



UFSM

Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DE CICLO DE VIDA NA FABRICAÇÃO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE FIBRA DE VIDRO**

Hussein Husni Caldeira Hussein

PPGEP

Santa Maria, RS, Brasil

2004

**ANÁLISE DE CICLO DE VIDA NA FABRICAÇÃO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE FIBRA DE VIDRO**

por

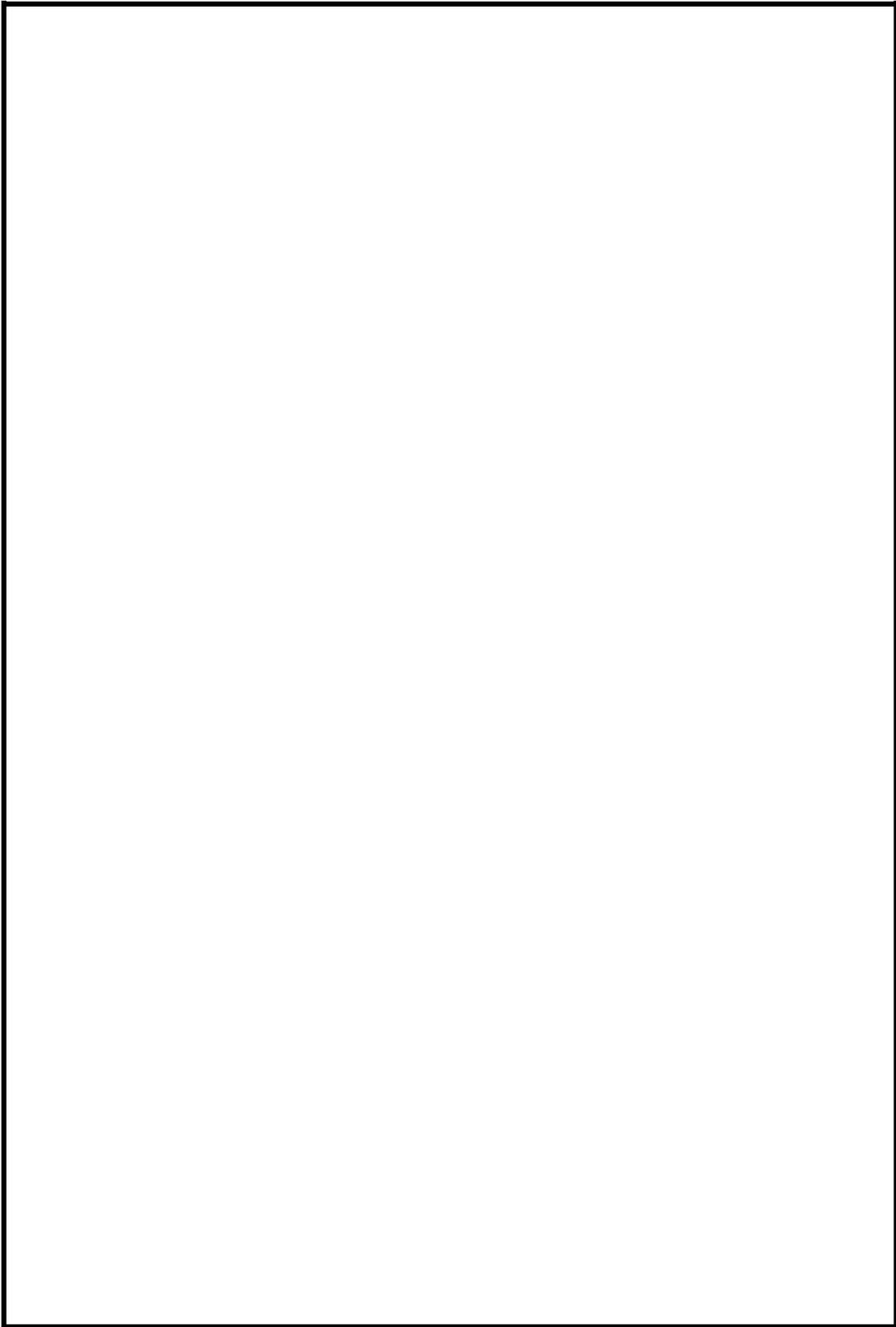
Hussein Husni Caldeira Hussein

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,
– Área de Concentração em Qualidade e Produtividade–
Universidade Federal de Santa Maria,
como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Engenharia de Produção

PPGEP

Santa Maria, RS, BRASIL

2004



Universidade Federal de Santa Maria

Centro de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**AANÁLISE DE CICLO DE VIDA NA FABRICAÇÃO DE
RESRVATÓRIOS DE ÁGUA DE PLÁSTICO
REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO**

elaborada por

Hussein Husni Caldeira Hussein

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Jorge Orlando Noguera Cuellar
(Presidente/Orientador)

Dr^a. Maria Emília Camargo

Dr. Uacauan Bonilha

Santa Maria, 2004

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
1. INTRODUÇÃO.....	09
1.1 Considerações iniciais.....	09
1.2. Formulação do problema	12
1. 3 Justificativa	13
1. 4. Objetivos	14
1.4. 1 Objetivo geral.....	14
1.4. 2. Objetivos específicos	14
1.5 Metodologia	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Relações entre economia e meio ambiente	16
2. 1. 1 A economia neoclássica como fundamento teórico da economia ambiental..	16
2. 1. 2 As externalidades	17
2. 1. 3 A noção do ótimo de poluição	19
2. 2 Do econômico para o ecológico.....	21
2. 3 Breves considerações acerca de política ambiental, meio ambiente, inovação e competitividade	28
2. 3. 1 Determinantes do investimento ambiental.....	29
2. 3. 2 A mudança de paradigma.....	32
2. 4. Em direção a melhoria ambiental.....	34
2. 4. 1 Sistema de gestão ambiental	36
2. 4. 1. 1 Aspectos operacionais do plano de ação.....	40
3. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS.....	43
3.1 Definição conceitual.....	43

3. 2 As fases de uma Análise de Ciclo de Vida	44
3. 3. 1 Limites do sistema	48
3. 3. 2 Função e unidade funcional	49
3. 3. 3 Análise do inventário	50
3. 3. 4 Critérios para a inclusão de dados.....	51
3. 3. 5 Coleta de dados	52
3. 3. 6 avaliação de impacto	53
3. 3. 7 Interpretação.....	54
4.A ANÁLISE MULTICRITÉRIOS EM APOIO À ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS.....	55
4. 1. O processo decisório	56
4. 2. Alguns conceitos utilizados na teoria da decisão multicritérios	58
4. 3. Construindo um modelo multicritério utilizando a metodologia <i>macbeth</i>	59
4. 3. 1. Descritor.....	59
4. 3. 2. A função de valor	60
4. 4. A metodologia <i>macbeth</i>	60
5. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS COM A PESQUISA	63
5. 1 Definição dos limites do sistema	63
5. 2. A matriz <i>macbeth</i> na avaliação das ações	64
5. 3 Considerações finais.....	6
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 Tipologia e instrumentos de política ambiental	28
QUADRO 02 Esquema simplificado da fabricação do reservatório de água, cap 2501	64
QUADRO 03 Matriz com o ordenamento das preferências no sentido de maior atratividade ambiental	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 Exemplo de ajuste do PIB para o Brasil (SICEA)	25
--	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 Alocação ótima dos recursos na economia neoclássica	18
FIGURA 02 O ótimo de poluição	20
FIGURA 03 Representação esquemática: Economia do Meio Ambiente versus Economia Ecológica.....	22
FIGURA 04 Estrutura da Análise do Ciclo de Vida de Produtos	45
FIGURA 05 Esquema representativo das Dimensões de uma AC	46

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA NA FABRICAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE FIBRA DE VIDRO

AUTOR: HUSSEIN HUSNI CALDEIRA HUSSEIN

ORIENTADOR: JORGE ORLANDO NOGUERA CUELLAR

Local e Data de Defesa: Santa Maria, 27 de outubro de 2004.

Este trabalho utilizou a Análise de Ciclo de Vida de Produtos na análise do processo de fabricação de reservatórios de água de plástico reforçado com fibra de vidro. Foram analisados, nas diversas fases do processo de fabricação, os aspectos ambientais envolvidos bem como seus respectivos impactos ambientais. Para tanto, a partir de procedimentos analíticos referentes à tomada de decisão multicritério, tornou-se possível ordenar as ações ou etapas do processo de fabricação, com o intuito de identificar as ações (etapas) de maior impacto ambiental, ou seja, passíveis de sofrerem melhorias em seus procedimentos específicos. Sendo assim, a pesquisa concluiu que a etapa considerada excelente, do ponto de vista ambiental, foi a aplicação do reforço sobre a laminação, com efeito, esta atividade exige apenas energia mecânica e praticamente não gera resíduos. Opostamente, há duas ações ou etapas com desempenho ambiental negativo, ou seja as ações de laminação com fibra de vidro e, no extremo oposto, a fabricação do gel utilizado na coloração do artefato, esta última atividade envolve a manipulação direta de uma gama de matérias primas de elevada toxicidade bem como a geração de uma série de resíduos. Portanto, pode-se afirmar que a metodologia da ACV em conjunto com a abordagem multicriterial, proporcionou à pesquisa realizada, que se identificassem áreas a receberem melhorias no processo de fabricação a fim de minimizar seus impactos ambientais.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Atualmente observa-se duas tendências em franco crescimento, no que concerne ao ambiente empresarial. Primeiramente, ressalta-se, num contexto microeconômico, o crescimento vertiginoso da concorrência empresarial em quase todos os ramos industriais, com a conseqüente concentração da produção por parte das empresas mais qualificadas, tanto financeira quanto tecnicamente.

Inicialmente, o aumento da concorrência no meio empresarial traduz-se sobretudo por meio de uma crescente busca da qualidade como forma de obter diferencial competitivo. Qualidade aqui bem entendida, na ampla acepção do termo, ou seja, na totalidade do processo produtivo, em suma, da seleção das matérias-primas passando pelo seu processamento até o relacionamento pós-venda.

Como signos deste processo, há hoje, os chamados selos de qualidade, como são exemplos, as várias séries de normas ISO (International Organization for Standardization), tanto relativas a projeto, processos, prestação de serviços e normas relativas à qualidade ambiental. Esses signos são corporificados através dos sistemas de qualidade adotados pelas empresas, que tanto podem ser erigidos internamente com base no *Know-how* da organização quanto obtidos já formatados.

O segundo aspecto amplamente observado e comentado, diz respeito ao aumento das exigências dos consumidores. Dentro deste contexto, vem se consolidando a busca por produtos de melhor qualidade. Esse movimento, que privilegia a qualidade pela ótica do mercado consumidor, parece ter delineado uma trajetória de superação positiva.

Dentro deste contexto, pode-se afirmar que a qualidade, antes circunscrita aos aspectos mais evidentes do produto, realizou sua transição para os aspectos relacionados aos impactos gerados ao meio ambiente através dos processos produtivos. Dessa forma, a preocupação envolve toda a cadeia produtiva de determinado bem, tanto é assim, que vêm

se tornando cada vez mais freqüentes as declarações dos impactos causados ao meio ambiente nos rótulos dos produtos.

Assim é que aqueles produtos, cuja produção esteja associada a impactos negativos em relação ao meio ambiente, têm sido preteridos a produtos cujos processos levem em consideração os aspectos potenciais associados ao macro-ambiente em que operam.

Desta forma, torna-se evidente que as pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de técnicas e novos produtos são realizadas com vistas a: minimização, e até mesmo prevenção de impactos potenciais relacionados à produção, comercialização, utilização e descarte de bens e produtos finais.

A literatura técnica, que relaciona os aspectos produtivos relacionados à questão ambiental, vê as organizações, quer sejam estas prestadoras de serviços ou transformadoras de matérias-primas em produtos finais, como um organismo. E neste sentido, possuiriam metabolismo próprio, no sentido em que afetam e são afetadas pelo ambiente em que operam. Afetam o meio circundante à medida em que seus processos geram externalidades, que alteram o equilíbrio ecológico e, por conseguinte, social, onde encontram-se inseridas.

As organizações são afetadas sobretudo quando seus métodos e procedimentos não são consoantes com os anseios e necessidades do macro ambiente em que operam. Atualmente, inúmeras vias são utilizadas para coibir abusos, que vão desde as medidas tomadas pela sociedade civil organizada até mesmo as institucionais.

A conjunção dos fatores citados, acirramento concorrencial, que impele a busca da eficiência pelas organizações, assim como o aumento de conscientização por parte dos consumidores em geral, propicia uma classificação entre as firmas, no que diz respeito ao trato destas com a questão ambiental, com um ritmo impresso pelo movimento da ecoeficiência.

Trata-se da classificação de organizações em pró-ativas e reativas. As primeiras seriam aquelas organizações que gozam de um padrão de qualidade elevado, antecipando-se até mesmo à legislação vigente, no tocante às questões ambientais. Em posição oposta, encontram-se as empresas reativas que, como o adjetivo indica, reagem às conseqüências criadas por sua atuação.

Estas últimas, devido ao alto grau de externalidades que geram, acarretam custos elevados ao meio ambiente e, por conseguinte, à sociedade. Assim, num processo dialético,

o movimento sugere superação, no sentido de que a evolução alcançará objetiva e necessariamente as organizações que permanecerem no mercado.

Este trabalho, procura dissertar sobre a relação que se estabelece entre as organizações e o meio ambiente. Para tanto, encontra-se dividido em seis capítulos.

O primeiro capítulo apresenta algumas observações concernentes ao meio empresarial contemporâneo, e, ainda, apresenta a formulação do problema, bem como a justificativa para realização do trabalho e os objetivos pretendidos. Também neste capítulo, alude-se a questão dos aspectos metodológicos.

No capítulo seguinte, procede-se a uma discussão sobre as relações entre economia e meio ambiente. Isto ocorre confrontando-se duas importantes correntes teóricas que tratam desta questão: a Economia Ambiental e a Economia Ecológica. Neste capítulo, também se faz referência a mudança de paradigma, passando de considerações primordialmente econômicas para os aspectos dinâmicos observados entre economia e meio ambiente. Neste sentido, há referências diretas entre Sistemas de Gestão Ambiental.

Posteriormente, no terceiro capítulo, aborda-se a Análise de Ciclo de Vida (ACV), que trata-se de uma ferramenta destinada a analisar todo o ciclo de vida de um produto, teoricamente, desde a extração das matérias-primas até o fim de sua vida útil. São apresentados os principais conceitos relacionados à técnica, a sua estrutura e suas fases e discute-se sucintamente alguns de seus usos.

O quarto capítulo está intrinsecamente relacionado ao capítulo precedente. Isto porque, trata-se de uma metodologia que se destina a auxiliar no processo de tomada de decisão. Assim é que tal ferramenta, denominada Tomada de Decisão Multicriterial (TDMC), ou Metodologias Multicritérios em Apoio à Decisão, permite estruturar a problemática da decisão, em torno de objetivos conflitantes.

No capítulo posterior, apresenta-se os principais resultados obtidos com a pesquisa de campo, bem como seus possíveis desdobramentos futuros, e, finalmente, no sexto capítulo, as Referências Bibliográficas.

1. 2 Formulação do problema

O setor industrial tem sido pródigo em causar desastres ambientais. Conseqüência lógica, porém, não necessária inerente à atividade produtiva. Lógica porque, da extração das matérias-primas até o descarte do produto, são inúmeras as etapas a serem percorridas. Isto aumenta a probabilidade de falhas e ineficiências através de toda a cadeia produtiva de um produto ou serviço especificamente.

