emissões, custo de prevenção e gestão ambiental, custos de perdas de materiais e ainda os custos de produção de não-produtos (rejeitos, retrabalho, refugo,...).

Em relação à metodologia EMA, esta abordagem não contemplou a análise das receitas provenientes da venda de rejeitos, em virtude desse não ser o foco principal do estudo. Em contrapartida, na metodologia proposta a avaliação econômica foi considerada em conjunto com a ambiental, enriquecendo ainda mais as conclusões do estudo do que se fosse analisada apenas a questão econômica propriamente dita.

Por fim, é importante destacar que a metodologia EMA também utiliza o método do Custeio Baseado em Atividades para sua operacionalização.

#### **5.1.4 Comparação entre o Método de Custeio ABC e a abordagem proposta**

Com base nos trabalhos de Kraemer (2002) e Jasch (2003), foram adotados os princípios do método de Custeio Baseado em Atividades (ABC) para mensurar os custos ambientais neste estudo. Nesse aspecto, o método ABC foi considerado durante a elaboração das etapas de realização de mapeamento do processo (etapa 2 da Fase de Análise), obtenção do inventário de dados econômicos (etapa 3 da Fase de Análise) e avaliação econômica (etapa 5 da Fase de Análise).

No que concerne ao mapeamento do processo, esta é uma etapa fundamental para que esse método de custeio possa ser aplicado em uma empresa (BORNIA, 2002). Por outro lado, Chehebe (1998) afirma que, ao aplicar o LCA, é necessário que o sistema seja dividido em um conjunto de unidades de processo, as quais devem incluir atividades de uma operação simples ou grupo de operações. Desta forma, em certo grau o LCA também faz uso do mapeamento do processo. Novamente, uma abordagem, como a apresentada no estudo, que utilize essas duas metodologias estará em consonância entre si.

Em relação à obtenção dos dados econômicos, buscou-se analisar os custos dos recursos consumidos, os quais foram repassados para as atividades (operações de processamento), que por sua vez foram direcionados para os objetos de custos (produtos intermediários e rejeitos) durante a avaliação econômica. É nesse sentido que se afirma o uso dos princípios do ABC, para direcionar a avaliação de custos ambientais; embora neste estudo não tenha sido aplicado para mensurar e distribuir as parcelas de custos indiretos da empresa, principal objetivo do método ABC.

Pelo fato de o ABC ter servido apenas como um método operacional para avaliar os custos ambientais, não cabe discutir quais limitações suas foram ou não superadas. No entanto, admite-se que na metodologia proposta sua aplicação foi restringida à avaliação dos custos diretos e apenas algumas parcelas de custos indiretos de produção.

### **5.1.5 Emprego de outras ferramentas necessárias para a abordagem proposta**

As metodologias e os modelos analisados nos itens anteriores foram os maiores direcionadores para a construção da abordagem proposta. Entretanto, outras ferramentas tiveram que ser utilizadas para complementar a análise, a saber: Matriz de Riscos, Análise dos Modos de Falha e Efeitos (*Failure Mode and Effects Analysis* – FMEA), Análise de Pareto e Ferramenta 5W1H.

Inicialmente, como foi exposto no item 5.1.1, devido a não utilização das etapas de caracterização e de normalização presentes no LCA, a Matriz de Riscos foi empregada para substituir essa análise quantitativa, permitindo inclusive que as intervenções ambientais fossem classificadas, conforme Moura (2000), quanto aos critérios de gravidade e de frequência. No entanto, ela não se mostrou adequada para avaliar os potenciais impactos das operações em condições emergenciais. Para isso, essa matriz foi substituída pelo FMEA, pois trata-se de uma ferramenta indicada para investigar as possibilidades de falha de um sistema e seus efeitos (HELMAN; ANDERY, 1995).

Quanto à Análise de Pareto, ela foi utilizada para facilitar a identificação de quais operações de processamento possuíam efeitos ambientais mais críticos; podendo-se, assim, direcionar os desdobramentos dessa avaliação e as possíveis propostas de melhoria. Nesse sentido, a aplicação da ferramenta 5W1H foi escolhida, por organizar melhor as informações e permitir a operacionalização das ações de melhoria.

## **5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS NA APLICAÇÃO DA ABORDAGEM**

### **PROPOSTA**

Durante a aplicação da abordagem proposta foram observadas algumas limitações e dificuldades as quais são discutidas a seguir.

A formação do grupo de apoio é uma etapa fundamental para o bom desenvolvimento da metodologia, pois sua participação é decisiva para a condução do trabalho. Logo, a escolha adequada das pessoas que irão compor esse grupo é uma atividade que requer muito cuidado e, conseqüentemente, gera dificuldades para a sua realização. Neste caso, a presença de especialistas em meio ambiente poderia facilitar a identificação dos efeitos ambientais de cada intervenção gerada no processo.

Também na Fase de Pré-Análise, o estabelecimento do ciclo de vida do produto requer a pesquisa de muitos processos produtivos. Salienta-se que isto é função direta do grau de detalhamento que se pretende dar a essa etapa. Para o processo analisado, essa atividade não gerou grande complexidade. No entanto, se a metodologia fosse aplicada à fabricação de um utensílio plástico, por exemplo, o estabelecimento do ciclo de vida envolveria muito mais etapas e a necessidade de buscar muitas informações para poder traçá-lo. Logo, deveria iniciar com o processo de prospecção do petróleo, seguindo por toda a cadeia petroquímica.

Já na Fase de Análise, o mapeamento do processo é uma tarefa relativamente complexa, principalmente no que se refere à definição do grau de detalhamento ao traçar a ordem das operações de processamento. Um outro aspecto relevante, que está relacionado com esse fator, é o quanto esse modelo de representação do processo se aproxima da realidade. Sabe-se que quanto mais próximo das operações reais estiver o mapeamento, mais complicado ele será. Dessa forma, o grau de informações necessárias do processo também será elevado e as etapas de avaliação ambiental e econômica ficarão muito extensas. Essa dificuldade é comumente encontrada em trabalhos que envolvam a Avaliação do Ciclo de Vida, como já detectado nos estudos de Burgess e Brennan (2001). De maneira complementar, Chehebe (1998) afirmou que um excessivo detalhamento também implica em um dispêndio de tempo e normalmente não gera grandes efeitos nos resultados, contribuindo na aceitação da idéia de não detalhar o processo produtivo em excesso.

