

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

TÂNIA CRISTINA CAMPANHOL SETTE

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PROPOSTA DE INDICADORES PARA
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS PROCESSOS
PRODUTIVOS INDUSTRIAIS SOB A ÓTICA DA BIOMIMÉTICA**

SÃO LEOPOLDO

2010

TÂNIA CRISTINA CAMPANHOL SETTE

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PROPOSTA DE INDICADORES PARA
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS PROCESSOS
PRODUTIVOS INDUSTRIAIS SOB A ÓTICA DA BIOMIMÉTICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Orientador: Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues

São Leopoldo

2010

Ficha catalográfica

S495d Sette, Tânia Cristina Campanhol

Desenvolvimento de uma proposta de indicadores para avaliação do desempenho ambiental dos processos produtivos industriais sob a ótica da biomimética / por Tânia Cristina Campanhol Sette. – 2010.

143 f. ; il., : 30cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e sistemas, 2010.

“Orientação: Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues”.

1. Biomimética. 2. Indicadores ambientais industriais.
3. Sistemas de avaliação ambiental. I. Título.

CDU 62:57/59
504.03

Catálogo na Fonte:
Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

Tânia Cristina Campanhol Sette

**Desenvolvimento de uma Proposta de Indicadores para Avaliação do
Desempenho Ambiental dos Processos Produtivos Industriais sob a Ótica da
Biomimética**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
a obtenção título de Mestre, pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas
da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Aprovado em 27/agosto/2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luis Felipe Machado do Nascimento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Luis Henrique Rodrigues

Visto e permitida a impressão

São Leopoldo, ____/_____/_____.

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel Coordenador
Executivo PPG em Engenharia de Produção

*Dedico este trabalho à minha família:
minha mãe Terezinha, meu pai Luiz, meu irmão Reno,
minha cunhada Ana e meu sobrinho Augusto.*

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos são destinados a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a conclusão do meu mestrado e a realização deste trabalho.

Meu primeiro agradecimento é para o querido amigo André Geraldo Cirne Lima, pela confiança em mim depositada e pelos projetos que contribuíram muito para meu aprendizado.

À minha querida amiga Luciana Curra pelos incentivos nos momentos difíceis, pela paciência e pela confiança.

Ao Professor Giancarlo Pereira agradeço o forte incentivo para que eu terminasse o primeiro semestre do mestrado.

Ao Professor José Antônio Valle Antunes Junior pelas aulas inspiradoras.

Ao Professor Guilherme Vaccaro pela confiança e convite para o primeiro projeto.

Ao Professor Ricardo Augusto Cassel por aceitar em participar da banca desta dissertação.

Ao Professor Daniel Lacerda pelas ideias inspiradoras.

À Professora Mirian Borchardt pelos ensinamentos e exemplo de dedicação.

Ao Professor Miguel Afonso Sellitto pelo apoio e ensinamentos.

A todos os colegas do mestrado, em especial minha amiga Estefane Bergamo pela parceria nos trabalhos durante o mestrado.

À minha querida amiga Graziela Laidens pelo incentivo inicial dado a este trabalho e que foi muito importante para a qualificação.

À minha querida amiga Amanda Gonçalves Kieling que sempre me dá força e muito me inspira.

Ao Professor Carlos Moraes pela acolhida fraternal, pelas sugestões de bibliografia e por aceitar em participar da banca deste trabalho.

À minha querida amiga Aline Tesser pela imprescindível ajuda nas figuras.

Às minhas queridas amigas Simone Rodrigues e Larisse Techeira, por todo apoio e carinho.

Às minhas queridas amigas Rita Andria e Francine Sacon pela paciência e pela ajuda no trabalho na Biblioteca.

À querida Eliete Brasil pela ajuda na formatação inicial e na procura das referências.

À querida Vanessa Nunes pelo exemplo de dedicação e pela ficha catalográfica.

Aos colegas do GMAP, Maria Isabel Morandi, Secundino Corcini e Dieter Goldenmeyer pelo incentivo e aprendizado.

À querida amiga Antonia de Almeida por toda a atenção.

À querida amiga Cristiane Schweinberger pelo apoio, pelas conversas e pelas dicas.

Aos queridos Alexsandro Geremia, André Geraldo Cirne Lima, Cristiane Koch e Waldyr Stumpf Junior, pelas discussões e sugestões sobre os indicadores propostos neste trabalho.

Aos colegas da Associação Brasileira de Custos pela confiança em mim depositada.

Ao Professor Luis Felipe Nascimento que aceitou participar da banca desta dissertação.

Um agradecimento especial ao meu orientador Professor Luis Henrique Rodrigues pela dedicada orientação que possibilitou a realização deste trabalho.

E a toda minha família pela paciência e amor incondicional.