Atualmente, quase que diariamente se tem notícia de algum desastre ambiental, nos mais variados meios e nos diversos setores industriais. Apesar da legislação no Brasil, por ser caracterizada na literatura técnica como uma das mais completas, no que diz respeito aos cuidados com o Meio Ambiente, a prática tem demonstrado que a legislação pertinente, tem sido infringida com frequência.

Dentro deste contexto, ou seja, dos acontecimentos indesejados relativos ao setor produtivo relacionado as principais questões de ordem ambiental, crescem, concomitantemente, as pressões acerca dos movimentos de preservação/conservação dos recursos naturais.

Neste sentido, os governos têm buscado efetivar as políticas públicas ambientais relativas a setores específicos, e isto estende-se as três esferas governamentais. O próprio meio empresarial, impulsionado pelo movimento da *Qualidade Total*, avança na direção da *Qualidade Ambiental*. E não menos importante, cresce a conscientização da sociedade acerca dos problemas ambientais, visto que, as comunidades por vezes têm sua qualidade de vida diretamente afetada por questões ambientais locais e, também, pelos problemas de ordem ambiental global, tais como efeito estufa, chuvas ácidas etc.

Portanto, dentro deste contexto, questiona-se: é possível melhorar o desempenho das operações de uma organização relativamente ao Meio Ambiente, mediante o uso adequado de uma técnica que vise analisar o ciclo de vida de um produto, teoricamente, desde a extração das matérias-primas, passando por seu transporte, processamento, uso e disposição final?

1.3 Justificativa

A questão ambiental, tem dominado praticamente todos os espaços de discussão. E isto ocorre porque, efetivamente, os problemas ambientais tornaram-se uma constante, sobretudo em áreas urbanas. Neste sentido pode-se citar: poluição, tráfego intenso, enxurradas, aglomerações, bolsões de pobreza, violência, enfim, uma série de problemas que têm assolado a sociedade nas últimas três décadas.

Sabe-se que o setor industrial é o maior poluidor. Não obstante ser este um fato amplamente reconhecido, a problemática da internalização dos impactos ambientais pelas organizações é recente.

Várias são as razões pelas quais as empresas têm se ocupado da questão ambiental, dentre as quais cumpre-se destacar pressão da sociedade civil organizada e, os mecanismos institucionais, ou seja, dispositivos de comando e controle ou instrumentos regulatórios.

Contudo, cabe ressaltar alguns aspectos importantes na presente discussão. Recentemente, alguns fatores vêm se tornando mais efetivos na questão do trato com o meio ambiente, relativos ao âmbito empresarial, quais sejam: fatores econômicos e instrumentos regulatórios.

Em relação ao aspecto econômico, as multas referentes a danos ambientais são relativamente elevadas e, ademais, há autores que sustentam que o desenvolvimento da legislação ambiental no país tem privilegiado os aspectos relacionados aos mecanismos de comando e controle ou regulatórios. Isto torna bastante provável que as organizações queiram evitar problemas com órgãos de fiscalização e, portanto, adotem medidas concernentes a atentar para o seu relacionamento com o Meio Ambiente.

Portanto, diante do que foi exposto, e, seguindo a linha de concentração em Qualidade e Produtividade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria, este trabalho justifica-se pelo fato de que poderá vir a auxiliar a empresa (estudo de caso) a sistematizar um procedimento, cuja finalidade seja a de obter melhorias em suas operações no intuito de melhorar seu desempenho ambiental.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral:

Realizar uma Análise de Ciclo de Vida na fabricação de Reservatórios de Água de Fibras Sintéticas¹, considerando as questões ambientais associadas aos sistemas de produção (insumos, matérias primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso e reciclagem).

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar oportunidades de melhorias nos processos, considerando as várias fases de um sistema de produção, relativamente à questão ambiental;
- Prestar auxílio na tomada de decisão; no estabelecimento de prioridades ou durante o projeto de produtos e processo, podendo levar à conclusão de qual é a questão ambiental mais importante;

1.5 Metodologia

Realizou-se, neste trabalho, um estudo de campo em uma empresa que produz artigos de plástico reforçado com fibra de vidro. Dentre os principais produtos fabricados pela organização, cita-se: piscinas e reservatórios de água.

A fim de acompanhar os processos de fabricação, determinou-se visitas semanais, com número de dias visitados nunca inferior a dois dias, com períodos variáveis entre três horas e meia à quatro horas.

Para o levantamento de informações acerca dos procedimentos e técnicas utilizados nos processos, procedeu-se a entrevistas diretas com o setor de produção, sobretudo com o gerente da área produtiva da empresa. Além disso, foi disponibilizado acesso acerca de

¹ Fabricação de Fibras, Fios, Cabos e Filamentos contínuos, artificiais e sintéticos; segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas _ CNAE _ 2441 - 4 - 00.

especificações técnicas de alguns materiais utilizados na produção dos reservatórios de água.

Na organização, tabulação e confecção de tabelas utilizou-se, predominantemente, a planilha eletrônica de dados Excell.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Relações entre economia e meio ambiente

2.1.1 A economia neoclássica como fundamento teórico da economia ambiental

A literatura econômica pertinente atribui a León Walras os créditos pelo colossal empreendimento teórico desenvolvido no âmbito da Ciência Econômica, ou seja, a Teoria do Equilíbrio Geral Walrasiano, Napoleoni (1963). Walras pressupôs, a partir de certas condições dadas, que seria possível determinar a quantidade de bens produzidos e trocados e não apenas os preços aos quais essa troca tem lugar. Em suma, assumindo a hipótese de concorrência perfeita nos mercados, o somatório das demandas individuais coincidiria com a oferta total de bens e serviços produzidos, resultando, assim, no equilíbrio geral do sistema econômico, Napoleoni (1963).

Posteriormente, o eminente Economista Vilfredo Pareto contribuiu para o aperfeiçoamento da Teoria do Equilíbrio Geral. Cabe salientar que Pareto foi o principal continuador de Walras no campo da teoria do equilíbrio econômico geral, Napoleoni (1963). Antes de prosseguir na argumentação, cumpre destacar a convergência em relação ao pensamento dos autores citados, na condição da concorrência perfeita.

Na contribuição acerca do equilíbrio econômico, Pareto assume, naturalmente, os pressupostos já evidenciados por Walras, no sentido conferido as propriedades da riqueza. Assim, a riqueza deveria, como tal, ser útil e limitada, ou seja, deveria ser: apropriável, objeto de troca e, ainda, objeto da atividade produtiva.

O que subsiste por trás destas argumentações é a idéia de racionalidade, mais especificamente a racionalidade econômica. Assim, dada uma certa combinação de fatores de produção _ assumindo a configuração clássica da função de produção $Y = f(K; W)$; onde: Y= produção física nacional; K= estoque de capital e W= trabalho (mão de obra)_ como alocar eficientemente os recursos escassos?

Pareto, *apud* Napoleoni (1963) introduz o conceito de *ótimo*, segundo o qual, partindo de certas condições, no caso da produção em relação à disponibilidade de recursos e à técnica de produção, uma configuração produtiva se diz máxima (ou eficiente) quando não for possível aumentar a produção de um bem, sem diminuir a produção de qualquer outro. Raciocínio análogo pode ser realizado para o consumo.

A noção de ótimo, ponto de ótimo ou ainda eficiência econômica, será fundamental no raciocínio que se segue, uma vez que a chamada Economia Ambiental tem como base o instrumental teórico-analítico fornecido pela Escola Econômica Neoclássica. Ademais, toda argumentação do arcabouço neoclássico se dá em torno de escolhas ou preferências, sujeitas a uma dada restrição; assim, cumpriria aos agentes econômicos, produtores e consumidores, maximizar seus resultados ou, minimizar suas perdas.

Cabe salientar, antes de aprofundar a análise, que os vários autores de orientação neoclássica tinham presente a noção de escassez. Entretanto, a escassez a que se referiam estava voltada aos fatores de produção tradicionais, ou seja, capital, insumos e trabalho; exatamente os elementos constituintes da função de produção. Isto corrobora a visão da economia enquanto sistema fechado, ou seja, um contínuo fluxo entre os agentes econômicos. Neste sentido, as famílias adquirem bens de consumo fornecidos pelas empresas, e estas remuneram o fator trabalho e ainda o capital. A lógica é simples e ocorre num contexto de interdependência entre os agentes econômicos.

Apesar de todo o rigor analítico, com que se apresenta a teoria neoclássica, na determinação do equilíbrio geral da economia, cumpre destacar que na maior parte da literatura econômica não se encontra referência ao meio ambiente, ao menos, diretamente. Contudo, uma das raras exceções deve ser referenciada, reportando-se a Thomas R. Malthus, *apud* Napoleoni (1963), em seu “Ensaio sobre a população” no qual alertava para as discrepâncias entre o crescimento, a taxas geométricas, da população e da produção de alimentos, a taxas aritméticas. Sua argumentação demonstrava uma preocupação com a pressão demográfica sobre a estrutura produtiva da época. Posteriormente, em 1920, Arthur C. Pigou, *apud* Napoleoni (1963), fez referência à imposição de taxas pelo poder público no intuito de gravar os efeitos externos da produção industrial. Este será o tema central da próxima seção.

2. 1. 2 As externalidades

Partindo dos pressupostos da economia neoclássica e evocando a idéia da mão invisível, segundo a qual a oferta se iguala a demanda a um dado preço de equilíbrio, têm-se então o ponto de ótimo da economia. Contudo, a noção de ponto de ótimo de produção, ou da maximização dos lucros, por parte dos produtores, e da satisfação das necessidades,

por parte dos consumidores, envolve apenas aspectos analíticos e quantitativos. A figura a seguir evidencia o raciocínio desenvolvido.

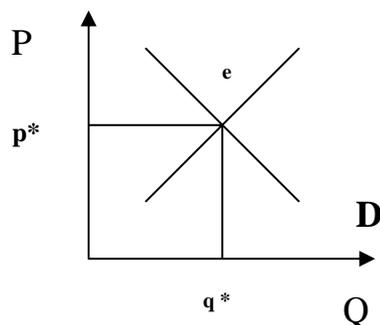


Figura 1 – Alocação ótima dos recursos na economia neoclássica

Fonte: exemplo hipotético.

A figura acima demonstra que sob a hipótese de concorrência perfeita, oferta (**O**) e demanda (**D**) se ajustarão até que se estabeleça um dado nível ótimo de produção (**q***), que corresponda ao nível de preços de equilíbrio (**p***). Isto significa, teoricamente, que todos os recursos econômicos e produtivos encontram-se alocados eficientemente.

Aqui, cabe salientar que, não obstante a longa história da economia neoclássica, as primeiras preocupações de ordem ambiental são relativamente recentes. Entretanto, tais preocupações surgem sob o conceito de externalidades.

Formalmente, a literatura econômica em geral, exceto estudos mais recentes, referem-se as *externalidades* como sendo relações que ocorrem entre produção, consumo ou, ainda, sob a forma cruzada. Em suma, diz-se que há externalidades quando a ação de algum agente econômico afeta o bem-estar de outros agente(s), positiva ou, negativamente, sem que haja, contudo, compensações. Exemplos neste sentido são abundantes. Entretanto, suponha-se o caso de uma empresa mineradora cujas operações venham a poluir um determinado rio, cuja sobrevivência dependa uma comunidade local de pescadores. Têm-se nesse caso, externalidades, ou seja, custos externos imputados a outrem, decorrentes das operações de produção, sem que com isso tenha havido qualquer compensação.

2. 1.3 A noção do ótimo de poluição

O tratamento formal dado pela teoria econômica acerca das externalidades como sendo “falhas de mercado”, parece omitir uma espécie de julgamento de valor, logo, se estabelece deliberadamente uma hierarquia de prioridades. Neste sentido, crescimento econômico x preservação ambiental, ou crescimento econômico x qualidade ambiental. Na realidade, na ausência de ações efetivas no sentido do desenvolvimento sustentável, o embate terminará com “algum grupo sofrendo as conseqüências”, ou seja, arcando com os custos de uma maior ou menor degradação ambiental. Com efeito segundo Kapp, *apud* Alier & Jusmet (2001), em uma visão crítica, aponta para o fato de que as externalidades não seriam falhas de mercado, mas sim, deploráveis êxitos em transferir custos a outrem.

Portanto, não sendo possível introduzir diretamente o ambiente numa função de utilidade ou de custo, o conceito de efeito externo é o principal meio econômico que permite fazer referência, através das funções de utilidade ou de custo, aos efeitos ambientais do consumo ou da produção econômicos, Pillet (1993). Ao não se considerar os custos externos decorrentes das atividades industriais, o ponto de equilíbrio entre oferta e demanda será superior ao que seria se tais custos fossem internalizados pelas empresas.

No contexto das externalidades, o problema reside em saber quanto deveriam pagar os agentes para degradar o meio ambiente, ou, quanto deveriam os acometidos pela degradação receberem, para permitir uma piora na qualidade ambiental.

Reportando-se a figura 1 (p. 08), anteriormente apresentada, pode-se considerar a curva de demanda (**D**) como sendo o benefício Marginal Privado Líquido (**BMPL**)². Assim, em termos microeconômicos, quando a utilização do ambiente é “livre”, ou, conforme comenta Pillet(1993), não sujeita a qualquer regra, a não ser o lucro, um poluidor produzirá até o ponto em que o seu benefício marginal privado líquido seja zero, conforme apresenta a figura a seguir.

Em outras palavras, o *quantum* de produção, ou seja, a oferta agregada de bens e serviços, em dada economia, encontrar-se-á, por hipótese, no ponto q1, isto, na inobservância de parâmetros legais de quantificação e restrição quanto ao permitido poluir. Contrariamente, admitindo-se a existência de legislação específica acerca do quanto seja

² Benefício Marginal privado Líquido (BMPL): em outras palavras, o lucro, dado pela diferença entre o preço P e o custo marginal de produção C_{mg}.

permitido poluir, o mais provável é que as firmas busquem internalizar os custos relativos as externalidades que, por ventura, provoquem.

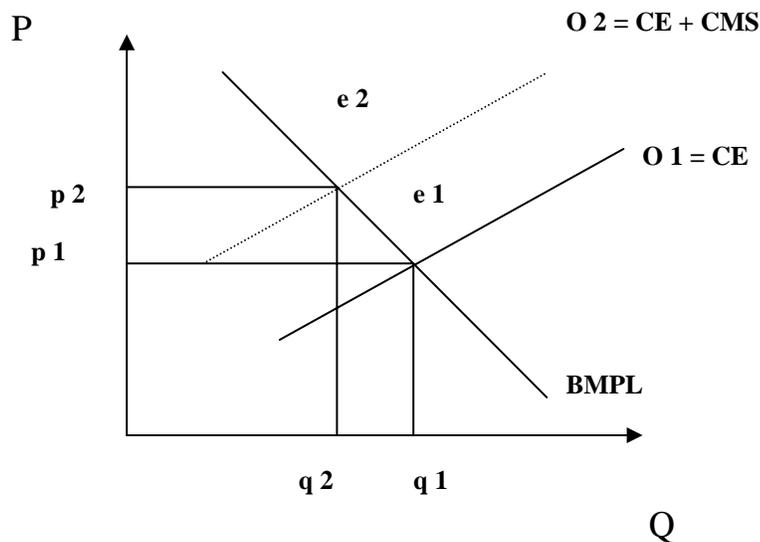


Figura 2 – O ótimo de poluição
 Fonte: Exemplo hipotético.