Outra etapa de difícil realização no emprego da metodologia foi a obtenção do inventário de dados físicos e econômicos. Neste caso específico, embora o consumo de materiais tenha sido simples de ser obtido, por sua vez, a avaliação do consumo energético exigiu muito esforço. Isto ocorreu, principalmente, na quantificação do tempo de uso de cada equipamento e na verificação das operações em que ele foi empregado. A elaboração da lista de resíduos também necessitou de muita dedicação para ser estabelecida, pois essa variável

não é medida nos processos produtivos, em geral. Tais dificuldades poderiam ser reduzidas se a empresa possuísse esses valores organizados em seus bancos de dados ou se já tivesse algum tipo de certificação ambiental de seus processos produtivos.

Na etapa de avaliação ambiental, a maior dificuldade fica por conta do estabelecimento das relações de causa-efeito entre os impactos de nível local, regional e global. Especificamente na aplicação realizada, observou-se que há poucas categorias de impactos ambientais na metodologia LCA que estão relacionadas com resíduos sólidos. A maior parte preocupa-se com os efeitos de emissões gasosas e efluentes líquidos. Essas mesmas dificuldades foram encontradas durante o preenchimento do FMEA Ambiental. Neste caso, a situação é um pouco pior, visto que o estudo baseou-se na possibilidade de ocorrer determinado erro no processo, ou seja, se já é difícil apreciar o efeito global de algo existente, muito pior seria avaliar o impacto de ocorrências incertas.

Em se tratando da avaliação econômica, algumas dificuldades foram identificadas quando da alocação dos custos das operações entre produtos e rejeitos. Para superar tais problemas, utilizou-se a massa tanto dos produtos, como dos rejeitos para direcionar os custos das atividades. Entretanto, reconhece-se que esse pode não ser o melhor direcionador a ser utilizado, pois nem todas as atividades são bem direcionadas pela massa do objeto de custo. A situação torna-se mais complexa quando o rejeito é resultado de um insumo de processo. Tal dificuldade ficou evidenciada quando da tomada de decisão na consideração dos custos de geração de rejeitos provenientes de insumos. A dúvida era se deveria ser considerado o custo do material ou unicamente o custo operacional do processo na composição do custo de geração. Por exemplo, no caso dos discos de corte empregados nas operações de corte e instrumentação. Nesse caso, o material é utilizado até que seu diâmetro seja reduzido a um tamanho que impossibilite totalmente sua utilização na operação. Logo, a questão seria como considerar a parcela de seu custo associada com a sobra do disco no seu custo de geração. Para dirimir tal dúvida, foi adotado o critério de que os insumos só receberiam a parcela do custo operacional, sendo que este englobaria os custos dos insumos utilizados nesta etapa do processo. Outra forma de contornar tal limitação seria dividir as perdas em normais e anormais. Desta forma, quando a perda fosse classificada como anormal, o custo de geração teria uma parcela relativa ao custo do material, além do custo operacional. Quando a perda fosse classificada como normal, seria seguido o procedimento detalhado acima. No entanto, tais considerações não foram contempladas nesse estudo.

Já na Fase de Pós-Análise a maior dificuldade foi avaliar ambientalmente cada proposta de redução na geração de rejeitos. Também, a elaboração de propostas de melhoria são muito difíceis de serem estabelecidas, quando da falta de conhecimentos mais profundos do processo estudado.

Por fim, numa visão mais global sobre o uso dessa abordagem, é importante destacar que por ser uma metodologia que envolve várias etapas de aplicação, seu emprego demanda a necessidade de uma parcela considerável de recursos. Isto porque é necessário a obtenção de muitos dados sobre o processo e a dedicação de profissionais de várias áreas para realizar as avaliações ambientais e econômicas. Sob esse aspecto, talvez seu uso seja restrito em empresas de pequeno porte e que não disponham de muitos recursos financeiros.

A partir dessa discussão, podem ser estabelecidas algumas conclusões sobre a dissertação e propostas para estudos futuros, capazes de suprir as deficiências e as limitações deste trabalho, como será apresentado no capítulo a seguir.

## **6 CONCLUSÕES**

### **6.1 CONCLUSÕES SOBRE A APLICAÇÃO PRÁTICA**

A abordagem desenvolvida neste trabalho foi aplicada em uma indústria do setor metal-mecânico responsável pela produção de incineradores industriais para realizar uma avaliação econômico-ambiental mais completa do processo produtivo. Isto, a fim de identificar quais as etapas da produção do equipamento apresentavam maior impacto sobre o meio ambiente. Além disso, desejava-se caracterizar os custos ambientais do processo, segundo as categorias de geração, correção (tratamento e disposição) e prevenção.

Como resultados, ficou evidenciado que os impactos ambientais desse processo devem-se basicamente à geração de resíduos sólidos, os quais, em nível local, contribuem para o aumento de material que deve ser disposto pela empresa. Já em nível regional, isso implica no aumento de materiais nos aterros. De outra forma, a contribuição para o uso inadequado do solo e a exaustão de recursos não-renováveis foram os efeitos globais observados.

Também foi constatado que a etapa denominada de concretagem e refratário é a responsável pela maior parcela de resíduos produzidos no processo e pelo maior custo de tratamento e disposição de rejeitos. Além disso, nessa etapa concentram-se as intervenções ambientais com efeitos críticos sobre o meio ambiente.

Através do estudo foi possível ainda constatar a existência de poucos impactos gerados em condições anormais de processamento, embora eles tenham apresentado efeito ambiental crítico. Já em condições de emergência, os impactos ambientais analisados apresentaram baixos índices de risco.

No que diz respeito à investigação quanto às categorias de custos ambientais, essa mostrou que os custos de geração constituem a maior parcela desses gastos, quando são considerados os custos de perdas de materiais. Essa conclusão vem ao encontro daquela obtida por Jasch (2003) na aplicação de sua metodologia, em que 80,4% dos custos ambientais estavam associados com a perda de material pelo processo. Quando o custo de perda de materiais não é inserido na parcela de custo de geração, os resultados mostraram que os custos de correção constituem a maior parcela de custos ambientais. Esse resultado permitiu concluir que a empresa analisada tem um perfil ambiental reativo. Por fim, é necessário salientar que os custos ambientais representam 11% dos custos associados à produção do incinerador em estudo.