O Universo está empenhado em um movimento e atividade incessantes num contínuo processo de fluxo e mudança. Todos os fenômenos naturais são manifestações de uma contínua oscilação dinâmica e equilibrada entre dois pólos. Parecem existir duas espécies de atividade, uma em harmonia com natureza e outra, contrária ao fluxo natural. Analogicamente o intuitivo e o racional são modos complementares de funcionamento da mente humana. O primeiro é associado à sabedoria intuitiva e o segundo a ciência. Ao separar estes dois pólos complementares e considerar o conhecimento científico e analítico como a única forma de conhecimento aceitável, o homem gerou um desequilíbrio profundo com os ecossistemas do qual faz parte.

Fritjof Capra

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma proposta de indicadores para a avaliação do desempenho ambiental dos processos produtivos industriais, tendo como parâmetros os dez Princípios dos Sistemas Naturais Maduros, Sistemas do Tipo III, descritos pela Biomimética: (1) usam resíduos como recursos; (2) diversificam-se e cooperam para o uso completo do habitat; (3) assimilam e usam energia eficientemente; (4) aperfeiçoam em vez de explorar ao máximo; (5) usam materiais parcimoniosamente; (6) não sujam sua morada; (7) não esgotam recursos; (8) mantêm-se em equilíbrio com a biosfera; (9) operam com base em informações; e (10) consomem recursos do próprio habitat. A Biomimética estuda os modelos de funcionamento da natureza e os imita ou inspira-se neles para compreender e propor rotas e soluções para os problemas humanos. Portanto, para esta nova abordagem, os processos de fabricação das indústrias deveriam incorporar princípios que são empregados pelos animais e pelas plantas, como por exemplo, usar a luz do sol e compostos simples para produzir fibras, plásticos e produtos químicos totalmente biodegradáveis. Paralelamente, foram estudados os conceitos dos métodos de gestão ambiental na indústria: a Eco-Eficiência, a Produção mais Limpa, a Produção Limpa, as Normas ISO, a Ecologia Industrial e a Metodologia Zeri. Posteriormente, foram levantados os métodos de avaliação do desempenho ambiental industrial, modelos para construção de sistemas de indicadores e analisados os indicadores de avaliação ambiental desenvolvidos por diferentes entidades para o setor industrial. É sugerido para cada Princípio um indicador, exceto para os Princípios 3 e 4. Para estes, identificou-se a importância da utilização do indicador de pressão e outro de resposta, considerando a atual impossibilidade de alterações estruturais na matriz energética mundial e no uso de materiais. Isso levou a determinação de doze indicadores que representam o comportamento dos aspectos industriais alinhado aos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros. Assim, analisa-se o desempenho dos aspectos da atividade industrial sob a ótica de um padrão de eficiência que contempla uma estratégia diferenciada contida nos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros, base de todo este trabalho. Certamente, essa concepção poderá contribuir, de uma forma eficaz, para o desenvolvimento da dimensão ambiental da sustentabilidade a partir da atividade industrial.

Palavras-chave: Biomimética. Indicadores Ambientais Industriais. Sistemas de Avaliação Ambiental.

ABSTRAT

This work presents the development of a proposal of indicators for assessing the environmental performance of industrial processes, taking as parameters the ten Principles of Mature Natural Systems, described by Biomimetics: (1) use waste as a resource, (2) diversifying, cooperate to the full use of habitat, (3) assimilate and use energy efficiently, (4) enhance rather than exploit to the maximum (5) use materials sparingly, (6) does not mess your address, (7) do not deplete resources, (8) remain in equilibrium with the biosphere, (9) operate on the basis of information (10) consume resources of their own habitat. The Biomimicry studies models of nature and then imitates or draws them to understand and propose solutions to human problems. So for this new approach, manufacturing processes of industries should incorporate principles which are used by animals and plants, for example, use sunlight and simple compounds to produce fibers, plastics and chemicals completely biodegradable. Parallel studies on the concepts of methods of environmental management in industry: Eco-Efficiency, Cleaner Production, ISO, Industrial Ecology and Zeri Methodology. The methods of industrial environmental performance assessment, models for building systems of indicators and analysis of environmental assessment indicators were subsequently raised developed by different parties to the industrial sector. For each Principle is suggested one indicator, except for the 3 and 4 Principles, which identified the importance of using a pressure gauge and another response, considering the current lack of structural changes in global energy production and use of materials. This led to determination of twelve indicators that represent the behavior of industrial aspects aligned to the Principles of Natural Systems. It is analyze the performance of industrial aspects activity from the viewpoint of an efficiency standard that includes a differentiated strategy contained in the Principles of Natural Systems Mature, base of this work. Certainly this concept can contribute effectively to the development of environmental sustainability from the industrial activity.