Tendo em vista a representação esquemática acima, no ponto de equilíbrio representado por **e1**, admitindo-se, por hipótese, que não se tenham internalizados os custos externos (**CE**) ou os custos marginais sociais, o equilíbrio ocorre ao nível de produção **q1**. Entretanto, suponha-se que os custos marginais sociais ou custos externos tenham sido internalizados, e, em decorrência disto, o preço se desloca para o nível **p2**. Nesta nova configuração, o equilíbrio se desloca para **e2**, tendo como consequência um nível de produção **q2 < q1** e, por conseguinte, uma oferta **o2 < o1**.

A argumentação feita nesta seção é plenamente plausível do ponto de vista do arcabouço da economia neoclássica. Contudo, cumpre salientar algumas considerações. Neste raciocínio, os resultados apresentados são válidos sobretudo se for considerado que a função de produção é de proporções fixas, ou seja, que um menor nível de poluição somente seria atingido a um nível de produção quantitativamente inferior.

As primeiras formulações da economia neoclássica consideraram uma função de produção do tipo $Y = f(K; W)$, ou seja, a totalidade da riqueza produzida em função de capital e trabalho. As formulações posteriores, incluíram os recursos naturais $Y = f(K; W;$

RN), onde: Y= totalidade da produção física; K= estoque de capital; W= trabalho; RN= recursos naturais _ no entanto, a função manteve sua forma multiplicativa, ou seja, manteve a relação de perfeita substitutibilidade entre capital, trabalho e recursos naturais e, assim, a suposição de que os limites impostos pela disponibilidade de recursos naturais podem ser indefinidamente superados pelo progresso técnico que os substitui por capital ou trabalho, Romeiro (2003).

2. 2 Do econômico para o ecológico

Atualmente observa-se uma tendência de transição da percepção do Enfoque baseado na Economia Ambiental para a Economia Ecológica. Em outras palavras, avança-se na direção do ecológico para o econômico. E isto, não obstante, algumas instituições, tais como o Banco Mundial, Fundo Monetário Internacional, dentre outros órgãos, basearem suas decisões sobre financiamentos a projetos tendo por base o instrumental analítico da Economia Ambiental, ou seja, a corrente principal, talvez, ainda seja a Economia do Meio Ambiente. Entretanto, tal fato deve-se mais a uma questão de mercado do que propriamente de mérito e conveniência.

A Economia Ambiental, de base antropocêntrica, admite a possibilidade de valoração do meio ambiente, e o faz, através de inúmeras técnicas quantitativas e, além disso, os chamados otimistas tecnológicos, afirmam o incessante intercâmbio entre capital natural e capital construído. Isto equiivale dizer que a relação que se estabelece entre capital natural e capital construído é de perfeita substitutibilidade, ou seja, isto corrobora a visão da *sustentabilidade fraca*.

Entretanto, para a Economia Ecológica, o meio ambiente não pode ser avaliado monetariamente, nem mensurado de forma cardinal, uma vez que a sua importância é intangível a percepção das pessoas e ultrapassa os limites das gerações futuras.³

Os parágrafos precedentes podem ser melhor explicados segundo a citação a seguir, na acepção de Callenbach *et al* (1993, p88):

O ambientalismo superficial é antropocêntrico: encara os humanos como a fonte de todo valor e atribui apenas o valor de uso à natureza. A ecologia profunda reconhece o valor intrínseco de todos os seres vivos e encara os humanos simplesmente como um determinado fio da teia da vida.

Assim, a Economia Ecológica defende que o sistema econômico faz parte de um sistema ecológico maior e que o equilíbrio deste último deveria ter prioridade sobre as metas e a racionalidade econômica.⁴

A questão dos limites também deve ser referenciada em relação aos sistemas. Nos esquemas analíticos convencionais a restrição ao crescimento estaria restrita ao capital na forma de investimentos _ na Economia Ambiental $Y = f(K; W; RN)$. Opostamente, a Economia Ecológica reconhece que o sistema econômico está inserido no sistema maior, que seria o próprio ambiente, como demonstra a figura a seguir:

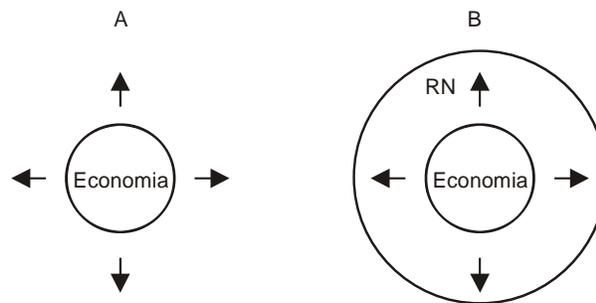


Figura 3 _ Representação esquemática: Economia do Meio Ambiente versus Economia Ecológica.

Fonte: Romeiro 2003, adaptado.

Assim, de uma posição de base antropocêntrica, a Economia Ambiental, passa a outra perspectiva, a da Economia Ecológica, onde deve-se reconhecer que o sistema humano _ o que incluiu a própria economia _ é um subsistema dentro de um sistema mais amplo.

Não há um consenso acerca da Economia Ecológica, ao contrário, há alguns pontos de convergência _ controversos _ restando isto sim, muita pesquisa e reflexão.

³ Souza, Renato Santos de. **Entendendo a questão ambiental: temas de economia, política e gestão do meio ambiente**. Santa Cruz do Sul: Edunisc, 2000.

Entretanto, a Economia Ecológica é um novo campo de estudo transdisciplinar,⁵ que se reporta as relações entre o ecossistema e o sistema econômico em amplo sentido. Tais relações são centrais em muitos dos problemas recorrentes da humanidade e, para construir um futuro sustentável, porém, não são bem cobertas por nenhuma disciplina científica existente.⁶

Contudo, conforme comentado anteriormente, há dissensões em torno desta disciplina. Há autores mais otimistas, sobretudo, em relação aos avanços tecnológicos e há autores que adotam primordialmente uma postura identificada como o *princípio da precaução*. Neste sentido, “a aplicação deste princípio tem por objetivo precisamente tratar de situações em que é necessário considerar legítima a adoção por antecipação de medidas relativas a uma fonte potencial de danos sem esperar que se disponha de certezas científicas quanto às relações de causalidade entre a atividade em questão e o dano temido”.⁷ No entanto, questões como a Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica parecem ser questões fechadas. Torna-se surpreendente notar que até mesmo a questão da sustentabilidade gera controvérsias.

Neste contexto, do ponto de vista estritamente econômico, variações no Produto da economia (PNB; PIB)⁸, no sentido do crescimento, somente seriam possíveis mediante incremento no consumo de recursos produtivos (o que inclui os recursos naturais). Ocorre que na visão da Economia Ecológica, de acordo com a Lei de Conservação de Matéria e Energia, nada se cria, o que ocorre são rearranjos no sistema. Ademais, suponha-se que ao iniciar-se um ciclo produtivo, considerando o início de um exercício fiscal, na linguagem contábil, o sistema econômico parte de um determinado nível de organização do sistema e, a medida em que transforma os recursos, procede a um estado de desordem, tem-se então a chamada Lei da Entropia ou desordem crescente. Uma dedução lógica dessas leis seria a de que se parte da energia sobre a qual atua a ação humana, divide-se em energia disponível

⁴ Idem, (p. 142).

⁵ Transdisciplinar, pois envolve várias áreas do conhecimento, dentre as quais, Economia, Ecologia, Biologia, Geologia, Engenharias, enfim, cada estudo contém suas particularidades e, com isto, requer áreas específicas.

⁶ COSTANZA (1991, p. 3).

⁷ Romeiro (2003, p. 21).

⁸ Produto Interno Bruto (PIB): é o valor total da produção atual de produtos e serviços finais obtida dentro do território nacional, num determinado período de tempo, normalmente um trimestre ou um ano. Contudo, há que se estabelecer a diferença entre PIB e PNB ou Produto Nacional Bruto: O PIB, mede a renda dos fatores de produção dentro das fronteiras nacionais, não importa quem obtenha a renda. O PNB mede a renda dos

ou apropriável e, parte em energia dissipada ou utilizada, a cada vaga de crescimento corresponderia a uma determinada parcela de degradação na qualidade de vida no planeta.

Neste ponto, alude-se a questão da sustentabilidade ecológica. Uma definição sumária do que seria sustentabilidade, poderia assim ser sintetizada: atender às necessidades da geração atual, resguardando o direito das futuras gerações em atender suas próprias necessidades. Contudo, tal conceito requer algumas observações. Primeiramente, relembrando as condições técnicas da função de produção da economia neoclássica, tal conceito de sustentabilidade implica a noção de substitutibilidade entre capital produzido e capital natural. Em outras palavras, os avanços tecnológicos tornariam possível substituir recursos produtivos (tanto produzidos quanto naturais). Além disso, de um ponto de vista estritamente econômico, crescimento implica que “quanto mais melhor”. Entretanto, como garantir às gerações vindouras o acesso aos recursos produtivos, sobretudo naturais, mantidos os atuais padrões de consumo e, ainda, o crescimento da afluência e a desigual distribuição de renda.

Dentro deste contexto, cabe ainda salientar que em termos macroeconômicos, o fato de não se caracterizar, contabilmente, a depleção dos recursos naturais, implica em resultados viesados para alguns componentes das Contas Nacionais.⁹ Como exemplo cita-se o caso da extração de recursos madeireiros, em que somente o valor comercial deste recurso é contabilizado na geração da riqueza, enquanto os custos da degradação e externalidades, via de regra, têm sido negligenciados.

Existem estimativas para o Brasil que indicam valores substanciais, no que diz respeito aos custos da degradação dos recursos naturais renováveis e não renováveis. Porém, cumpre destacar que a tendência a sistematizar tais custos é extremamente recente no caso do Brasil. Isto torna-se facilmente inteligível, ao se considerar as potencialidades e riquezas que apresenta o País, no que diz respeito à abundância de recursos provenientes da natureza, neste sentido, fauna, flora, minérios, reservas de petróleo e gás natural, bem como, o potencial de algumas regiões e rios brasileiros na geração potencial de energia.

residentes da economia, não importando se a renda é obtida na produção doméstica ou em produção externa. Sachs, Jeffrey D; Larrain, Felipe, B. **Macroeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1998.

⁹ As Contas Nacionais, são uma sistematização de todas as transações realizadas pelo país, num determinado exercício (anual), constantes da disciplina Contabilidade Social.

Tabela 1 – Exemplo de ajuste do PIB para o Brasil, segundo o SICEA (R\$ mil de 1995)¹⁰

	Total a preço de consumidor
A . Oferta de bens e serviços	1.263.278,160
B . Uso de bens e serviços	1.263.278,160
C. PIB	653.558,100
D. Depleção de recursos exauríveis (D1+D2)	2.345,580
D1 . Depleção de recursos minerais	1.845,430
D2 . Depleção de recursos madeireiros	500,150
E . Custos de degradação	570,000
F . PIB ambientalmente ajustado 1 (Y1=C-D)	651.212,500
G . PIB ambientalmente ajustado 2 (Y2=F-E)	650.642,520

Fonte: Young (2003, p. 128) adaptado; valores corrigidos para jul. de 2004 pelo IGP-DI/FGV.

De acordo com os dados constantes na tabela, nota-se os valores substanciais da depleção dos recursos naturais. Logo, deduz-se que torna-se necessário incluir ajustes nas contas nacionais, a fim de obter estimativas o mais aproximadas possíveis dos valores, tanto da riqueza produzida quanto de seus reais custos.

A noção de sustentabilidade tal como é percebida pela Economia Ambiental, difere substancialmente de como a Economia Ecológica observa este conceito. Para esta última, “sustentabilidade” é a relação entre sistemas econômicos dinâmicos e sistemas maiores, mas, normalmente, com uma mudança mais lenta nos sistemas ecológicos onde: 1) a vida humana possa continuar indefinidamente; 2) a humanidade possa progredir; 3) a cultura humana possa desenvolver-se; porém, os efeitos das atividades humanas devem permanecer dentro de limites, sem destruir a diversidade, a complexidade e a função ecológica dos sistemas de suporte da vida.¹¹

A partir desta consideração, decorre então o caráter de um campo de estudo transdisciplinar, onde se torna praticamente impossível abordar as questões relacionadas a meio ambiente, ecologia, economia, sustentabilidade dentre outras áreas, a partir de uma única abordagem.

Conforme aponta Christensen (1991, p. 76) a respeito da corrente da economia ambiental _ representada pela Escola Neoclássica _ sua representação econômica refere-se a um sistema de trocas onde agentes dispõem de um limite finito de recursos substituíveis em direção a um fim determinado, ou seja, a produção de bens e serviços. Assim, escassez,

¹⁰ SICEA: Sistema Integrado de Contas Econômicas e Ambientais.

¹¹ Costanza (1991, p. 7).

retornos decrescentes e feedback negativo encerram a concepção de uma economia auto regulada.

Entretanto, ainda segundo Christensen (1991), tal concepção é inadequada do ponto de vista da economia ecológica, pois não leva em consideração os fluxos de material, energia, sistemas de informação do desenvolvimento das formas de vida e seus sistemas de suporte.

Opostamente, uma perspectiva biofísica dá ênfase aos materiais, fontes de energia, tecnologias e processos de informação sob a atividade econômica. Esta perspectiva enfatiza o retorno ou feedback da exploração dos estoques dos materiais e combustíveis, os avanços tecnológicos, retornos crescentes na produção e a competitividade obtida através das inovações. Neste sentido, o feedback dinâmico positivo de tais sistemas propicia avanços relativos aos recursos naturais e para teorias e políticas ambientais.

Tal como na economia convencional, o ponto de partida do enfoque biofísico é a produção: descobrindo e extraindo materiais e energia, transformando-os e produzindo máquinas e serviços, os quais realimentam o ciclo econômico. Entretanto, os insumos do enfoque ecológico econômico não são propriamente terra, trabalho e capital, mas sim, fluxos de materiais, energia, máquinas, trabalhadores, organizados para processar materiais, energia e informação.

Ainda, seguindo esta linha de raciocínio, conexões ecológicas moldam escolhas tecnológicas considerando a dinâmica da interação econômica, o ajustamento dos mercados. Assim, uma economia ecológica dá ênfase não apenas a economia em relação ao meio ambiente mas também as conexões físicas e interdependência dentro da própria economia.

A tecnologia têm sido o coração do crescimento econômico no ocidente. Entretanto, o aspecto financeiro não deve ser o principal instrumento para estimular e administrar tecnologias e inovações. Este aspecto deve ser realçado, pois, no que diz respeito aos recursos naturais e também as políticas ambientais, onde os bens públicos são afetados sobremaneira pelas tecnologias vigentes, certamente, presume-se que o mercado e o sistema de preços não são os únicos ou melhores instrumentos para administrar mudanças tecnológicas, Christensen (1991).

Dentro de um contexto de uma economia de retornos crescentes¹², esta gera crescentes pressões sobre os recursos naturais e a capacidade de absorção dos ecossistemas locais e da biosfera como um todo. A questão básica é: como controlar e administrar tal sistema econômico e reconciliá-lo com critérios de sustentabilidade dos ecossistemas naturais que desenvolvem-se sob condições de recursos limitados e que são vulneráveis a potenciais degradações irreversíveis.