## 6.2 CONCLUSÕES SOBRE A METODOLOGIA PROPOSTA

A partir das necessidades que motivaram esse trabalho, sua aplicação, os resultados obtidos e ainda com base na comparação entre a abordagem proposta e aquelas que serviram como fundamentação teórica, pode-se afirmar que esse estudo atingiu os objetivos iniciais estabelecidos.

Constata-se que a combinação entre os modelos, as metodologias e as ferramentas utilizadas nesse estudo foi adequada, pois permitiu desenvolver uma abordagem capaz de orientar a análise de um processo industrial, sob o aspecto ambiental – através da identificação das etapas com maior impacto sobre o meio ambiente – e econômico, pela apuração dos gastos com meio ambiente e sua classificação nas categorias de custos ambientais (geração, prevenção e correção).

Embora a pesquisa tenha partido do LCA, não foi estudado todo o ciclo de vida de um produto. Neste sentido, o LCA foi usado apenas como uma metodologia de base a partir da qual foi desenvolvida a abordagem proposta neste trabalho. No entanto, outras investigações foram possíveis com o emprego dessa metodologia, tais como os impactos gerados em condições de partida e de parada de equipamentos e durante mudanças de regime. Além disso, ela permite classificar as intervenções geradas em uma ordem de prioridade de efeitos, direcionando a aplicação de ações de melhoria. Com isso, a criação de cenários para propor ações de melhoria mostrou-se positiva, pois permitiu que fossem estabelecidas metas ambientais mais representativas e próximas da realidade.

Ao finalizar esse estudo, algumas limitações ainda estão presentes na proposta original, conforme descrito no item 5.2. Assim, indica-se para estudos futuros melhorias através da:

- a) aplicação dessa metodologia em outros segmentos industriais, a fim de verificar seu comportamento em termos de variação e de restrição;
- b) inclusão de outras etapas para a avaliação dos custos ambientais em condições emergenciais, visando complementar a análise econômica dessa proposta;
- b) investigação de outros direcionadores de atividades que não estejam baseados na massa dos objetos de custo, como discutido no item 5.2;
- c) estudo de novas formas de avaliar os custos de geração, devido à perda de insumos no processo, considerando os conceitos de perdas normais e anormais, que talvez sejam mais adequados à metodologia proposta;
- d) expansão da aplicação do estudo para todo o ciclo de vida de um produto, tal como preconizado pelo LCA em sua essência.

Certamente, com essas melhorias, esta abordagem tornar-se-á uma metodologia robusta e bem estruturada capaz de orientar análises futuras e contribuir para o melhor desempenho ambiental das indústrias na busca pelo Desenvolvimento Sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMATAYAKUL W., RAMNÄS O. *Life cycle assessment of a catalytic converter for passenger cars*. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 395-403, 2001.
- AMMENBERG J., HJELM O. *The connection between environmental management systems and continual environmental performance improvements*. **International Journal of Corporate Sustainability**, v. 9, p. 183-192, 2002.
- ANDERSSON K., OHLSSON T., OLSSON P. *Screening life cycle assessment (LCA) of tomato ketchup: a case study*. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, p. 277-288, 1998.
- ANDRADE M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 2<sup>a</sup>. edição. São Paulo: Editora Atlas, 1997.
- ARESTA M., GALATOLA M. *Life cycle analysis applied to the assessment of the environmental impact of alternative synthetic processes. The dimethylcarbonate case: part 1*. **Journal of Cleaner Production**, v. 7, p. 181-193, 1999.
- AZAPAGIC A. *Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation*. **Chemical Engineering Journal**, v. 73, p. 1-21, 1999.
- AZAPAGIC A., CLIFT R. *Life cycle assessment and multiobjective optimization*. **Journal of Cleaner Production**, v. 7, p. 135-143, 1999.
- BAKSHI B. R. *A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering*. **Computers and Chemical Engineering**, v. 24, p. 1767-1773, 2000.
- BENAKOUCHE R., CRUZ R. S. **Avaliação Monetária do Meio Ambiente**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- BORNIA A. C. **Análise Gerencial de Custos**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRANDALISE L. T. **A aplicação de um método de gerenciamento para identificar aspectos e impactos ambientais em um laboratório de análises clínicas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

BRENTROP F., KÜSTERS J., KUHLMANN H., LAMMEL J. *Application of the LCA methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers.* **European Journal of Agronomy**, v. 14, p. 221-233, 2001.

BURGESS A. A., BRENNAN D. J. *Application of life cycle assessment to chemical processes.* **Chemical Engineering Science**, v. 56, p. 2589-2604, 2001.

CAMPOS L. M. S. **Um estudo para definição e identificação dos custos da qualidade ambiental.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1996.

CHANDRASHEKAR A., DOUGLESS T., AVERY G. C. *The environmental is free: the quality analogy.* **Journal of Quality Management**, v. 4, n. 1, p. 123-143, 1999.

CHEHEBE J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1998.

CHEVALIER J. L., LE TÉNO J. F. *Requirements for an LCA-based model for the evaluation of the environmental quality of building products.* **Building and Environment**, v. 31, n. 5, p. 487-491, 1996.

DIEPENDAAL M. J., WALLE F. B. *A model for environmental costs for corporations (MEC).* **Waste Management & Research**, v. 12, p. 429-439, 1994.

DONAIRE D. **Gestão ambiental na empresa.** 2<sup>a</sup>. edição. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

DURAIRAJ S. K., TAN R. B. H., ONG S. K., NEE A. Y. C. *Evaluation of life cycle cost analysis methodologies.* **International Journal of Corporate Sustainability**, v. 9, p. 30-39, 2002.

EAGAN P. D., JOERES E. *The utility of environmental impact information: a manufacturing case study.* **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 75-83, 2002.

FERROLI P.C.M., NETO M. F., FILHO N.C., CASTRO J.E.E. *Emissão zero: uma visão da metodologia ZERI em fábricas de subproduto de origem animal.* **Produto & Produção**, v. 2, n. 3, p. 66-74, 1998.