Key words: Biomimicry. Industrial Environmental Indicators. Systems Environmental Assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Descrição dos passos metodológicos para o desenvolvimento da pesquisa.....	31
Figura 2: Etapas para a proposição de indicadores	32
Figura 3: Fluxograma P+L	38
Figura 4: Avaliação do desempenho ambiental	50
Figura 5: Pirâmide de informações	52
Figura 6: Compatibilização entre os tipos de indicadores e o processo estratégico	56
Figura 7: Conjunto de Indicadores Ambientais Corporativos.....	59
Figura 8: Modelo PER	61
Figura 9: Relacionamento entre as classes dos modelos PER, CER, PEIR e CPEIR.....	62
Figura 10: Representação das entradas e saídas para um sistema industrial.....	79
Figura 11: Produção linear e circular	89
Figura 12: Comparação dos aspectos ambientais entre os modais de transporte.....	126
Figura 13: Exemplo ilustrativo da representação gráfica do resultado final.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação conceitual entre P+L e PL	39
Quadro 2: Conjunto de Normas da Série ISO 14.000.....	41
Quadro 3: Princípios de Ecologia Industrial selecionados por três categorias	44
Quadro 4: Conceito de gestão zero	45
Quadro 5: Comparação entre Produção mais Limpa e Zeri.....	45
Quadro 6: Requisitos de um bom indicador.....	53
Quadro 7: Tipos de indicadores	54
Quadro 8: Áreas de atuação dos indicadores	58
Quadro 9: Características para a Definição de Conjuntos de Indicadores.....	63
Quadro 10: Parte da Lista de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável da ONU	65
Quadro 11: Indicadores para matérias primas.....	66
Quadro 12: Indicadores para energia	66
Quadro 13: Indicadores para água	67
Quadro 14: Indicadores para geração de resíduos	67
Quadro 15: Indicadores para emissões atmosféricas	68
Quadro 16: Indicadores para efluentes líquidos.....	68
Quadro 17: Indicadores para produto.....	69
Quadro 18: Indicadores de infraestrutura.....	69
Quadro 19: Indicadores de desempenho operacional da indústria.....	71
Quadro 20: Indicadores de desempenho operacional - serviços	71
Quadro 21: Indicadores de desempenho de gestão ambiental	72
Quadro 22: Principais indicadores ambientais do GRI.....	74
Quadro 23: Indicadores de controle operacional	78
Quadro 24: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para materiais.....	80
Quadro 25: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para energia.....	80
Quadro 26: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para água.....	81
Quadro 27: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para resíduos	81
Quadro 28: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para emissões.....	82
Quadro 29: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para produtos	83
Quadro 30: Comparação das estratégias das espécies Tipo I e Tipo III	87

Quadro 31: Relação entre os Princípios dos Sistemas Tipo III com os aspectos da atividade industrial e com as características dos indicadores selecionados	101
Quadro 32: Relação entre os Princípios dos Sistemas Tipo III com os aspectos da atividade industrial e com as características dos indicadores selecionados	101
Quadro 33: Parâmetros	109
Quadro 34: Matriz de comunicação	124
Quadro 35: Critério de avaliação do indicador informações com <i>feedback</i>	124
Quadro 36: Critério de avaliação do indicador modal de transporte	127
Quadro 37: Exemplo para consolidação dos resultados dos indicadores.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Busca no referencial teórico	24
Tabela 2: <i>Input-output</i>	48
Tabela 3: <i>Output- input</i>	48
Tabela 4: <i>Input-output</i>	106
Tabela 5: <i>Output Input</i>	106
Tabela 6: Consolidação dos resultados.....	109
Tabela 7: Tabela para coleta de dados do consumo de energia.....	111
Tabela 8: Calculo do GWP equivalente em CO ₂ em 100 anos.....	121

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Análise do Ciclo de Vida

ADA - Avaliação de Desempenho Ambiental

AEA - Agência Europeia do Ambiente

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários

CDS - Comissão de Desenvolvimento Sustentável

CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CEMDS – Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável

CER - Causa-Estado-Resposta

CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas

CPEIR - Causa-Pressão-Estado-Impacto-Resposta

DfE - *Design for Environment* (Projeto para o Ambiente)

DPSIR - *Driver-Pressure-State-Impact-Response*

DSR - *Drivers-State-Response*

GEE - Gases de Efeito Estufa

GRI - *Global Reporting Initiative*

GWP - *Global Warming Potential*

ICA - Indicador de Condição Ambiental

IDA - Indicador de Desempenho Ambiental

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO - Organização Internacional para Normatização ou *International Organization for Standardization*

OCDE - Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OECD - *Organization Economic Cooperation and Development*

ONU - Organização das Nações Unidas

PEIR - Pressão-Estado-Impacto-Resposta

PER - Pressão-Estado-Resposta

PmL - Produção mais Limpa

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PSIR - *Pressure-State-Impact-Response*