Na visão de El Serafy (1991), a questão é se em termos práticos a tecnologia desenvolve-se rápido o suficiente para resolver os nossos problemas de degradação; de acordo com o autor a resposta seria negativa. Isto porque em sua opinião, se as coisas continuarem como estão será mais custoso reparar danos do que atentar para evitar prejuízos.

Contudo, na concepção do autor referenciado no parágrafo anterior, a adoção de um sistema de contabilidade ambiental para ajustar o PNB/PNL proveria informações úteis destinadas à formulação de políticas ambientais para empresas e governos.

Em suma, em contraste com uma economia de retornos decrescentes, pressuposta pela escola neoclássica, o enfoque biofísico ou ecológico reconhece operações de crescentes na transformação de materiais, energia e processos baseados no conhecimento.

Uma economia de retornos crescentes imprime enorme pressão sobre os recursos ambientais, os quais estão sujeitos a limites, esgotamento e destruição. Produção e consumo não são escolhas independentes. Tais escolhas devem ser feitas em relação às instituições e tecnologias que serão empregadas. Entretanto, políticas sociais e tecnológicas são cruciais e não podem ser totalmente avaliadas de um ponto de vista da estrutura atomística e mecanicista.

Dentro deste contexto, incrementos de retorno e feedback econômico positivo devem ser administrados, regulados e coordenados. Portanto, a preservação da sustentabilidade é uma condição primária do desenvolvimento econômico e social. O desenvolvimento econômico deve continuar num caminho que preserve a viabilidade ecológica. Isto requer o desenvolvimento de uma estrutura ecológica, econômica e social para avaliações e formulações de políticas, em suma, uma Economia Ecológica.

¹² De uma maneira grosseira ,pode-se dizer que há retornos crescentes de escala ,à medida que ao aumentar-se a produção, há uma diminuição de custos. Ver ainda: Pindyck, Robert S; Rubinfeld, Daniel L. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books ,1994.

2. 3 Breves considerações acerca de política ambiental, meio ambiente, inovação e competitividade

Segundo Lustosa *et al* (2003), crescimento industrial e processo de urbanização de forma rápida são fatores que impellem a adoção de políticas ambientais. Conceitualmente, Política Ambiental é o conjunto de metas e instrumentos que visam reduzir os impactos negativos da ação antrópica sobre o meio ambiente. Os instrumentos de política ambiental têm a função de internalizar o custo externo ambiental e podem ser divididos em três grupos: instrumentos de comando e controle ou regulação direta, instrumentos econômicos ou de mercado e instrumentos de comunicação. O quadro a seguir tem por objetivo sumariar as funções de tais elementos.

Comando e Controle	Instrumentos Econômicos	Instrumentos de Comunicação
Controle ou proibição de produto	Taxas e tarifas	Fornecimento de informação
Controle de processo	Subsídios	Acordos
Proibição ou restrição de atividades	Certificados de emissão transacionáveis	Criação de redes
Especificações tecnológicas	Sistemas de devolução de depósitos	Sistemas de gestão ambiental
Controle do uso de recursos naturais		Selos ambientais
Padrões de poluição para fontes específicas		Marketing ambiental

Quadro 1 _ Tipologia e instrumentos de política ambiental

Fonte: LUSTOSA *et al* (2003, p. 142).

No que diz respeito ao setor industrial, este é um dos que mais provoca danos ao meio ambiente, seja por seus processos produtivos ou pela fabricação de produtos poluentes e/ou que tenham problemas de disposição final após sua utilização. Contudo, na medida em que a preservação do meio ambiente tornou-se um fator de diferenciação para as empresas, caracterizando-se como uma oportunidade de negócios, surgiu a possibilidade de incluir preocupações ambientais em suas estratégias empresariais, por meio de práticas ecologicamente mais adequadas (adoção de tecnologias ambientais, implantação de sistema de gestão ambiental, racionalização do uso dos recursos naturais, entre outros, Lustosa *et al* (2003).

Há autores que divisam um *trade-off* entre as regulamentações ambientais e a competitividade das empresas, ou seja, normas e regulamentos enfim serão tão nocivos à capacidade competitiva das empresas quanto mais restritivos forem. Contudo, há uma posição mais flexível em relação a essa questão evidenciada pela chamada hipótese de Porter.

A hipótese de Porter “evidencia que os padrões/regulamentações ambientais, não necessariamente imprimem restrições a atuação das empresas. Estas poderiam reestudar seus processos e procedimentos no sentido de utilizarem de modo mais eficiente os recursos a sua disposição, reduzindo custos e compensando gastos com as melhorias ambientais. Deste modo, a preservação ambiental estaria associada ao aumento da produtividade dos recursos utilizados na produção e conseqüentemente, ao aumento da competitividade, da empresa, Lustosa (2003).

A hipótese de aumento da produtividade dos recursos é sustentada por Lustosa (2003, p. 161), como se segue:

O aumento da produtividade dos recursos é possível porque a poluição é, muitas vezes, um desperdício econômico. Resíduos industriais, sejam sólidos, líquidos ou gasosos, podem ser reaproveitados, utilizando-os para a co-geração de energia, extraindo substâncias que serão reutilizadas e reciclando materiais. Ao analisar o ciclo de vida do produto, há também outros desperdícios, como o excesso de embalagens e o descarte de produtos que requerem uma disposição final de alto custo. Tanto o desperdício dos resíduos industriais quanto os desperdícios ao longo da vida dos produtos estão embutidos nos preços dos produtos, fazendo com que os consumidores paguem sem perceber, pela má utilização dos recursos.

2. 3. 1 Determinantes do investimento ambiental

Sabe-se que quatro importantes fatores induzem à adoção de boas práticas ambientais: pressão das regulamentações ambientais, pressão dos consumidores finais e intermediários e a pressão dos stakeholders e investidores, Lustosa (2003)¹³.

Além dos fatores já citados, acrescenta-se outro não menos importante, que é a extensão dos passivos ambientais¹⁴ e os custos associados. Afirma-se que uma das

¹³ Segundo VINHA (2003, p. 178), o termo Stakeholder, inclui além de todos os membros da cadeia produtiva, as comunidades, as ONGS, o Setor Público e outras firmas e indivíduos formadores de opinião.

principais razões da não adoção de princípios e práticas ambientais (SGA) pelas empresas, residia na visão curto prazista que rivalizava entre lucro máximo e pesados investimentos em tecnologias ambientais.

Entretanto, verificou-se que as tecnologias ambientais tinham um potencial inverso, ou seja, reduziam custos por meio de uma melhor racionalização dos processos produtivos, particularmente no uso de insumos e no desperdício, levando à rápida disseminação da gestão ambiental baseada no gerenciamento da qualidade total, Vinha (2003).

Neste contexto, na Conferência da Rio-1992, o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) apresenta o conceito de ecoeficiência, que seria, em sua opinião, o termo que melhor exprimiria a meta de integrar eficiência econômica e eficiência ecológica. A definição de eco-eficiência segundo o WBCSD é a seguinte:

A ecoeficiência é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, ao mesmo tempo que reduz progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida a um nível no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada da terra.

Relativamente a atuação das empresas no quesito meio ambiente, conforme Hart *apud* Vinha (2003), “a perspectiva de obter vantagem competitiva dependerá fundamentalmente, da capacidade da empresa de desenvolver habilidades específicas para operar em ambientes de alta sensibilidade ecológica”.

De acordo com Lustosa (2003), após três décadas de debates sobre o crescimento econômico e a pressão sobre os recursos naturais, chegaria-se a conclusão de que não o crescimento econômico, mas sim, o padrão tecnológico, até então adotado nos países industrializados, ou seja, padrão intensivo em energia e em recursos naturais, poderia esbarrar nos limites da finitude dos recursos ambientais.

Ainda segundo a mesma autora, um problema que se torna central seria como induzir mudanças tecnológicas na direção de tecnologias mais limpas, a fim de obter sustentabilidade ambiental, ou seja, que os recursos naturais sirvam para as gerações atual e

¹⁴ Passivo Ambiental: Resultado econômico das empresas passível de ser sacrificado em função da preservação, recuperação e proteção ao meio ambiente. Maimon, Dalia. **ISO 14001: passo a passo da implantação das pequenas e médias empresas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

futura, e que os níveis de poluição sejam reduzidos mesmo com o aumento da produção. Entretanto, em sua opinião, este seria um problema complexo, multidimensional, interdisciplinar e sem uma resposta única.

Há comumente, uma visão que confronta crescimento da produção industrial com preservação ambiental. Muito embora advogue-se que as novas tecnologias relacionadas à processos de produção tais como tecnologias limpas, administração pela qualidade total e técnicas poupadoras de energia e recursos naturais, possam conciliar crescimento econômico versus conservação/preservação ambiental. Há, entretanto, que se considerar alguns fatores. Com efeito, para Lustosa (2003) a poluição industrial e a intensidade do uso de recursos naturais são altamente afetadas pela escala da atividade industrial (efeito escala), por sua composição setorial (efeito composição) e pelas tecnologias utilizadas (efeito tecnologia).

Em relação aos referidos efeitos citados anteriormente a citação que segue tem por objetivo esclarecer tais argumentos, segundo Lustosa *et al* (2003, p. 149):

[...] a estratégia de investimento associada à industrialização por substituição de importações no Brasil privilegiou setores intensivos em emissão. A motivação inicial do processo de industrialização por substituição de importações era baseada na percepção de que o crescimento de que uma economia periférica não poderia ser apenas sustentada em produtos diretamente baseados em recursos naturais (extração mineral, agricultura ou outras formas de aproveitamento de vantagens comparativas absolutas definidas a partir da dotação de recursos naturais). Contudo, embora o Brasil tenha avançado na consolidação de uma base industrial diversificada, esse avanço esteve calcado no uso indireto de recursos naturais (energia e matérias-primas baratas), em vez de expandir-se através do incremento na capacidade de gerar ou absorver progresso técnico _ chave para o crescimento sustentado, mas que ficou limitado a algumas áreas de excelência.

Ainda em relação ao embate entre crescimento industrial e conservação/preservação ambiental, segundo Lustosa (2003), alguns economistas flexibilizaram o *trade off* entre regulamentações e competitividade industrial _ a hipótese de Porter. Neste sentido, conforme a autora citada, as regulamentações redefinem as possibilidades de atuação da empresa, determinando seu grau de liberdade para tomar decisões por meio da definição de padrões a serem obedecidos. O argumento é de que a imposição de padrões ambientais adequados pode estimular as empresas a adotarem inovações que reduzem os custos totais

de um produto ou aumentem seu valor, melhorando a competitividade das empresas e, conseqüentemente, do país.

Seguindo esta linha de raciocínio, dificilmente o mercado conseguirá direcionar ações das empresas em direção a um maior cuidado com o meio ambiente, assim, os meios institucionais são de fundamental importância na ordenação das demandas ambientais, segundo os diversos setores industriais.

Os acontecimentos relacionados às mudanças climáticas, acidentes ambientais, dentre outros fatores que afetam a sociedade do chamado mundo industrial, têm alertado tais comunidades no sentido de uma maior conscientização dos problemas ambientais relacionados à produção e ao consumo. Tais fatores associados ao aumento da consciência ambiental têm levado alguns segmentos sociais a selecionar empresas e produtos que adotem boas práticas ambientais.

Os investidores possuem especial interesse em relação a que práticas de gerenciamento ambiental sejam adotadas pelos empreendimentos, pois abusos e negligências em relação ao meio ambiente tendem a afetar sobremaneira o valor de mercado das ações da empresa e também sua imagem perante a sociedade.

2. 3. 2 A mudança de paradigma

Em relação aos aspectos econômicos, no que diz respeito aos custos com proteção ambiental, passou-se de uma posição reativa para uma posição criativa. Conforme Callenbach *et al* (1993), nos anos 80 os gastos com proteção ambiental começaram a ser vistos pelas empresa líderes não primordialmente como custos, mas sim como investimento no futuro e, paradoxalmente, como vantagem competitiva. A atitude passou de defensiva e reativa para ativa e criativa.

Assim, surgia um novo paradigma, que poderia ser denominado como uma nova visão de mundo, não mais tendo como referencial o pensamento mecanicista, mas sim, uma visão sistêmica, a visão do mundo como um todo, trazendo em seu bojo um novo sistema de valores com as correspondentes concepções e novas práticas, sobretudo de relacionamento com o meio ambiente.

Conforme Callenbach *et al* (1993), três elementos-chave são característicos das estratégias da administração com consciência ecológica: inovação, cooperação e comunicação, tais elementos podem ser sumariamente caracterizados:

- **Inovação:** ao contrário das tradicionais inovações poupadoras de capital e trabalho, as estratégias com consciência ecológica requerem inovações eco-favoráveis e conservadoras de recursos. Essas inovações ecológicas podem ser de dois tipos: as que diminuem o impacto ambiental das operações de uma empresa, e as que trazem vantagens ecológicas ao consumidor. As primeiras geram economias de custos, e as últimas geram vantagens competitivas.
- **Cooperação:** a importância da cooperação entre os agentes do ciclo completo de vida de um produto _ das matérias-primas, passando pela produção, até o uso e o descarte _ deriva do fato de que os efeitos econômicos e ecológicos obedecem à leis diferentes. Enquanto a competição é o princípio norteador no primeiro caso, a cooperação é essencial ao segundo.
- **Comunicação:** nas estratégias tradicionais de administração, comunicação e relações públicas são entendidas como componentes de marketing, restringindo-se à publicidade de produto ou institucional. Nas estratégias de administração com consciência ecológica, ao contrário, a tarefa de comunicação adquire uma importância estratégica global, devido à crise de confiança que afeta as empresas individualmente e setores inteiros.

Segundo Vinha (2003), o processo de internalização do conceito de desenvolvimento sustentável não evoluiu da mesma forma em todos os setores industriais e em firmas de todos os portes. Se nos setores notoriamente poluentes (petroquímico, metalúrgico, papel e celulose) e nas multinacionais avançou mais, deve-se à maior influência dos agentes de pressão, anteriormente descritos, e à magnitude dos custos associados ao passivo ambiental.

A referida autora afirma ainda que, em relação ao paradigma dominante de que negócios e meio ambiente seriam conflitantes: “o modelo de gestão conhecido como eco-eficiência, ao substituir alterações pontuais e dispendiosas permitiu significativa economia

de recursos, incrementou a produtividade e a eficiência, resultando em vantagens de custos sobre os competidores”.

Como já destacados anteriormente, os limites das empresas, no tocante a sua atuação tendo em conta a interação com o meio ambiente, são determinados por vários entes dentre os quais cumpre-se destacar: as legislações nas três esferas, ou seja, federal, estadual e municipal, os stakeholders, ou os grupos de interesse ligados direta ou indiretamente às empresas, bem como os acionistas cujos interesses situam-se não somente nas expectativas de resultados a curto prazo, mas também num horizonte mais dilatado de tempo.

Em suma, é possível divisar dois conceitos em relação à gestão ambiental: “administração ambiental” e “administração ecológica”. Usa-se o primeiro termo para designar a abordagem defensiva e reativa, exemplificada pelos esforços ambientais reativos e pela auditoria de cumprimento; e o segundo termo para designar a abordagem ativa e criativa desenvolvida na Alemanha. O objetivo do gerenciamento ecológico é minimizar o impacto ambiental e social das empresas e tornar as suas operações tão ecologicamente corretas quanto possível.