- FIGUEIREDO M. A. G. *Técnicas de previsão aplicadas para tomada de decisão na minimização de rejeitos industriais*. **Produção**, v. 8, n. 1, p. 75-88, 1998.
- FISHER P. M. J., BORLAND R. *Gauging the pharmaceutical burden on Sydney's environment: a preventative response*. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, p. 315-320, 2003.
- FRESNER J. *Cleaner production as a means for effective environmental management*. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, p. 171-179, 1998.
- FURUHOLT E. *Life cycle assessment of gasoline and diesel*. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 14, p. 251-263, 1995.
- GARVIN D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- HALLING-SORENSEN B., NIELSEN S. N., LANZKY P. F., INGERSLEV F., LÜTZHOFT H. C. H., JORGENSEN S. E. *Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment – a review*. **Chemosphere**, v. 36, n. 2, p. 357-393, 1997.
- HANSEN O. J. *Environmental impacts of product systems in a life cycle perspective: a survey of five product types based on life cycle assessments studies*. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, p. 299-311, 1998.
- HANSEN D. R., MOWEN M. M. **Gestão de Custos – Contabilidade e Controle**. Tradução da 3ª. edição norte-americana. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.
- HELMAN H., ANDERY P. R. P. **Análise de Falhas – Aplicação dos métodos FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995
- HILSON G. *Pollution prevention and cleaner production in the mining industry an analysis of current issues*. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, p. 119-126, 2000.
- HOUASSIS A., VILLAR M. S. **Mini Dicionário Houassis**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.
- JASCH C. *The use of Environmental Management Accounting (EMA) for identifying environmental costs*. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, p. 667-676, 2003.
- KAPLAN R. S. *Management accounting (1984-1994) development of new practice and theory*. **Management Accounting Research**, v. 5, p. 247-260, 1994.
- KRAEMER T. H. **Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

- LERÍPIO A. A. **Gaia – Um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais.** Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.
- LOBO Y. R. O., LIMA P. C. Avaliação do ciclo de vida. **Revista Produto & Produção**, v. 2, n. 2, p. 24-32, 1998.
- LOPES E., DIAS A., ARROJA L., CAPELA I., PEREIRA F. *Application of life cycle assessment to the Portuguese pulp and paper industry.* **Journal of Cleaner Production**, v. 11, p. 51-59, 2003.
- MEINDERS H., MEUFFELS M. *Product chain responsibility – an industry perspective.* **International Journal of Corporate Sustainability**, v. 8, p. 348-354, 2001.
- MOURA L.A.A. **Qualidade e Gestão Ambiental.** 2<sup>a</sup>. edição. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2000.
- NAKAGAWA M. **ABC – Custeio Baseado em Atividades.** São Paulo: Editora Atlas, 1994.
- NBR 10004 - Resíduos Sólidos. ABNT, 1987.
- NICOLETTI G.M., NOTARNICOLA B., TASSIELI G. *Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles.* **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 283-296, 2002.
- OLSTHOORN X., TYTECA D., WEHRMEYER W., WAGNER M. *Environmental indicators for business: a review of the literature and standardisation methods.* **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 453-463, 2001.
- REGATSCHNIG H. D., SCHNITZER H. *A techno-economic approach to link waste minimization technologies with the reduction of corporate environmental costs: effects on the resource and energy efficiency of production.* **Journal of Cleaner Production**, v. 6, p. 213-225, 1998.
- SCHOLL G. U., NISIUS S. *The environmental benefits to German companies through application of LCA.* **Journal of Cleaner Production**, v. 6, p. 247-252, 1998.
- SCIPIONI A., SACCAROLA G., CENTAZZO A., ARENA F. *FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company.* **Food Control**, v. 13, p. 495-501, 2002.
- SEPPÄLÄ J., KOSKELA S., MELANEN M., PALPERI M. *The Finnish metals industry and the environment.* **Resources, Conservation and Recycling**, v. 35, p. 61-76, 2002.

SETAC *Life cycle assessment and conceptually related programmes*. Disponível em: <<http://www.setac.org>>. Acessado em 03/10/2002.

SETAC. *Evolution and development of the conceptual framework and methodology of life cycle impact assessment*, 1998. Disponível em: <<http://www.setac.org>>. Acessado em 10/06/2002.

SILVA I. S. T. **Um Estudo da Utilização do Custeio Baseado em Atividades (ABC) na Apuração dos Custos Ambientais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2003.

SLATER D., JONES H. *Environmental risk assessment and the environment agency*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 65, p. 77-91, 1999.

SONESSON U., BERLIN J. *Environmental impact of future milk supply chains in Sweden: a scenario study*. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, p. 253-266, 2003.

TENG S. H., HO S. Y. *Failure mode and effects analysis – An integrated approach for product design and process control*. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 13, p. 8-26, 1996.

TUKKER A. *Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment*. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 20, p. 435-456, 2000.

UGAYA C.M.L. **Análise do ciclo de vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade de Campinas, São Paulo, 2001.

VALLE C. E. **ISO 14000 Qualidade Ambiental – O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. 2ª. edição. São Paulo: Editora Pioneira, 1996.

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

VERSCHOOR A. H., REIJNDERS L. *The environmental monitoring of large international companies. How and what is monitored and why*. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 43-55, 2001.

VIGON B. W., JENSEN A. A. *Life cycle assessment: data quality and databases practitioner survey*. **Journal of Cleaner Production**, v. 3, p. 131-145, 1995.

YANG Y., SHI L. *Integrating environmental impact minimization into conceptual chemical process design – a process systems engineering review*. **Computers and Chemical Engineering**, v. 24, p. 1409-1419, 2000.

ZBONTAR L., GLAVIC P. *Total site: wastewater minimization. Wastewater reuse and regeneration reuse*. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 30, pg 261-275, 2000.