Contudo, isto somente será possível às empresas que tenham a preocupação de internalizar as questões ambientais em todas as suas esferas de decisão. Em outras palavras, um desempenho ambiental o mínimo aceitável somente estará ao alcance das empresas que estiverem preparadas para lidar com as questões ambientais relacionadas as suas operações.¹⁵ Este é, basicamente, o tema da próxima seção.

2. 4 Em direção a melhoria ambiental

As organizações podem ser classificadas no que diz respeito a sua atuação ambiental em reativas e pró-ativas. Entre as organizações ditas reativas, a indício do nome, incluem-se primordialmente as empresas que buscam reagir às regulamentações, ou seja, praticamente atuando no limite das legislações ambientais pertinentes. Suas ações ocorrem no sentido de remediar uma situação ocorrida, em geral de impacto adverso ao meio

ambiente. Em outras palavras, trata-se de organizações que, no máximo, adotam as chamadas soluções *end-of-pipe*, ou soluções de final de tubo. Em suma, situam-se num patamar incipiente, no que diz respeito ao tratamento das questões ambientais.

Em situação claramente oposta, encontram-se as organizações conhecidas por seu comportamento essencialmente pró-ativo, ou seja, mediante ações planejadas, visam prevenir situações de impacto ao meio ambiente, antecipando-se até mesmo às legislações ambientais.

A fim de atingir um determinado padrão de desempenho ambiental, indubitavelmente, uma organização deve possuir, em seu sistema de gestão, um sistema de gerenciamento ambiental com a correspondente estrutura subjacente.

Assim, uma das maneiras de uma organização atingir um desempenho ambiental compatível com as atuais demandas ecológicas seria através da adoção de um sistema de normas voluntárias, a saber: Normas BS 7750; Série ISO 14000 e o padrão europeu EMAS (Ecomanagement and Audit Scheme), para citar algumas. Não obstante a importâncias das normas citadas, este trabalho fará referência explícita à série de normas ISO 14000.

Segundo Valle (2000), um novo passo para a abordagem sistêmica das atividades relacionadas ao meio ambiente foi dado pela British Standard Institution (BSI) em 1992, com a homologação da norma BS 7750, a qual cria procedimentos para se estabelecer um Sistema de Gestão Ambiental nas organizações. A norma BS 7750 serviu de base para a elaboração das normas internacionais da série ISO 9000 de Gestão da Qualidade, já adotadas universalmente. A versão de 1994 da norma BS 7750 serviu também de base para a elaboração da norma ISO 14001 _ Sistemas de Gestão Ambiental _ Especificações e Diretrizes para uso.

Com a experiência acumulada na elaboração das normas da Série ISO 9000 e, concomitantemente, as ações que já vinham sendo tomadas por diversos países para criar suas próprias normas de gestão e certificação ambiental, a ISO criou em 1993, um novo comitê técnico, o TC 207, incumbido de elaborar normas internacionais que assegurem essa abordagem sistêmica à gestão ambiental e possibilitem a certificação das organizações e dos produtos que as cumpram.

¹⁵ Desempenho ambiental: conjunto de resultados com a gestão dos aspectos ambientais da organização. Luiz Antônio Abdalla de Moura (2000, p. 80).

Essa nova série recebeu a designação de ISO 14000 e, a exemplo das normas ISO 9000, se aplica tanto às atividades industriais e de serviços. Ao contrário, entretanto, da ISO 9000 que trata apenas da certificação das instalações das organizações e de suas linhas de produção que cumprem seus requisitos de qualidade, a ISO 14000 também possibilita a certificação dos produtos e serviços que satisfaçam os padrões de qualidade ambiental através dos sistemas de rotulagem ambiental.

As normas ISO são voluntárias e não prevêm a imposição de limites próprios para medida da poluição, padronização de produtos, níveis de desempenho etc. São concebidas, ao contrário, apenas como um sistema orientado para melhorar o desempenho ambiental da organização através da melhoria contínua de seu sistema de gestão.

Neste sentido, para uma organização obter a certificação ambiental, deve cumprir alguns requisitos gerais, quais sejam: ter implantado um Sistema de Gestão Ambiental, cumprir a legislação ambiental aplicável ao local da instalação e assumir um compromisso com a melhoria contínua de seu desempenho ambiental.

Conforme salienta Valle (2000), além da norma ISO 14001 de validade internacional, existem ainda duas outras alternativas que facultam a obtenção da certificação ambiental por uma organização: a Norma Britânica BS 7750 e o Regulamento Europeu EMAS (Ecomanagement and Audit Scheme). Contudo, conforme observa o referido autor, essas duas normas têm abrangência menor do que a série ISO 14000, pois se concentram, na realidade, apenas no SGA da organização.

Não obstante todas as considerações aqui feitas em relação à certificação ambiental, segundo as normas existentes para tal finalidade, deve-se considerar que, previamente à obtenção da certificação, a organização deve ter estruturado em seu sistema de gestão um arcabouço que lhe permita operar segundo as exigências pertinentes ao trato com a questão ambiental, o que somente será possível segundo a adoção de práticas e procedimentos constantes de um sistema de Gestão Ambiental, como será discutido na próxima subseção.

2.4 .1 Sistema de gestão ambiental (SGA)

As pressões acerca das operações industriais, no intuito de compatibilizá-las com os conceitos de desenvolvimento sustentável, preservação/conservação dos recursos naturais,

aliadas a uma política ambiental cada vez mais rigorosa, têm levado as empresas a realizarem análises ou auditorias a fim de avaliarem seu desempenho ambiental.

Contudo, “para que sejam eficazes, é necessário que esses procedimentos sejam conduzidos dentro de um programa de gestão estruturado e integrado ao conjunto das atividades de gestão”, NBR ISO 14001 (1996, p. 02).

De acordo com Almeida *et al* (2003), há duas maneiras de uma organização obter conformidade com os requisitos e legislação aplicáveis a sua área de atuação. Uma das maneiras refere-se a um comportamento predominantemente reativo, o que implica em arcar com custos consideráveis uma vez que, obviamente, neste caso, não há integração com um sistema de gestão ambiental. Neste sentido, lança-se mão de ações pontuais e contingenciais.

Opostamente, há a via da conformidade, obtida segundo uma estrutura destinada a assegurar a melhoria contínua da gestão ambiental da empresa. E, via de regra, tal comportamento está atrelado a um determinado Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

A adoção de princípios e práticas baseados numa postura responsável de atuação em relação ao meio ambiente requer necessariamente cumprimento:

- _ em relação aos requisitos da legislação aplicável;
- _ em relação à adesão a alguma norma voluntária (BS7750; EMAS; ISO 14000), e
- _ a um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

Há, na realidade, uma redundância em relação ao objeto considerado, uma vez que a adoção de um sistema de gestão ambiental prevê o atendimento global dos requisitos das várias esferas de legislação aplicáveis, normas e procedimentos operacionais e ainda, ações contingenciais e de riscos. Vê-se, assim, que um SGA cobre amplo aspecto da relação da empresa com o meio ambiente.

Tal perspectiva em relação ao trato da questão ambiental reflete, a princípio, uma postura pró-ativa, que inclui planejamento, possibilidades de reduções de custos operacionais e ainda melhorias relacionadas à imagem da empresa, sobretudo perante seu ambiente externo, o que se traduz em vantagens competitivas.

Assim, Sistema de Gestão Ambiental é definido pela NBR ISO 14001(1996), como sendo:

a parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental.

Segundo Maimon (1999, p. 08), Gestão Ambiental pode ser definida como um “conjunto de procedimentos para gerir ou administrar uma organização na sua interface com o meio ambiente. É a forma pela qual a empresa se mobiliza interna e externamente para a conquista da qualidade ambiental desejada.”

A despeito de todo o aparato suscitado, a gestão ambiental na empresa, praticamente, inicia-se com a sua definição da Política Ambiental da empresa.

Conforme Almeida *et al* (2001), a definição da Política Ambiental é a primeira etapa do Sistema de Gestão Ambiental.

A Política Ambiental, de acordo com a NBR ISO 14001(1996), compreende: “declaração da organização, expondo suas intenções e princípios em relação ao seu desempenho ambiental global que prevê uma estrutura para ação e definição de seus objetivos e metas ambientais”.

Em suma, a definição da Política Ambiental da empresa, reflete os objetivos globais de longo prazo da empresa com relação à questão ambiental, sempre tendo em conta o atendimento aos princípios da melhoria contínua.

De acordo com a NBR ISO 14001(1996, p. 04), em relação à política ambiental, a alta administração deve defini-la e assegurar que:

- a) seja apropriada à natureza, escala e impactos ambientais de suas atividades, produtos ou serviços;
- b) inclua o comprometimento com a melhoria contínua e com a prevenção da poluição;
- c) inclua o comprometimento à legislação e normas ambientais aplicáveis, e demais requisitos subscritos pela organização;
- d) forneça a estrutura para o estabelecimento e revisão dos objetivos e metas ambientais, e
- e) seja documentada, implementada, mantida e comunicada a todos os empregados.

No que diz respeito à operacionalização dos princípios contidos no SGA, o compromisso da alta direção é fundamental para o seu cumprimento. São também levadas em consideração a estrutura e responsabilidades do SGA.

Especificamente, o SGA é operacionalizado mediante um plano de ação, que, conforme sustenta Almeida *et al* (2001, p. 64), “cria condições para que a empresa atenda a sua política ambiental, com base em informações qualificadas e propostas internas de desempenho ambiental”.

Sumariamente, o Plano de Ação do SGA proposto cobre:

- _ Identificação dos aspectos ambientais: elementos das atividades produtos ou serviços que podem interagir com o meio ambiente;
- _ Avaliação dos Impactos Ambientais: o objetivo da identificação e avaliação dos impactos ambientais é garantir que os aspectos ambientais responsáveis por impactos significativos sejam levados em conta quando forem estabelecidos os objetivos e metas ambientais da empresa;
- _ Identificação dos Requisitos a serem atendidos: requisitos da legislação ambiental aplicável, os códigos e princípios setoriais e outros aos quais a empresa tenha aderido.
- _ Estabelecimento dos Critérios Internos: devem ser desenvolvidos critérios de desempenho. Estudos de Benchmarking podem subsidiar o estabelecimento destes critérios.
- _ Estabelecimento de Objetivos e Metas: os objetivos e metas são estabelecidos de forma que a empresa controle seus aspectos ambientais minimizando seus impactos sobre o meio ambiente.

Almeida *et al* (2001), propõe considerar na elaboração do plano:

- Envolvimento de todos os setores e responsáveis pela sua implementação;
- A correspondência com a política ambiental, assim como com os objetivos e metas ambientais da empresa;
- Sua revisão periódica;
- Previsão dos recursos humanos, físicos e financeiros necessários;
- Cronogramas e responsabilidades;
- Permanente acompanhamento dos programas de gestão específicos, como parte do processo contínuo de revisão do plano de ação.

2. 4. 1 .1 Aspectos operacionais do plano de ação

Em relação aos aspectos operacionais do plano de ação, um elemento que irá, notadamente, auxiliar na sua execução, será a identificação das entradas e saídas ao sistema de processos.

Num processo industrial, torna-se imperiosa a análise das entradas e saídas do sistema. As entradas correspondem às matérias-primas e produtos auxiliares, ainda, recursos físicos e financeiros. Já as saídas, referem-se aos produtos acabados ou semi-acabados e ainda os poluentes e resíduos gerados.

Conforme salienta Almeida *et al* (2001, p. 68), “a análise das saídas e de suas fontes geradoras constitui a identificação dos aspectos ambientais da empresa. A quantificação das entradas e saídas é fundamental para a priorização dos aspectos e respectivos impactos”.

Entretanto, deve-se considerar aqui uma observação de suma importância. Trata-se da consideração acerca da caracterização dos impactos ambientais considerando-os em significativos e não significativos.

De acordo com Almeida *et al* (2001), a pergunta a ser feita é: quando um efeito ou impacto ambiental torna-se significativo? Conforme os autores, os Guias de Aplicação Setorial (SAGs) fornecem alguma orientação para setores específicos. Entretanto, a respeito de restrita disponibilidade, muitas empresas serão obrigadas a desenvolverem seus próprios mecanismos de filtração para destacar os efeitos significativos. Salientam ainda, aqueles autores, que alguns setores têm tentado desenvolver um sistema mais quantitativo para separar efeitos significativos do resto. Tal seria o caso da chamada “*Escala de Significância*”, com variação atribuída de acordo com o conhecimento acerca de determinado processo.

Uma vez considerados os aspectos referentes à política ambiental adotada pela organização, bem como os seus aspectos operacionais, cabe fazer referências à etapas não menos importantes, mas sim complementares. Trata-se das Auditorias do Sistema de Gestão Ambiental e da Análise Crítica pela administração.

Segundo a NBR ISO 14001 (1996, p. 07), a organização deve estabelecer e manter procedimentos para auditorias periódicas do sistema de gestão ambiental a serem realizadas de forma a determinar se o sistema de gestão ambiental:

- 1) está em conformidade com as disposições planejadas para a gestão ambiental [...].
- 2) foi devidamente implementado e tem sido mantido, e
- 3) fornecer à administração informações sobre os resultados das auditorias.

Em uma etapa mais adiantada da implantação do SGA, situa-se a fase de análise crítica pela alta administração. Trata-se de um momento em que à administração procederá a uma avaliação global dos resultados obtidos com SGA, tendo por base a política ambiental adotada e ao atingimento dos objetivos e metas acordados.

Todos os processos descritos, desde o estabelecimento da política ambiental até as verificações de operação do sistema, culminam na análise crítica pela administração. Isto segue perfeitamente a ótica da Melhoria Contínua, num sentido de constante aperfeiçoamento¹⁶.

Cabe aqui considerar os métodos multicritérios de apoio à decisão, de inegável auxílio na caracterização e mensuração de impactos associados aos processos produtivos, associados à fase de análise do fluxograma de processos, ou seja, das entradas e saídas ao sistema produtivo.

Ademais, uma vez que este trabalho objetiva identificar possíveis melhorias nos processos, optou-se pela seguinte estrutura, que será devidamente desenvolvida no capítulo seguinte:

- Identificação do metabolismo industrial mediante à caracterização das entradas e saídas ao sistema;
- Utilização da metodologia da Análise de Ciclo de Vida de Produtos (ACV), com a finalidade de identificar melhorias passíveis de serem implementadas no processo produtivo da organização, e

¹⁶ Segundo a NBR ISO 14001: 1996, Melhoria Contínua: processo de aprimoramento do sistema de gestão ambiental, visando atingir melhorias no desempenho ambiental global de acordo com a política ambiental da organização.

- Uso de metodologias multicritério de apoio à decisão na quantificação dos aspectos e impactos ambientais.

3 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS

3.1 Definição conceitual

Uma definição conceitual para Análise de Ciclo de Vida de Produtos é dada por Chehebe (1998, p. 10):

A Análise do Ciclo de Vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo) [...].

Para Jensen *et al* (1997), a Análise do Ciclo de Vida, doravante denominada ACV, envolve a avaliação de alguns aspectos, freqüentemente os aspectos ambientais, de um sistema de produto através de todo o seu ciclo de vida. Algumas vezes, tal técnica é também chamada de Enfoque Ciclo de Vida, Análise do berço ao túmulo ou Ecobalance. E isto representa a emergência de uma família de ferramentas e técnicas destinadas a auxiliar na administração ambiental e, a longo prazo, no desenvolvimento sustentável.

Uma outra definição pode ser encontrada em Allen e Rosselot (1997), segundo tais autores, uma ACV consiste de três componentes: (1) um inventário de resíduos, emissões, e matérias-primas e uso de energia associado através de todo o ciclo de vida de um produto desde a extração das matérias-primas até a disposição final; (2) uma análise dos impactos ambientais associados com os resíduos, emissões, e matérias-primas e uso de energia; e (3) uma análise de melhoria onde mecanismos para reduzir impactos ambientais adversos são implementados.

De acordo com Jensen *et al* (1997), os primeiros estudos de ACV datam de meados da década de sessenta. Nas pesquisas iniciais, maior atenção foi dada a otimização no consumo de energia do que as saídas de processos e resíduos.

As companhias a utilizarem os estudos pioneiros de ACV foram empresas de bebidas, dentre elas, inclui-se a Coca-Cola nos EUA. Também se têm notícia de que em 1972, na Europa, uma companhia de bebidas utilizou um estudo de ACV para calcular a energia total utilizada na produção de vários tipos de condicionadores para bebidas, incluindo vidro, plástico, aço e alumínio.

Em relação aos estudos de ACV, Soares (1995), defende que a ACV é necessariamente uma ferramenta comparativa. Contudo, em Guinné *et al* (2001), Jensen *et al* (1997), Allen e Rosselot (1997), Lewis e Marjolein (1996), Klöpfer e Rippen (1992), a análise comparativa da ACV, entre sistemas ou produtos, encontra-se citada entre os usos da ACV e, não necessariamente, como uma ferramenta comparativa. Contudo, para Curran (1993), a verdadeira finalidade da ACV é servir de ferramenta comparativa.

Neste sentido, segundo Jensen *et al* (1997), na Europa algumas das áreas industriais que têm usado a metodologia da ACV nas pesquisas são: o desenvolvimento de novos produtos e também nas estratégias corporativas conferindo um status de empresa responsável em relação ao meio ambiente através de todo o ciclo de vida de seus produtos.

Desenvolvimentos recentes acerca da ACV têm levado debates em torno desta ferramenta a transcender os limites das fábricas. Conforme Jensen *et al* (1997), Lewis and Demmers (1996), na Europa, a discussão em torno da ACV envolve considerações sobre políticas públicas, de padronização de procedimentos e metodologias, e, até mesmo, questões éticas e sociais diretamente relacionadas à ACV.

Isto ocorre porque de certa forma, e não obstante os diversos usos da ACV, esta metodologia está relacionada fortemente com o conceito de sustentabilidade ambiental. Logo, os possíveis resultados de um estudo de ACV, não podem prescindir da apreciação de partes interessadas, tais como poder público, sociedade civil organizada, grupos de interesse, enfim, demonstrando um processo de transparência.

3.2 As fases de uma ACV

A Análise de Ciclo de Vida de Produtos representa, de acordo com a ISO 14040, as seguintes fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto e interpretação dos resultados.

_ Objetivo e Escopo: onde se define a razão principal para a condução do estudo, abrangência e limites e unidade funcional;

_ Análise do Inventário da ACV: fase de coleta e quantificação de todas as variáveis (matérias-primas; transporte; emissões para o ar; efluentes, resíduos sólidos etc.).

_ Avaliação de Impacto: segundo Chehebe (1998, p. 24), “representa um processo qualitativo/quantitativo de entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais baseado nos resultados obtidos na análise de inventário”.

_ Interpretação: avaliação dos resultados obtido nas fases precedentes, podem tomar a forma de conclusões e recomendações aos tomadores de decisão.

Soares (1997), ressalta que, se a ACV tem por objetivo um conhecimento interno do produto ou processo, o exame dos inventários será suficiente (fator de impacto). A avaliação dos impactos é necessária essencialmente para fins comparativos.

A figura a seguir representada, evidencia o relacionamento que se estabelece entre as várias fases de uma ACV.

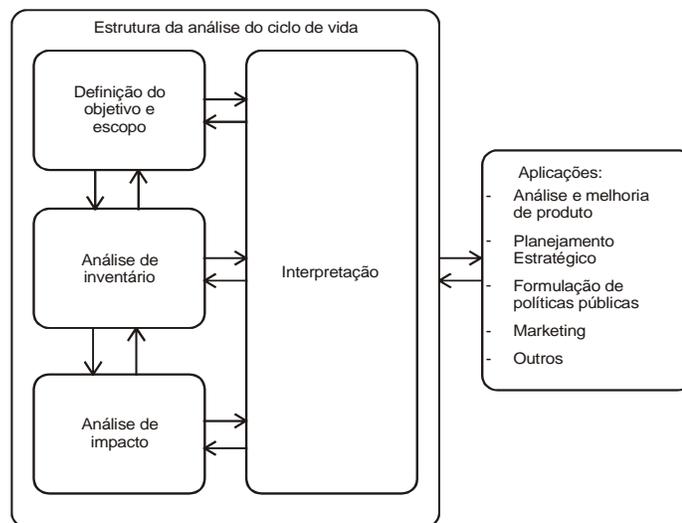


Figura 4 _ Estrutura da Análise de Ciclo de Vida de Produtos
Fonte: Guineé *et al* (2001, p. 08)

A priori, uma ACV deveria abranger todos os estágios do ciclo de vida de um determinado sistema_ da terra à terra. Contudo, na prática, poderá haver sérias limitações sobretudo as relacionadas aos recursos financeiros e ao tempo. Isto remete a questão da amplitude da ACV, ou seja, sua consideração em termos de profundidade, largura e extensão. A Profundidade de um estudo de ACV diz respeito ao nível de detalhes

envolvidos na estrutura analítica da ACV. Quanto à largura, isto refere-se ao número de subsistemas a serem incluídos na ACV, e, finalmente, à extensão, que refere-se a onde iniciar e quando terminar o estudo. São questões diretamente relacionadas aos aspectos financeiros, tempo, de estrutura, habilidades, disponibilidade e acesso aos dados e etc. Neste sentido, Chehebe (1998, p. 26), adverte que “em todos os casos o princípio a ser aplicado é menos é melhor”. A figura abaixo resume graficamente as considerações acerca de tempo, recursos e nível de detalhes de uma ACV, extremamente importantes da fase de planejamento e análise de viabilidade do estudo que se pretende.

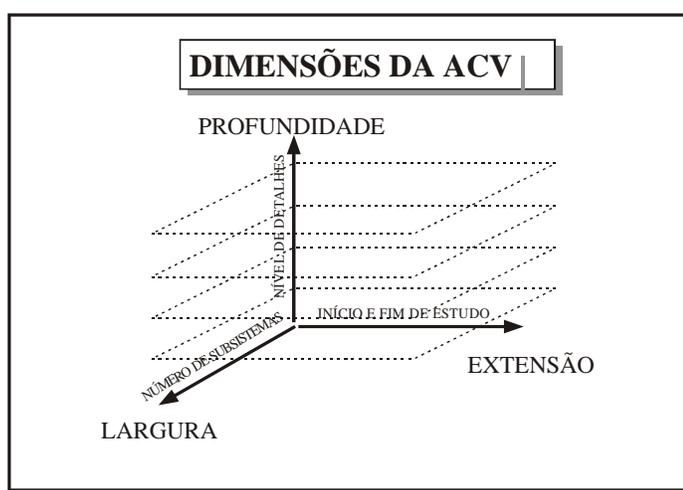


Figura 5 _ Esquema representativo das dimensões de uma ACV

Fonte: Chehebe, 1998, p. 23.

3.3 Aspectos operacionais da ACV

No aspecto operacional, para Lewis e Demmers (1996), a ACV é útil como ferramenta de administração ambiental porque provê informação abrangente e científica acerca dos impactos ambientais e pode ser usada para identificar oportunidades de melhoria. Entretanto, apesar dos benefícios potenciais da ACV, os autores argumentam que há críticas à técnica. Tais críticas relacionam-se a objetividade do processo e também em

relação a sua acurácia. Isto ocorre, pois no que diz respeito à coleta de dados e quantificação das informações, sempre será, de acordo com vários autores estudados, algum julgamento de valor. Seja na tentativa de aplainar as deficiências dos dados, seja para eleger prioridades, como por exemplo, quais os aspectos ambientais prioritários em determinada planta industrial em que se esteja conduzindo em estudo desta natureza.

De acordo com Lewis e Demmers (1996), as companhias estão sob crescentes pressões para reduzir os impactos de suas atividades. Neste sentido, primeiramente, elas necessitam coletar informações as quais devem ser objetivas, acuradas e abrangentes. O setor público também precisa da boa informação para assistí-las no desenvolvimento de efetivas políticas ambientais.

A ACV pode ser um bom caminho para providenciar estas informações por uma série de razões:

- Proporciona uma abordagem holística do berço ao túmulo (cradle-to-grave) mais do que um foco numa questão específica, tal como energia ou reciclagem;
- Utiliza métodos científicos para coleta e análise de dados;
- Permite um modo racional de avaliar alternativas, e
- Auxilia no entendimento das relações que se estabelecem entre produção-consumo-meio ambiente.

Na fase inicial da ACV, procede-se à descrição física do sistema. Neste contexto, um Sistema relacionado ao produto, é um conjunto de operações que representam uma ou mais funções definidas (ex.: pintura da caixa de água).

A descrição física do sistema é uma descrição quantitativa dos fluxos elementares e de produtos que atravessam os limites do sistema tanto para as entradas quanto para as saídas das unidades de processo e dos fluxos intermediários de produtos dentro do próprio sistema.

Cada uma das unidades de processo¹⁷ devem ser inicialmente descritas para definir:

- onde a unidade de processo inicia em termos de recebimento das matérias primas ou produtos intermediários;

¹⁷ Unidade de processo: uma determinada operação em particular; ex.: na pintura de uma peça, a secagem da peça.

- a natureza da transformação e operações que ocorrem como parte das unidades de processo; e
- onde a unidade de processo termina, em termos da destinação dos produtos intermediários ou finais.

A razão para dividir um sistema relacionado ao produto em unidade de processo é para facilitar a identificação de entradas e saídas desse sistema. Os limites de uma unidade de processo, correspondem ao nível de detalhamento necessário ao estudo. Cabe salientar que na checagem de validade de processo, em se tratando de um sistema físico e que, portanto, obedece às leis de conservação de massa e energia.

3. 3. 1 Os limites do sistema

De acordo com Chehebe (1998), os limites de uma ACV podem ser representados por fluxogramas, ainda, o sistema pode também incluir além dos materiais auxiliares que apoiam a produção principal, a produção dos próprios materiais auxiliares. Ainda, de acordo com o referido autor, os limites do sistema determinam quais unidades de processo devem ser incluídas na ACV.

Dentre os fatores que podem influenciar o sistema citam-se: as aplicações pretendidas do estudo; hipóteses formuladas; critérios de corte; restrições de dados e de custos e a audiência pretendida.

Os critérios utilizados no estabelecimento dos limites do sistema devem ser identificados e justificados no escopo do estudo e devem assegurar o comprometimento dos resultados obtidos com os objetivos declarados.

Há vários estágios do ciclo de vida, unidade de processo e fluxos que devem ser considerados, Chehebe (1998, p. 35-36) cita alguns dentre os quais:

- fluxo de materiais e de energia na seqüência principal do processamento ou manufatura;
- distribuição/transporte
- produção/uso de combustíveis, eletricidade e calor;
- aquisição primária de energia e o processamento do combustível para uma forma utilizável;
- uso dos produtos;

- disposição dos resíduos do processo e produto;
- recuperação dos produtos usados (incluindo reuso, reciclagem e recuperação de energia);
- manufatura dos materiais auxiliares;
- manufatura e manutenção de bens de capital;
- operações de manutenção tipo iluminação e aquecimento;
- outras considerações relativas à avaliação de impacto.

Cabe aqui salientar, que as considerações acerca do que deve ou não ser incluído nos estudos, devem ser realizadas tendo em vista o objetivo e escopo do estudo. Com efeito, a primeira fase da ACV será constantemente revisitada, pois toda análise deverá estar fundamentada em tais parâmetros.

3. 3. 2 Função e unidade funcional

Em relação a unidade funcional, seu propósito é o de fornecer uma referência para a qual os dados de entrada e saída são relacionados, trata-se da unidade de comparação ou unidade objeto do estudo. De acordo com Jensen *et al* (1997, p. 55), a definição da unidade funcional é o fundamento de uma ACV pois reúne escala de comparação entre dois ou mais produtos incluindo, ainda, análise de melhoria para um único produto.

Segundo Chehebe (1998, p. 38), de uma forma geral as seguintes etapas devem ser seguidas após a definição do sistema de produto:

- identificação das possíveis funções do sistema;
- seleção da função que será utilizada para análise;
- definição da unidade funcional;
- identificação da performance do produto;
- cálculo do fluxo de referência.

Dentro deste contexto, um aspecto importante a ser ressaltado, diz respeito a qualidade dos dados utilizados no trabalho, ou seja os requisitos de qualidade dos dados.

Estes devem ser definidos de forma a possibilitar que o objetivo e o escopo do estudo sejam alcançados. Esses requisitos devem envolver:

- cobertura relacionada ao tempo (idade desejada para os dados);
- cobertura em relação à área ou geográfica: refere-se a abrangência dos dados, se globais, regionais ou locais;
- aspectos tecnológicos: devem estar de acordo com a melhor tecnologia disponível;
- precisão: deveriam incluir, estatisticamente, alguma medida de variabilidade para cada conjunto de dados.
- integridade: percentagem de dados primários relatados em relação aos dados potenciais existentes para cada categoria de dados em uma unidade de processo;
- representatividade: grau em que o conjunto de dados reflete a população real de interesse;
- consistência: avaliação qualitativa de quão uniforme a metodologia do estudo é aplicado aos vários componentes da análise.

Tendo atentado para os requisitos dos dados acima mencionados, passa-se a outra fase da Análise do Ciclo de Vida, ou seja, a fase em que são computadas todas as entradas e saídas ao sistema, em termos dos fluxos elementares, matérias primas, consumo de materiais e energia, assim como todos os resíduos, rejeitos e emissões gerados pelo sistema de processo em estudo.

3.3.3 Análise de inventário

O inventário de uma ACV refere-se à coleta de dados e aos procedimentos de cálculos. Como comenta Chehebe (1998, p. 43), “em tese, o inventário é semelhante a um balanço contábil financeiro, só que, medido em termos energéticos ou de massa. O total do que entra no sistema em estudo deve ser igual ao que sai”. Ainda, segundo o referido autor, na prática, o inventário é difícil e trabalhoso por uma série de razões que vão desde a ausência de dados conhecidos e a necessidade de estimá-los à qualidade do dado disponível.

Para Jensen *et al* (1997, p. 58), a análise de inventário deve conter as seguintes questões principais: coleta de dados, refinamento dos limites do sistema, cálculos, validação dos dados, dados relacionados ao sistema específico, e alocação.