ZOBEL T., ALMROTH C., BRESKY J., BURMAN J-O. *Identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: an approach to a new reproducible method based on LCA methodology*. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 381-396, 2002

## ANEXO A

## Modelo do Questionário de Pré-Análise (QPA)

<b>QPA – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-ANÁLISE</b>	
<b>Seção I: Empresa</b>	
1. Qual é o setor produtivo da empresa?	<input type="checkbox"/> Químico ou Petroquímico <input type="checkbox"/> Farmacêutico <input type="checkbox"/> Metal-mecânico <input type="checkbox"/> Eletro-eletrônico <input type="checkbox"/> Alimentício <input type="checkbox"/> Couro e derivados <input type="checkbox"/> Outro:
2. Quanto ao porte, a empresa melhor se enquadra em	<input type="checkbox"/> Microempresa <input type="checkbox"/> Pequeno Porte <input type="checkbox"/> Médio Porte <input type="checkbox"/> Grande Porte
3. Dentro do contexto do LCA, essa empresa está na zona de	<input type="checkbox"/> Extração de Matérias-Primas <input type="checkbox"/> Processamento de Matérias-Primas <input type="checkbox"/> Manufatura de produtos intermediários <input type="checkbox"/> Manufatura de produtos finais <input type="checkbox"/> Reutilização ou reciclagem <input type="checkbox"/> Disposição de resíduos
4. Há um Sistema de Gestão Ambiental na empresa?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
5. A empresa possui algum tipo de certificação ambiental	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
6. Se a resposta da questão 5 for afirmativa, indicar qual (is) certificado (s).	Resposta:
7. A empresa fornece algum tipo de treinamento para os funcionários, no que se refere ao aspecto ambiental?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Explicar:
<b>Seção II: Processos Produtivos</b>	
8. Quanto aos processos produtivos, em sua maioria, podem ser classificados como do tipo	<input type="checkbox"/> customizado <input type="checkbox"/> batelada <input type="checkbox"/> linha <input type="checkbox"/> contínuo
9. Quantas unidades produtivas há na empresa?	<input type="checkbox"/> uma <input type="checkbox"/> duas <input type="checkbox"/> três ou mais
10. Há conexões entre essas unidades produtivas?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
11. Caso a resposta da questão 10 seja afirmativa, essa conexão ocorre no nível de	<input type="checkbox"/> matérias-primas utilizadas <input type="checkbox"/> utilidades utilizadas <input type="checkbox"/> equipamentos intercambiáveis <input type="checkbox"/> tratamento de efluentes
12. Existem padrões de geração de rejeitos e perdas nos processos produtivos?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
13. Há um monitoramento dessas perdas e rejeitos?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Explicar

Seção III: Produtos	
14. Quantos produtos a empresa produz?	Resposta:
15. Qual o principal produto da empresa?	Resposta:
16. Todos os produtos utilizam as mesmas matérias-primas, utilidades e apresentam a mesma complexidade produtiva?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
17. Algum produto que a empresa fabrica é perigoso ao meio ambiente?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
Seção IV: Matérias-primas, Utilidades e Rejeitos	
18. As matérias-primas utilizadas na empresa sofrem algum processo de tratamento, antes de entrar no sistema produtivo?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
19. Qual é a principal matéria-prima do processo	Responder:
20. As matérias-primas necessitam de condições de armazenamento especiais?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
21. A água utilizada nos processos sofre algum tipo de tratamento?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
22. A energia utilizada nos processos produtivos é de fonte	<input type="checkbox"/> Hidrelétrica
	<input type="checkbox"/> Termelétrica
	<input type="checkbox"/> Outras:
23. As demais utilidades necessárias ao processo (vapor, ar comprimido, ...) são geradas pela empresa?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
24. Caso a empresa apresente mais de um processo produtivo, os rejeitos são tratados todos juntos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
25. Há geração de resíduos nos processos produtivos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
26. Quais são esses resíduos?	Listar:
27. Caso a resposta do item 26 seja afirmativa, algum desses resíduos é perigoso, ou seja, pertencem a classe I das normas NBR 10.004?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
28. O que acontece com os resíduos gerados? Para onde são enviados?	Resposta:
29. Há segregação de resíduos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
30. Há geração de efluentes nos processos produtivos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
31. Qual a composição básica desses efluentes?	Explicar:
32. Caso a resposta do item 31 seja afirmativa, algum desses efluentes é tóxico, exigindo tratamento especial?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
33. Há segregação de efluentes?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
34. O que acontece com o lodo gerado no tratamento de efluentes?	Resposta:
35. Há geração de emissões nos processos produtivos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não

36. A empresa conhece qual é a composição desses gases?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
37. Caso a resposta do item 36 seja afirmativa, quais são os principais componentes?	Resposta:
38. A empresa sabe quais são os efeitos dessas emissões para o meio ambiente?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
<b>Seção V: Sistema de Custeio</b>	
39. A empresa possui um sistema de custeio?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
40. Caso a resposta da questão 35 seja afirmativa, qual o sistema de custeio empregado?	<input type="checkbox"/> UEP
	<input type="checkbox"/> Centro de Custos
	<input type="checkbox"/> ABC
41. Os custos ambientais são considerados nessa avaliação?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Como?
42. Caso a resposta da questão 41 seja afirmativa, a empresa sabe quanto eles representam nos custos operacionais?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Quanto?
43. Ainda referente aos custos ambientais, a empresa sabe quanto isso representa nos custos dos produtos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Quanto?
44. A empresa tem conhecimento das categorias de Custos da Qualidade?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
<b>Seção VI: Sistema de Indicadores Ambientais</b>	
45. No setor produtivo que a empresa se insere existem indicadores ambientais específicos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
46. Em caso de resposta afirmativa na questão 45, qual(is) seria(m)?	Resposta:
47. A empresa possui um sistema de indicadores ambientais?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
48. Em caso de resposta afirmativa na questão 47, esses indicadores são, predominantemente,	<input type="checkbox"/> Operacionais
	<input type="checkbox"/> Gerenciais
49. Quais são os principais indicadores desse sistema?	Explicar:
50. Ao acompanhar a evolução dos indicadores a empresa observa se há algum fora de especificação?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
51. Em caso de resposta afirmativa na questão 49, a empresa conhece as suas causas?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
	Explicar:
52. Há um gerenciamento das questões ambientais?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input type="checkbox"/> Não
53. Em caso de resposta afirmativa na questão 51, esse sistema	<input type="checkbox"/> gerencia a empresa como um todo
	<input type="checkbox"/> gerencia os sistemas produtivos separadamente
	<input type="checkbox"/> gerencia os produtos
	<input type="checkbox"/> gerencia os sistemas produtivos e os produtos