No processo de coleta dos dados, mais aspectos tornam-se conhecidos a respeito do sistema. Novos dados podem ser requeridos ou limitações identificadas requerendo mudanças nos procedimentos na coleta dos dados, de acordo com os objetivos do estudo. Algumas vezes, questões identificadas no estudo podem sugerir revisões nos objetivos e escopo do estudo.

Os limites do sistema são definidos como parte do procedimento da definição do escopo. Após a coleta dos dados, os limites do sistema podem ser refinados, tendo por resultado a exclusão de estágios ou subsistemas, exclusão de fluxos de materiais ou inclusão de novas unidades no processo.

3.3.4 Critérios para inclusão de dados

Conforme Chehebe (1998, p. 46), os critérios que podem ser utilizados para decidir quais variáveis deverão ser utilizadas no estudo baseiam-se na relevância da variável em termos do:

- balanço de massa: uma regra de decisão apropriada, é a inclusão no estudo de todas as entradas que cumulativamente contribuam mais do que uma determinada percentagem da massa total de entrada do sistema de produto que está sendo modelado;
- balanço energético: da mesma forma que o critério anterior, uma regra apropriada é a inclusão no estudo das entradas que cumulativamente contribuam mais do que uma determinada percentagem da energia total que entra no sistema de produto;
- importância para o meio ambiente: outra regra de decisão é o estabelecimento da inclusão das entradas que contribuam mais do que uma percentagem adicional determinada à quantidade estimada de cada categoria de dados do sistema de produto. Por exemplo, se o óxido de enxofre for selecionado como uma categoria de dados, um critério poderia ser estabelecer a inclusão de qualquer entrada que contribua com mais

do que uma determinada percentagem adicional às emissões totais de óxidos de enxofre.

3.3.5 A coleta de dados

Alguma polêmica tem sido travada em torno da questão referente ao uso de dados proprietários ou não. Logicamente isto depende em parte do objetivo e escopo e também da disponibilidade e acesso a esse tipo de dados. *A priori* dados proprietários não devem ter fácil acesso, pois dizem respeito aos processos internos das organizações e, não obstante, apesar de serem internos apresentam graves distorções, seja por variabilidade estatística seja por erros de mensuração ou fatores estocásticos.

Outra forma de obtenção de dados, seria recorrer a alguma fonte onde estes fossem encontrados de forma padronizada, segundo algum padrão referencial. Entretanto, isto somente ocorre onde há bancos de dados criados com tal finalidade, alguns setores, notadamente o químico, possuem algum tipo de informação desta natureza, e que podem ser utilizados em estudos de ACV.

Chehebe (1998, p. 51), adverte para o fato de que a regra geral é que uma parcela considerável dos dados sobre matérias-primas, energia, produtos e serviços, essenciais para qualquer pessoa que esteja conduzindo um trabalho desse tipo, não estará disponível. Neste sentido, cálculos teóricos e consumos reais podem algumas vezes ser necessários para preencher algumas deficiências nas séries de dados ou para selecionar e ajustar dados de diferentes fontes.

Em relação aos resíduos, caso informações detalhadas a respeito dos processos de tratamento de resíduos não estejam disponíveis, deve-se proceder ao registro do montante dos mesmos bem como a forma como estão sendo gerados.

Um requisito importante a ser considerado em relação a agregação dos dados. Tendo em vista o fluxograma de processos assim como os limites definidos para o sistema, as unidades de processo são interconectadas de forma a permitir o cálculo completo de todo o sistema. Isso é realizado através da normalização dos fluxos das unidades de processo em

relação à unidade funcional. O resultado final dos cálculos deve referir todos os dados de entrada e saída da unidade funcional.

3.3.6 Avaliação de impacto

Segundo Chehebe (1998), algumas avaliações podem ser realizadas com base somente nos resultados obtidos na fase de inventário. No entanto, quando grandes diferenças nos vários parâmetros de impacto forem detectadas ou quando houver necessidade de se relacionar as intervenções ambientais aos problemas ambientais, a metodologia de avaliação de impacto, pode, sem dúvida, ser de grande utilidade.

Em relação as metodologias de avaliação de impacto, conforme sustenta Chehebe (1998), alguns conceitos e métodos de avaliação de impacto são recentes e continuam a ser desenvolvidas. Até o momento, nenhum acordo geral internacional foi encontrado sobre metodologias específicas.

A literatura técnica sobre ACV ressalta a existência de vários debates acerca das metodologias de avaliação de impacto. A padronização dos procedimentos para a padronização dos dados do inventário em categorias de impacto representando a exaustão dos recursos naturais e os impactos sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente, ainda está sendo estudada e constituirá a futura Norma ISO 14042. A Norma ISO 14040, no entanto, fornece uma indicação dos elementos que podem constar desta fase: classificação, caracterização e atribuição de pesos.

- **Classificação:** a classificação é um passo qualitativo baseado numa análise científica dos aspectos ambientais relevantes. A classificação assinala a partir do inventário de entradas e saídas os potenciais impactos ambientais. Neste estágio, assume-se a premissa de “quanto menos melhor”. As categorias de impacto devem ser alocadas em três ou quatro grupos espaciais bem definidos: impactos globais (ou continentais), regionais ou locais.
- **Caracterização:** a caracterização é principalmente, um processo em passo quantitativo baseado na análise científica dos processos ambientais relevantes. Ou, como comenta Chehebe (1998), onde os dados do inventário atribuídos a uma determinada categoria

são modelados de forma a que os resultados possam ser expressos no formato de um indicador numérico para aquela categoria.

- Atribuição de pesos: para Chehebe (1998), a etapa de atribuição de pesos por ser um processo de atribuição de valores e envolver critérios subjetivos, alguns especialistas consideram-na como tarefa não científica altamente subjetiva e sujeita a distorções. Para Jensen *et al* (1997) o processo de atribuição de pesos é uma etapa considerada não técnica, objetiva ou científica, porém, pode ser assistida por um instrumental técnico-analítico cientificamente fundamentado.

Ressalta-se que, os fatores científicos de caracterização nem sempre são possíveis de serem obtidos. Dentro deste contexto, Chehebe (1998), adverte que, se o julgamento de valores for utilizado em substituição aos fatores de caracterização em estudos dentro das organizações, os resultados dos indicadores devem ser identificados na forma de uma escala de valores.

3. 3. 7 Interpretação

Segundo Jensen *et al* (1997), a fase de Interpretação é um procedimento sistemático para identificar, qualificar, checar e avaliar informações das conclusões da Análise de Inventário e/ou Análise de Impacto de um sistema e apresentá-los de maneira a convergirem devidamente às aplicações descritas no objetivo e escopo do estudo.

Sumariamente, para Chehebe (1998), o objetivo da fase de interpretação “é portanto tirar conclusões, explicar as limitações e fornecer recomendações para um estudo de inventário de ciclo de vida ou uma análise completa de ciclo de vida”, tendo em vista objetivo e escopo do trabalho. Ainda, segundo o autor citado, a interpretação dos resultados deve também evidenciar as limitações que podem tornar os objetivos iniciais inalcançáveis/impraticáveis ou, simplesmente, não atingidos.

Neste sentido, a fase de Interpretação compreende as seguintes etapas: Identificação, Avaliação e Conclusões.

- Identificação: são identificadas as questões ambientais mais significativas baseadas nos resultados da análise do inventário e/ou ACV;
- Avaliação: pode incluir elementos tais como a checagem da integridade, sensibilidade e consistência.
- Conclusões: recomendações e relatórios sobre as questões ambientais significativas.

Finalmente, Chehebe (1998, p. 95) destaca que apesar das orientações e aperfeiçoamentos introduzidos nas normas da Série ISO 14040, os estudos de ACV “continuarão a ser, de uma forma geral, descrições imperfeitas dos sistemas de produção que analisam e comparam”.

4 A ANÁLISE MULTICRITÉRIOS EM APOIO À ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS

Na Análise de Ciclo de Vida, uma de suas fases têm sofrido constantes críticas, trata-se da fase de Interpretação. Isto porque, é consenso na literatura sobre ACV, sobretudo por parte dos críticos, de que sempre haverá um componente de subjetividade nas análises realizadas.

Não obstante, isto ocorre em função de que segundo vários autores, as conclusões extraídas das fases precedentes de uma ACV, e, sumariadas na fase de Interpretação, sofrerem influência das distorções que porventura possam existir nos dados coletados e vão, desde a inacessibilidade até imprecisão dos mesmos. Sem mencionar os casos em que possa haver deliberada manipulação dos resultados.

Assim é que, o próprio conceito de objetividade da ciência em tais casos encontra-se vulnerável. Neste sentido, Pereira (2001, p. 25) afirma:

Qualquer vínculo com a subjetividade tende a ser visto apressadamente como estranho ao ambiente científico, mas, no entanto, Mário Bunge, moderno filósofo da Ciência, ensina que a verdade na natureza é uma função assintótica de conhecimentos acumulados tanto em bases objetivas quanto subjetivas. Daí, embora ambas sejam abordagens válidas, nem mesmo o sinergismo entre elas pode garantir a elucidação completa da verdade, da qual poder-se-ia alcançar grande proximidade mas nunca domínio completo.

Ainda, de acordo com Costa *apud* Pereira (2002, p. 28), “deve ficar evidente que antes de “descoberta objetiva” da natureza, a “Ciência é uma criação, uma invenção do homem”, na qual “captamos e explicamos o real via conceitos e redes conceituais que identificamos”.

Neste sentido, cumpre destacar, que, imperiosamente, em função de obstáculos técnicos, se fará presente em estudos de ACV, julgamentos baseados sobretudo nos aspectos qualitativos da pesquisa ou estudo. Entretanto, tais análises devem ser realizadas dentro do rigor técnico requerido. Assim é que a ACV em muito se beneficia da Teoria da Decisão com Múltiplos Critérios.

4.1 O processo decisório

Para Milan Zeleny, *apud* Bana e Costa (1995, p. 02), sucintamente, a tomada de decisão:

Pode ser de forma simples definida como um esforço para resolver o dilema de objetivos conflituosos, cuja presença impede a existência de a “solução ótima” e nos conduz para a procura de “solução de melhor compromisso”.

Segundo Bana e Costa (1995, p. 05), duas são as fases fundamentais do processo de apoio à decisão. Uma fase de *análise* do sistema em estudo, conducente à identificação, caracterização e hierarquização dos principais atores intervenientes e à explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretende comparar, em termos de seus méritos e desvantagens relativos face a um conjunto de critérios de avaliação. A outra fase do processo decisório, ou seja, a fase de *avaliação* ou ainda de síntese, tem por finalidade esclarecer uma escolha recorrendo à aplicação de métodos multicritério para apoiar a modelização das preferências dos atores e a sua agregação.

Buscando explicitar ainda mais, a metodologia de análise multicritério, cabe ressaltar, que no âmbito da tomada de decisão multicriterial ou multiobjetivo, tais métodos em apoio à decisão segundo Gomes *et al* (2002, p. 65), concebem que:

a aceitação de que em problemas complexos, nem sempre as situações devem forçosamente encaixar-se dentro de um perfeito formalismo, e, em particular, que estruturas que representem apenas parcialmente a comparabilidade entre as alternativas possam ser relevantes ao processo de decisão.

Ainda, como salienta Gomes *et al* (2002), o enfoque do Apoio Multicritério à Decisão, não visa apresentar ao decisor ou aos decisores uma solução para seu problema, elegendo uma única verdade representada pela ação selecionada. Visa realmente a apoiar o processo decisório, por meio da recomendação de ações ou cursos de ações a quem vai tomar decisão. Entretanto, o autor citado adverte, em relação a Teoria da Decisão Multicriterial, que, além de seus aspectos técnicos tratáveis pelas ciências da decisão, há

dimensões culturais e de cultura organizacional que são também importantes para todos os que lidam com a tomada de decisão gerencial, nos vários níveis de uma organização.

Para Stewart *apud* Gomes *et al* (2002), o Apoio Multicritério em Apoio à Decisão, pode ser usado em diversas áreas de atuação, dentre as quais:

- gestão tecnológica;
- critérios em conflito;
- engenharia de sistemas;
- engenharia de produção, concernente à tomada de decisão que atue em processos produtivos, visando a sua otimização e controle, e
- qualidade.

4. 2 Alguns conceitos utilizados na teoria da decisão multicritérios

_ Ação ou Alternativa: é o conjunto de ações potenciais, uma ação ou alternativa, constitui uma das possibilidades de escolha do agente de decisão, identificada no início ou mesmo no decorrer de um processo decisório, podendo vir a tornar-se uma solução para o problema em estudo. Um conjunto “A” de alternativas ou ações poderia ser descrito como uma lista {A1, A2, ..., Na} de ações potenciais. Ex.: conjunto de “m” projetos de investimento de determinada empresa.

_ Decisor: influencia no processo de decisão de acordo com o juízo de valor que representa e/ou relações que se estabeleceram. Essas relações devem possuir caráter dinâmico, pois poderão ser modificadas durante o processo de decisão devido ao enriquecimento de informações e/ou interferência de facilitadores.

_ Facilitador: profissional experiente na estruturação e avaliação do problema ou problemáticas de decisão. Seu papel principal é focalizar sua atenção na resolução dos problemas coordenando o ponto de vista do decisor mantendo o decisor motivado e destacando o processo de aprendizado no processo de decisão.

Conforme avança o processo de decisão, chega-se ao estágio da escolha da problemática técnica de avaliação das ações ou escolhas potenciais, que poderá ser, conforme a

construção do modelo: Problemática de Avaliação Absoluta ou, problemática de Avaliação Relativa. Em relação aos pontos de vista acerca da estrutura de avaliação, segue, nos dois parágrafos seguintes, o raciocínio exposto por Bana e Costa (1995, p. 25-26).

Adotar uma problemática de avaliação absoluta consiste em orientar o estudo no sentido de obter informação sobre o valor intrínseco de cada ação com referência a uma ou várias normas. Cada ação potencial é comparada, independentemente de qualquer outra ação com standards de referência pré-estabelecidos.

No caso da problemática de avaliação relativa, esta, consiste em comparar as ações de A ($\{ \}$) diretamente umas com as outras em termos de seus méritos relativos com vistas a:

- 1) seja obter informações sobre o valor relativo de cada ação quando confrontada uma com as outras, e
- 2) seja avaliar cada ação de A em relação ao conjunto de todas as outras ações com vista a efetuar uma escolha ou uma ordenação das ações por agregação de informações do tipo 1). A avaliação final de cada ação não tem senão um significado relativo, dado que a sua escolha (ou não escolha) ou a sua posição numa ordenação só tem significado relativo, isto é, em termos de confronto com as outras ações.

4. 3 Construindo um modelo multicritério utilizando a metodologia MACBETH

Na formulação de um modelo multicritério para avaliação de uma ação ou um conjunto de ações ou escolhas potenciais, faz-se necessário duas ferramentas: um descritor e uma função de valor associada.

4. 3. 1 Descritor

Bana e Costa *apud* Ensslin (1999), define um descritor como sendo um conjunto de níveis de impacto que servem como base para descrever impactos plausíveis das ações potenciais.

Os descritores podem ser quantitativos ou qualitativos. Descritores quantitativos são aqueles que possuem uma forma de medida numérica. De uma forma geral, um descritor

qualitativo, é formado pela descrição de vários níveis de impacto que indicam de forma direta a performance de uma ação.