## ANEXO B

## Preenchimento do Questionário de Pré-Análise (QPA)

<b>QPA – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-ANÁLISE</b>	
<b>Seção I: Empresa</b>	
1. Qual é o setor produtivo da empresa?	<input type="checkbox"/> Químico ou Petroquímico <input type="checkbox"/> Farmacêutico <input checked="" type="checkbox"/> Metal-mecânico <input type="checkbox"/> Eletro-eletrônico <input type="checkbox"/> Alimentício <input type="checkbox"/> Couro e derivados <input type="checkbox"/> Outro:
2. Quanto ao porte, a empresa melhor se enquadra em	<input type="checkbox"/> Microempresa <input type="checkbox"/> Pequeno Porte <input checked="" type="checkbox"/> Médio Porte <input type="checkbox"/> Grande Porte
3. Dentro do contexto do LCA, essa empresa está na zona de	<input type="checkbox"/> Extração de Matérias-Primas <input type="checkbox"/> Processamento de Matérias-Primas <input type="checkbox"/> Manufatura de produtos intermediários <input checked="" type="checkbox"/> Manufatura de produtos finais <input type="checkbox"/> Reutilização ou reciclagem <input type="checkbox"/> Disposição de resíduos
4. Há um Sistema de Gestão Ambiental na empresa?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
5. A empresa possui algum tipo de certificação ambiental	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
6. Se a resposta da questão 5 for afirmativa, indicar qual (is) certificado (s).	Resposta: <i>Prêmio Nacional Top Hospitalar Edições de 1998, 1999 e 2000.</i>
7. A empresa fornece algum tipo de treinamento para os funcionários, no que se refere ao aspecto ambiental?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Explicar: <i>Esse treinamento está inserido dentro de um conjunto de atividades que acontece semanalmente na empresa.</i>
<b>Seção II: Processos Produtivos</b>	
8. Quanto aos processos produtivos, em sua maioria, podem ser classificados como do tipo	<input checked="" type="checkbox"/> customizado <input type="checkbox"/> batelada <input type="checkbox"/> linha <input type="checkbox"/> contínuo
9. Quantas unidades produtivas há na empresa?	<input checked="" type="checkbox"/> uma <input type="checkbox"/> duas <input type="checkbox"/> três ou mais
10. Há conexões entre essas unidades produtivas?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
11. Caso a resposta da questão 10 seja afirmativa, essa conexão ocorre no nível de	<input type="checkbox"/> matérias-primas utilizadas <input type="checkbox"/> utilidades utilizadas <input type="checkbox"/> equipamentos intercambiáveis <input type="checkbox"/> tratamento de efluentes
12. Existem padrões de geração de rejeitos e perdas nos processos produtivos?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não

**QPA – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-ANÁLISE (CONTINUAÇÃO)**

## Seção II: Processos Produtivos

13. Há um monitoramento dessas perdas e rejeitos?	<input type="checkbox"/> Sim
	<input checked="" type="checkbox"/> Não
	Explicar

## Seção III: Produtos

14. Quantos produtos a empresa produz?	Resposta: <i>Dois, incineradores e lavadores de gases</i>
15. Qual o principal produto da empresa?	Resposta: <i>Incineradores</i>
16. Todos os produtos utilizam as mesmas matérias-primas, utilidades e apresentam a mesma complexidade produtiva?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar: <i>Os incineradores são mais complexos e exigem outras matérias-primas</i>
17. Algum produto que a empresa fabrica é perigoso ao meio ambiente?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar: <i>Pelo contrário, são desenvolvidos para melhorar a qualidade ambiental de outros processos industriais.</i>

## Seção IV: Matérias-primas, Utilidades e Rejeitos

18. As matérias-primas utilizadas na empresa sofrem algum processo de tratamento, antes de entrar no sistema produtivo?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar:
19. Qual é a principal matéria-prima do processo?	Responder: <i>Chapas de aço carbono e aço inox</i>
20. As matérias-primas necessitam de condições de armazenamento especiais?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar:
21. A água utilizada nos processos sofre algum tipo de tratamento?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar:
22. A energia utilizada nos processos produtivos é de fonte	<input checked="" type="checkbox"/> Hidrelétrica <input type="checkbox"/> Termelétrica <input type="checkbox"/> Outras:
23. As demais utilidades necessárias ao processo (vapor, ar comprimido, ...) são geradas pela empresa?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar: <i>Os gases industriais (CO<sub>2</sub>, Acetileno, O<sub>2</sub>) utilizados são comprados de outra empresa que os fabrica.</i>
24. Caso a empresa apresente mais de um processo produtivo, os rejeitos são tratados todos juntos?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar: <i>Só há um processo produtivo.</i>
25. Há geração de resíduos nos processos produtivos?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
26. Quais são esses resíduos?	Listar: <i>Sobras de chapas de aço carbono e aço inox.</i>
27. Caso a resposta do item 26 seja afirmativa, algum desses resíduos é perigoso, ou seja, pertence a Classe I das Normas NBR 10.004?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar:

**OPA – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-ANÁLISE (CONTINUAÇÃO)**
**Seção IV: Matérias-Primas, Utilidades e Rejeitos**

28. O que acontece com os resíduos gerados? Para onde são enviados?	Resposta: <i>As sobras de chapas de aço inoxidável são vendidas como sucata, as demais são enviadas para aterro.</i>
29. Há segregação de resíduos?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
30. Há geração de efluentes nos processos produtivos?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
31. Qual a composição básica desses efluentes?	Explicar:
32. Caso a resposta do item 31 seja afirmativa, algum desses efluentes é tóxico, exigindo tratamento especial?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Explicar:
33. Há segregação de efluentes?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
34. O que acontece com o lodo gerado no tratamento de efluentes?	Resposta:
35. Há geração de emissões nos processos produtivos?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
36. A empresa conhece qual é a composição desses gases?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
37. Caso a resposta do item 36 seja afirmativa, quais são os principais componentes?	Resposta: <i>São emissões da soldagem e do polimento dos equipamentos.</i>
38. A empresa sabe quais são os efeitos dessas emissões para o meio ambiente?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
<b>Seção V: Sistema de Custeio</b>	
39. A empresa possui um sistema de custeio?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
40. Caso a resposta da questão 35 seja afirmativa, qual o sistema de custeio empregado?	<input type="checkbox"/> UEP <input checked="" type="checkbox"/> Centro de Custos <input type="checkbox"/> ABC
41. Os custos ambientais são considerados nessa avaliação?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Como?
42. Caso a resposta da questão 41 seja afirmativa, a empresa sabe quanto eles representam nos custos operacionais?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Quanto?
43. Ainda referente aos custos ambientais, a empresa sabe quanto isso representa nos custos dos produtos?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Quanto?
44. A empresa tem conhecimento das categorias de Custos da Qualidade?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar:
<b>Seção VI: Sistema de Indicadores Ambientais</b>	
45. No setor produtivo que a empresa se insere existem indicadores ambientais específicos?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
46. Em caso de resposta afirmativa na questão 45, qual(is) seria(m)?	Resposta: <i>PCMO, obrigatório para todas as empresas, pois é uma análise de riscos.</i>

---

**QPA – QUESTIONÁRIO DE PRÉ-ANÁLISE (CONTINUAÇÃO)**


---

 Seção VI: Sistema de Indicadores Ambientais
 

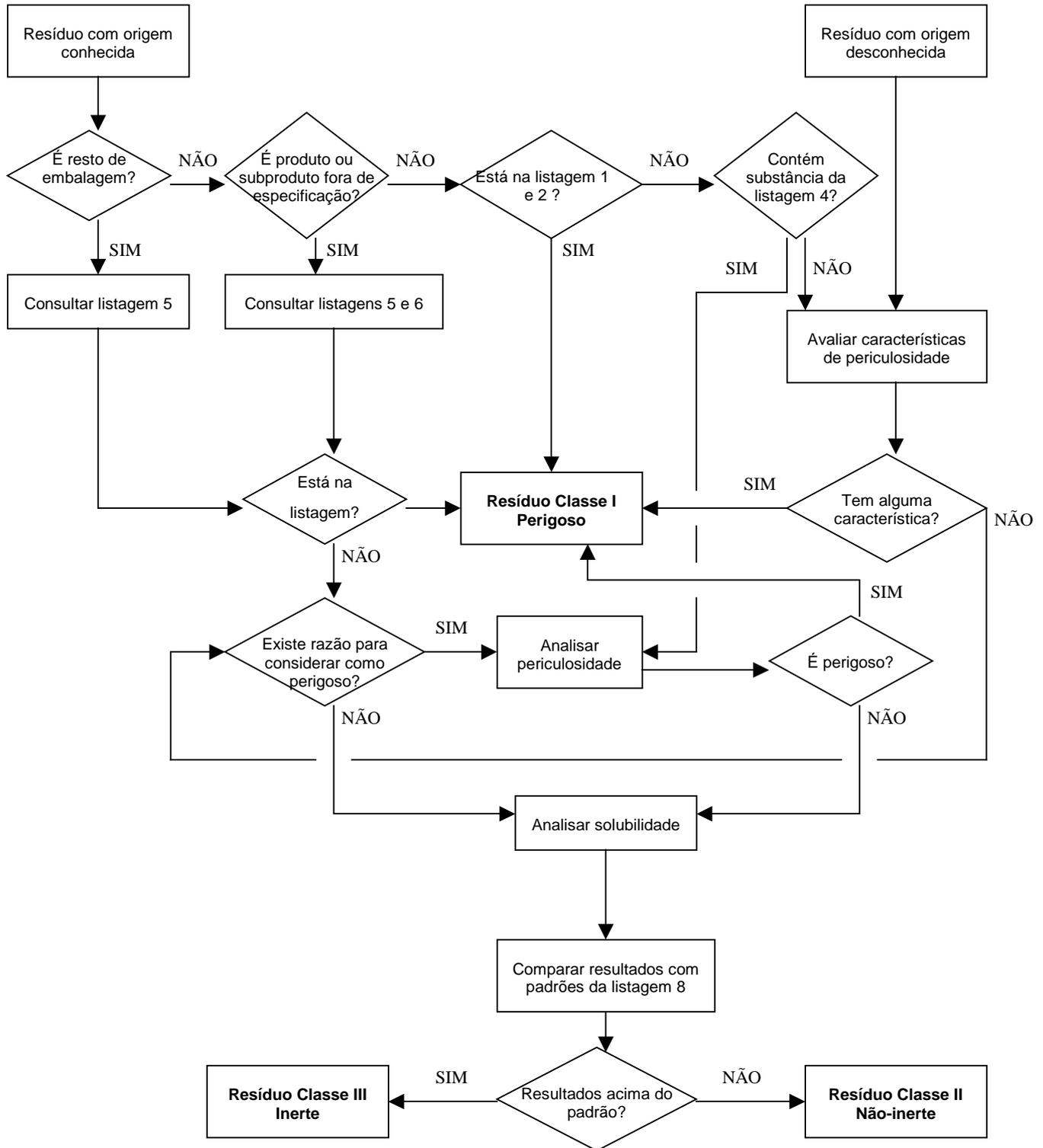
---

47. A empresa possui um sistema de indicadores ambientais?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
48. Em caso de resposta afirmativa na questão 47, esses indicadores são, predominantemente,	<input checked="" type="checkbox"/> Operacionais <input type="checkbox"/> Gerenciais
49. Quais são os principais indicadores desse sistema?	Explicar: <i>Ruído, iluminação</i>
50. Ao acompanhar a evolução dos indicadores a empresa observa se há algum fora de especificação?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não Explicar:
51. Em caso de resposta afirmativa na questão 50, a empresa conhece as suas causas?	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não Explicar:
52. Há um gerenciamento das questões ambientais?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não
53. Em caso de resposta afirmativa na questão 52, esse sistema	<input type="checkbox"/> gerencia a empresa como um todo <input type="checkbox"/> gerencia os sistemas produtivos separadamente <input type="checkbox"/> gerencia os produtos <input type="checkbox"/> gerencia os sistemas produtivos e os produtos

---

## ANEXO C

## NBR 10004 – FLUXOGRAMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS



## ANEXO D

## CÁLCULOS PARA DETERMINAR O CUSTO DE GERAÇÃO DE REJEITOS

Corte interno				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Chapa molde</i>	116	<i>Chapa molde para soldagem</i>	116	
<i>Disco de corte</i>	2,4	<i>Resíduo de disco de corte</i>	1	
Custo da operação de processamento (R\$)		207,75		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Chapa molde para soldagem</i>	328,28	0,991	205,98	534,26
<i>Resíduo de disco de corte</i>	-	0,009	1,78	1,78