4.3.2 A função de valor

Segundo Ensslin (1999), funções de valor são representações matemáticas de julgamentos humanos; procuram oferecer uma descrição analítica dos sistemas de valor dos indivíduos no processo decisório e objetivam representar numericamente os componentes de julgamento humano envolvidos na avaliação das ações. Para Beinat apud Ensslin (1999), uma função de valor procura transformar as performances das ações em valores numéricos que representam o grau em que um objetivo é alcançado relativamente a níveis balizadores.

Matematicamente, uma função de valor $v(a)$ deve observar as seguintes condições:

- 1) Para todo $a, b \in A$, $v(a) > v(b)$ se, e somente se, para o avaliador “a” é mais atraente que “b” (a é preferível a b).
- 2) Para todo $a, b \in A$, $v(a) = v(b)$ se, e somente se, para o avaliador “a” é indiferente a “b” (a I b) (a é indiferente a b).
- 3) Para todo $a, b, c, d \in A$, $v(a) - v(b) > v(c) - v(d)$ se, e somente se, para o avaliador a diferença de atratividade entre a e b é maior que a diferença de atratividade entre c e d.

4.4 A metodologia MACBETH

A metodologia MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique), consiste em utilizar uma matriz semântica que permite avaliar as alternativas ou ações, comparando-as segundo um julgamento que identifique as diferenças de atratividade de acordo com categorias semânticas definidas, escalonando os resultados obtidos.

A diferença de atratividade entre as ações a serem julgadas ou avaliadas, são balizadas como dito no parágrafo anterior segundo categorias semânticas, que objetivam “medir” tais diferenças:

C0: nenhuma diferença de atratividade(**indiferença**);

- C1: diferença de atratividade **muito fraca**;
- C2: diferença de atratividade **fraca**;
- C3: diferença de atratividade **moderada**;
- C4: diferença de atratividade **forte**;
- C5: diferença de atratividade **muito forte**, e
- C6: diferença de atratividade **extrema**.

A partir destas informações, constrói-se a chamada matriz semântica que comporta esquematicamente a resposta do decisor à questão formulada. Cabe salientar, que os números na matriz não possuem significado absoluto, ou seja, apenas representam determinada categoria semântica ou de significado. Tendo sido preenchida, a metodologia prossegue, propondo uma escala com as seguintes regras de mensuração:

- 1) Para todo $x, y \in A$: $v(x) > v(y)$, se, e somente se, x for mais atrativo que y ;
- 2) Para todo $K, K' \in \{0,1,2,3,4,5,6\}$ com $K \neq K'$, para todo $x, y \in C_k$ para todo $w, z \in C_{k'}$: $v(x) - v(y) > v(w) - v(z)$ se, e somente se, $K > K'$.

Onde:

x, y, w, z , são ações potenciais

S : conjunto das ações potenciais viáveis;

$v(x)$: atratividade da ação x ;

K, K' : números associados às categorias semânticas do método MACBETH;

C_k e $C_{k'}$: categorias semânticas do método MACBETH.

Finalmente, em relação a consistência dos juízos de apreciação, segundo Bana e Costa (1995, p. 06):

se o avaliador afetou o par de ações (a, b) , com $a \in C_k$ e $b \in C_{k'}$, à categoria C_k e o par (b, c) à categoria $C_{k'}$ tais que $k > k'$, isto deve significar, indiretamente, que para o avaliador a é mais atrativo que b mais do que b é mais atrativa que c , isto é, em termos de diferenças de valor, $v(a) - v(b) > v(b) - v(c)$. Nesta linha de raciocínio, é então lógico propor como hipótese de trabalho (chave) para a construção de preferências cardinais, que a diferença de valor $v(a) - v(c)$ entre as ações a e c seja pelo menos tão grande como as diferenças de valor entre a e b e entre b e c .

Dentro deste contexto, então, um teste de consistência semântica entre termos de ações seria enunciado da seguinte forma:

$$(a, b) \in C_k \text{ e } (b, c) \in C_{k'} \Rightarrow (a, c) \in C_{k''}, \text{ com } k'' \geq \max \{k, k'\}.$$

5 PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS COM A PESQUISA DE CAMPO

Este trabalho procedeu a um estudo de caso na fabricação de Reservatório de água potável/capacidade 250 l. De acordo com a NBR 13210: Caixa de Poliéster reforçado com Fibra de Vidro para água potável. Foram realizadas visitas semanais com frequência estabelecida em duas vezes semanais, a fim de acompanhar os processos de fabricação do reservatório.

Os dados foram coletados in loco, mediante o preenchimento de fichas contendo os questionamentos requeridos, e, além disso, em todas as ocasiões, procedeu-se a entrevistas e diálogos com o responsável pela área operacional, obtendo-se assim informações qualitativas relativas a área técnica e operacional.

Em relação a fabricação propriamente dita do reservatório de água, esta, passa por um processo bastante simples. Inicialmente, aplica-se a camada de gel com a respectiva coloração de acabamento, aguarda-se um período de secagem e, posteriormente, aplica-se a fibra de vidro (projeção simultânea) com acabamento manual, aguarda-se nova secagem, os produtos são então inspecionados e transportados ao setor de expedição.

5.1 Definição dos limites do sistema

Sabe-se que a Análise de Ciclo de Vida de Produtos, conceitualmente, indica uma análise para produtos ou serviços, desde a extração das matérias-primas, passando por sua transformação, uso e descarte final.

Entretanto, cabe lembrar a reflexão acerca da exequibilidade dos requisitos relacionados a profundidade (nível de detalhes), largura (número de subsistemas) e extensão (início e fim do estudo).

Retornando a uma questão fundamental, ou seja, analisando-se todo o projeto de estudo, sabe-se que em cada etapa de uma ACV, são confrontadas suas potencialidades e limitações em relação ao objetivo e escopo previamente definidos. Neste sentido, poderá haver necessidade de reformular algum item no projeto inicialmente concebido.

Assim, de acordo com a realidade técnica e operacional do sistema estudado, a configuração dos limites obteve a seguinte configuração.

Etapas	Produtos e subprodutos	Insumos	Saídas
A	Gel fabricação no local	Resina isoftálica, cobalto, dióxido de titânio, aerosil, bic 300, bic 500, pasta azul e água	Odores, poeira e emissões
B	Gel pronto/aplicação	Gel, catalisador, energia e água	Odores, poeira e emissões
C	Aplicação da primeira camada de fibra de vidro	Fibra de vidro, catalisador, energia e água	Odores, emissões, resíduos de fibra de vidro
D	Aplicação do reforço	–	
E	Aplicação da Segunda camada de fibra de vidro	Fibra de vidro, catalisador, energia e água	Odores, emissões, resíduos de fibra de vidro
F	Produto semi-acabado/Inspeção/Exp.		

Quadro 2 – Esquema simplificado da fabricação do reservatório de água cap. 250 l

Fonte: pesquisa de campo

5. 2 A matriz MACBETH na avaliação das ações

O quadro 2 acima, possui a representação das ações potenciais a serem avaliadas e, cujos processos serão analisados a fim de receberem melhorias. Neste contexto, as ações foram ordenadas segundo a sua atratividade ambiental, ou, em outras palavras, as ações preferíveis são aquelas cujas fases sejam menos poluentes.

A matriz apresentou a seguinte configuração, considerando as categorias semânticas: C0=indiferença; C1= diferença de atratividade muito fraca; C2= difer. Atrat. Fraca; C3=difer. Atrat. Moderada; C4= difer. Atrat. Forte. C5= difer. Atrat. Muito forte e C6= difer.de atratividade extrema.

Ações	D	F	E	C	B	A	FUNÇÃO DE VALOR	FUNÇÃO REESCALADA
D	0	2	3	4	5	6	100	130,99
F		0	3	4	5	6	80	100,19
E			0	3	4	5	60	69,39
C				0	3	4	20	7,79
B					0	3	15	0,09
A						0	0	-23,01

Quadro 3 – matriz com o ordenamento das preferências em relação à etapa potencialmente poluente

Fonte: pesquisa de campo

A partir dos resultados obtidos com a matriz semântica, foi possível ordenar as ações - etapas do processo produtivo – no sentido de uma maior atratividade ambiental, ou, opostamente, no sentido de selecionar ações de maior impacto ambiental, considerado assim, as etapas passíveis de receberem melhorias em seus procedimentos específicos.

Desta forma, a ação ou etapa considerada excelente – Função de valor >100 – foi a etapa D, ou seja, aplicação do reforço sobre a laminação, com efeito, a aplicação dos reforços exige apenas energia mecânica sendo que, praticamente, não gera resíduos.

Opostamente, há duas ações com desempenho insatisfatório, do ponto de vista ambiental: as ações ou etapas B e A, respectivamente, laminação com fibra de vidro, e, no extremo do processo considerado, a fabricação do gel utilizado na coloração do artefato, atividade que envolve a manipulação direta de uma gama de matérias primas de elevada toxicidade bem como a geração de uma série de resíduos.

5.3 Considerações finais

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de suma importância na caracterização de etapas de produção ou análises de produtos, no que diz respeito à identificação de atividades ou produtos e materiais potencialmente poluentes.

Sabe-se que a ACV pode ser utilizada para várias finalidades, contudo, este trabalho, buscou identificar no processo de fabricação de reservatórios de água de plástico reforçado com fibra de vidro, qual ou quais as fases que mais impactos causam ao ambiente tanto interno quanto externo à organização. Portanto, pode-se afirmar que a metodologia da ACV em conjunto com a abordagem multicriterial, proporcionou à pesquisa realizada, que se identificassem áreas a receberem melhorias no processo de fabricação a fim de minimizar seus impactos ambientais.

Neste sentido, conclui-se que a fase de fabricação do gel é a que, prioritariamente, deve receber esforços no sentido de melhorar seu desempenho ambiental. Posteriormente, sob o ponto de vista do ciclo PDCA, a mesma metodologia de análise poderá ser utilizada, no sentido da melhoria contínua.

Como recomendação, fica a sugestão de aquisição do gel pronto para uso, evitando assim, o manuseio inadequado e a redução no consumo de matérias primas, reduzindo, portanto, a exposição dos funcionários a produtos potencialmente perigosos, bem como os impactos ambientais locais.

Em relação aos desdobramentos futuros, recomenda-se especial atenção ao objetivo e escopo das análises através da metodologia da ACV. Isto porque, há no Brasil, uma carência no que diz respeito à base de dados. Além disso, deve-se dedicar tempo suficiente no planejamento das atividades, especialmente, quanto ao acesso as informações necessárias, bem como a viabilidade técnica e financeira de um estudo de ACV.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, D; ROSSELOT, K. **Pollution prevention for chemical processes**. New York: John Wiley & Sons, 1997.

ALLIER, J. M.; JUSMET. J. R. **Economía ecológica y política ambiental**. México: Fondo de Cultura Económica, 2001.

ALMEIDA, Josimar R de.; Cláudia dos S. M.; Yara C. **Gestão ambiental: planejamento, avaliação, implantação, operação e verificação**. Rio de Janeiro: Thex, 2001. 259 p.

BACKER, P. de. **Gestão ambiental: a administração verde**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1995. 248 p.

BREVILLE, M.; GLORIA, T.; O'CONNELL, S. T. **Life Cycle Assessment: trends, methodologies and current implementation**. Department of Civil and Environmental Engineering. USA: TUFTS UNIVERSITY, 1994.

CALLENBACH, E. *et al.* **Gerenciamento ecológico: guia do instituto elmoowd de auditoria ecológica e negócios sustentáveis**. São Paulo: Cultrix, 1998.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. São Paulo: Qualitymark, 1998.

CHESNAIS, F. **A mundialização do capital**. São Paulo: Xamã, 1996.

CHIAVENATO. **Administração: teoria, processo e prática**. 2º ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 522 p.

CHRISTENSEN, P. **Driving Forces, Increasing Returns and Ecological Sustainability**. In: COSTANZA, Robert (org.). **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability**. New York: Columbia University Press, 1991.

COSTANZA, Robert (org.). **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability**. Nova Iorque: Columbia University Press, 1991.

COSTANZA, R. **Goals, Agenda and Policy recommendations for Ecological Economics**. In: COSTANZA, Robert (org.). **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability**. New York: Columbia University Press, 1991.

_____ **Assuring Sustainability of Ecological Economic Systems**. In: COSTANZA, R. (org.). **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability**. New York: Columbia University Press, 1991

CUELLAR, Jorge N; MARISA, Aumondi C. **Estudo de Caso: ACV de Sistemas de Eliminação de Resíduos sólidos Urbanos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA/Centro de Tecnologia.

DONAIRE, D. **A gestão ambiental na empresa**. São Paulo: ATLAS, 1995. 133 p .

EL SERAFY, S. **The Environment as Capital**. In: COSTANZA, R. (org.). **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability**. New York: Columbia University Press, 1991.

GOMES ,L. F. M. *et al.* **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: ATLAS, 2002.

GUINEÉ, J. B. *et al.* **AN Operational Guide to the ISO – Standard** . Netherlands, 2001.
Disponível em: <http://www.leidenuniv.nl/cml/lca2/index/html>.

HAWKEN *et al.* **Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial**. São Paulo: Cultrix, 2000.

LEWIS, H.; DEMMERS, M. **Life Cycle Assessment and Environmental Managment**. Australian Journal of Environmental Managment, Melbourne, 06/1996. p 110 - 120.

LIMA, L. H. **Controle do patrimônio ambiental brasileiro**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2001.

KLÖPFER, W.; RIPPEN, G. **Life Cycle Analisis And Ecological Balance: methodical approaches to assessment of environmental aspects of products**. USA: Pergamon Press, 1992. p. 55 - 61.

MAIMON, D. **Passaporte Verde: gestão ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark. 1996.

_____ **ISO 14001: passo a passo da implantação nas pequenas e médias empresas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

MOURA, L. A. A. de. **Qualidade e gestão ambiental: sugetsões para implantação das normas ISO 14000 nas empresas**. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2000.

NASCIMENTO, L F.; HIWATASHI, E.; LEMOS, Â. **O Desempenho Ambiental das Empresas do setor Metal Mecânico no RS**. Porto Alegre: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL/PPGA.

NASCIMENTO, Luis. F. **Impacto de Aplicação de Técnicas de Produção Limpa: Caso Pigozzi**. Porto Alegre. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL/PPGA.

NASCIMENTO, L. F. **Competitividade versus Sistema de Gestão Ambiental**._Porto Alegre: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL/PPGA.

PALADINI, E. P. **Qualidade total na prática: implantação e avaliação de sistemas de qualidade total**. São Paulo: ATLAS, 1994.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde humanas e sociais.** São Paulo: EdUSP/FAPESP, 2001.

PILLET, G. **Economia Ecológica: introdução à economia do ambiente e recursos naturais.** Lisboa: Piaget, 1993.

SOARES, S. R. **Análise simplificada do ciclo de vida de produtos: estudo de caso – embalagens para produtos líquidos.** Florianópolis: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

SOUZA, R. S. de. **Entendendo a questão ambiental: temas de economia, política e gestão do meio ambiente.** Santa Cruz do Sul: Edunisc, 2000.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Escola de Novos Empreendedores. **O que entender por tomada de decisão multicritério ou multiobjectivo?** Florianópolis, 1995.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão. **Metodologias multicritério em apoio à decisão** Florianópolis, 1999.

VALLE, C. **Como se preparar para as normas ISO 14000: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.** 3°. São Paulo: Pioneira, 2000.