Corte externo				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Chapas de aço</i>	3120	<i>Chapa para calandragem</i>	424	
		<i>Chapa para soldagem</i>	2646	
		<i>Resíduo de chapas de aço</i>	50	
Custo da operação de processamento (R\$)		3.120,00		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Chapa para calandragem</i>	924,32	0,136	424,00	1.348,32
<i>Chapa para soldagem</i>	5.768,28	0,848	2.646,00	8.414,28
<i>Resíduo de chapa de aço</i>	109,00	0,016	50,00	159,00

Calandragem				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Chapa para calandragem</i>	424	<i>Chapa calandrada p/ soldagem</i>	424	
Custo da operação de processamento (R\$)		336,74		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Chapa para calandragem</i>	1.348,32	1,00	336,74	1.685,06

Soldagem				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Chapa para soldagem</i>	2646	<i>Chapas soldadas</i>	3651,4	
<i>Chapa calandrada p/ soldagem</i>	424	<i>Chapa molde p/ concretagem</i>	116	
<i>Chapa molde para soldagem</i>	116	<i>Resíduos de eletrodos</i>	5	
<i>Barras de ferro</i>	135			
<i>Cantoneiras</i>	238			
<i>Eletrodos</i>	20			
<i>Vigas</i>	193,4			
<i>Cilindro de dióxido de carbono</i>	25			
Custo da operação de processamento (R\$)		1.069,37		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Chapas soldadas</i>	11.790,94	0,968	1.035,07	12.826,01
<i>Chapas molde p/ concretagem</i>	534,26	0,031	32,88	567,14
<i>Eletrodos</i>	-	0,001	1,42	1,42

Polimento				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Chapas soldadas</i>	3651,4	<i>Chapas polidas</i>	3651,4	
<i>Discos de desbaste</i>	5	<i>Resíduos de disco de desbaste</i>	2	
Custo da operação de processamento (R\$)		452,59		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Chapas polidas</i>	12.826,01	0,999	452,32	13.278,33
<i>Resíduos de disco de desbaste</i>	-	0,001	0,27	0,27

Instrumentação				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Chapas polidas</i>	3651,4	<i>Módulos</i>	3631	
<i>Componentes instrumentação (pç)</i>	589	<i>Resíduos de furação</i>	20	
<i>Disco de corte</i>	3	<i>Resíduo de disco de corte</i>	1	
Custo da operação de processamento (R\$)		507,22		

Instrumentação (continuação)				
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Módulos</i>	17.665,37	0,9942	504,27	18.169,64
<i>Resíduos de furação</i>	72,73	0,0055	2,78	75,51
<i>Resíduo de disco de corte</i>	-	0,0003	0,17	0,17

Usinagem				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Barras de ferro</i>	1010	<i>Acessórios</i>	860	
		<i>Resíduo de rebarba de torno</i>	150	
Custo da operação de processamento (R\$)		745,13		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Acessórios</i>	3.612,00	0,8515	634,47	4.246,47
<i>Resíduo de rebarba de torno</i>	630,00	0,1485	110,66	740,66

Tubulação				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Acessórios</i>	860	<i>Módulos</i>	4473	
<i>Módulos</i>	3631	<i>Resíduos de furação</i>	18	
<i>Componentes de fixação (pç)</i>	460			
<i>Tubos (pç)</i>	21			
<i>Válvulas (pç)</i>	7			
Custo da operação de processamento (R\$)		479,66		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Módulos</i>	24.473,36	0,996	477,74	24.951,10
<i>Resíduos de furação</i>	90,06	0,004	1,92	91,98

Concretagem e Refratário				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Módulos</i>	4473	<i>Módulos concretados</i>	8968	
<i>Água</i>	1450	<i>Efluente líquido de lavagem</i>	700	
<i>Amianto isolante</i>	153	<i>Resíduos de amianto</i>	61	

Concretagem e Refratário (continuação)				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Concreto isolante</i>	1400	<i>Resíduos de embalagem</i>	52	
<i>Concreto refratário</i>	2500	<i>Resíduo de chapa molde</i>	116	
<i>Manta de fibra cerâmica (m<sup>2</sup>)</i>	5	<i>Resíduo de concreto isolante</i>	70	
<i>Chapa molde</i>	116	<i>Resíduo de refratário</i>	125	
Custo da operação de processamento (R\$)		827,03		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Módulos concretados</i>	27.642,50	0,8886	734,91	28.377,41
<i>Efluente líquido de lavagem</i>	-	0,0694	57,36	57,36
<i>Resíduos de amianto</i>	283,36	0,0061	5,02	288,37
<i>Resíduo de embalagem</i>	27,29	0,0052	4,26	31,55
<i>Resíduo de molde de aço</i>	567,14	0,0115	9,51	576,64
<i>Resíduo de concreto isolante</i>	12,60	0,0069	5,74	18,34
<i>Resíduo de refratário</i>	96,25	0,0124	10,24	106,49

Pintura				
Entrada		Saída		
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)	
<i>Módulos concretados</i>	8968	<i>Módulos pintados</i>	8995	
<i>Tinta A</i>	10	<i>Resíduos de embalagem</i>	8	
<i>Tinta B</i>	15	<i>Resíduos de estopa</i>	5	
<i>Tinta C</i>	10			
<i>Solvente</i>	10			
<i>Estopa</i>	5			
Custo da operação de processamento (R\$)		549,79		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Módulos pintados</i>	28.724,91	0,9986	549,00	29.273,91
<i>Resíduos de embalagem</i>	122,50	0,0009	0,49	122,99
<i>Resíduos de estopa</i>	-	0,0006	0,31	0,31

Montagem Final			
Entrada		Saída	
Material	Quantidade (kg)	Material	Quantidade (kg)
<i>Módulos pintados</i>	8995	<i>Incinerador</i>	8995
<i>Componentes de fixação (pç)</i>	800		

Montagem Final ( <b>continuação</b> )				
Custo da operação de processamento (R\$)		429,60		
Material	Parcela relativa à perda de material (R\$)	Fator $w_i$	Parcela relativa ao custo operacional (R\$)	Custo de Geração Total (R\$)
<i>Incinerador</i>	<i>29.337,91</i>	<i>1,00</i>	<i>429,60</i>	<i>29.767,51</i>

Observação: para os materiais indicados por (*pç*), o valor indicado na coluna quantidade não corresponde a sua massa e sim ao número de peças utilizadas na fabricação do equipamento.