PSR - *Pressure-State-Response*

REACH - *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SGA - Sistema de Gestão Ambiental

TQM - *Total Quality Management*

UNEP - *United Nations Environment Program*

UNIDO - Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial

WBCSD - *World Business Council for Sustainable Development*

WCED - *World Commission on Environment and Development*

ZERI - *Zero Emissions Research Initiative*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA	21
1.2 TEMA E JUSTIFICATIVA	21
1.2.1 A importância da atividade industrial na questão ambiental	21
1.2.2 Escolha da Biomimética como nova abordagem para avaliação ambiental da atividade industrial através da utilização de indicadores.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivos específicos.....	25
1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	25
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	26
2 MÉTODO	28
2.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	28
2.2 MÉTODO DE TRABALHO	30
3 REFERENCIAL TEÓRICO	34
3.1 MÉTODOS E FERRAMENTAS DA GESTÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA.....	34
3.1.1 Eco-Eficiência - EE.....	35
3.1.2 Produção Mais Limpa – P+L.....	36
3.1.3 Produção Limpa - PL	39
3.1.4 Normas da Série ISO 14000.....	40
3.1.5 Ecologia Industrial	42
3.1.6 Metodologia ZERI	45
3.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA.....	49
3.2.1 Considerações iniciais sobre avaliação e indicadores.....	50
3.2.2 Sistemas de indicadores de desempenho ambiental na indústria.....	55
3.2.3 Modelos de estruturação de sistemas de indicadores	60
3.2.4 Principais proposições de indicadores ambientais	63
3.2.4.1 Indicadores ambientais sugeridos pela Organização das Nações Unidas – ONU.....	64
3.2.4.2 Indicadores ambientais desenvolvidos pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL.....	65
3.2.4.3 Indicadores ambientais sugeridos pelo Sistema Europeu de Certificação - Environmental Management Audit Scheme - EMAS	70

3.2.4.4 Indicadores ambientais sugeridos pelo Global Reporting Initiative - GRI.....	72
3.2.4.5 Indicadores ambientais construídos a partir das normas ISO 14031.....	75
3.2.4.6 Síntese e seleção das proposições de indicadores	79
3.3 BIOMIMÉTICA	84
3.3.1 Sistemas Naturais	85
3.3.2 Estratégias do Sistema Natural Tipo III	88
3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	96
4 PROPOSIÇÃO DO CONJUNTO DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS ...	98
4.1 RELAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS DA ATIVIDADE INDUSTRIAL COM OS SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS E OS PRINCÍPIOS DOS SISTEMAS NATURAIS TIPO III ..	98
4.2 APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES BIOMIMÉTICOS	104
4.2.1 Indicador 1: Reutilização dos resíduos – REUR (Princípio 1: Utilizam resíduos como recursos)	104
4.2.2 Indicador 2: Inserção em redes de cooperação – IRC (Princípio 2: Diversificam-se e cooperam para o uso completo do habitat)	107
4.2.3 Indicador 3A: Consumo eficiente de energia - CEE e Indicador 3B: Uso de energia de fontes renováveis – EFR (Princípio 3: Assimilam e usam energia eficientemente)...	110
4.2.4 Indicador 4: Reaproveitamento do produto final descartado pelo consumidor – RPFC (Princípio 4: Aperfeiçoam, em vez de explorar ao máximo).....	112
4.2.5 Indicador 5A: Consumo eficiente de materiais - CEM e Indicador 5B: Utilização de materiais de fonte renovável - UMR (Princípio 5: Usam materiais e recursos parcimoniosamente)	114
4.2.6 Indicador 6: Substância tóxica por produto - STP (Princípio 6: Não sujam sua morada)	116
4.2.7 Indicador 7: Reuso da água – RA (Princípio 7: Não esgotam recursos).....	118
4.2.8 Indicador 8: Carbono sequestrado pela quantidade de gases de efeito estufa emitidos – CSGEE (Princípio 8: Mantêm-se em equilíbrio com a biosfera).....	119
4.2.9 Indicador 9: Informações intra e extra organização – IIEO (Princípio 9: Operam com base em informações)	122
4.2.10 Indicador 10: Modais de transporte – MT (Princípio 10: Consomem recursos do próprio habitat)	125
4.3 CONSOLIDAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES	128
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132

REFERÊNCIAS	135
--------------------------	------------

1 INTRODUÇÃO

As empresas e as nações, detentoras de recursos econômicos e financeiros, estão envolvidas numa verdadeira corrida pela busca do crescimento econômico. Interesses sócio-políticos de caráter internacional crescem no bojo desenfreado do movimento de competição pela ocupação dos espaços nos mercados, pelo domínio do conhecimento e da tecnologia, pelo controle do espaço geográfico e dos recursos naturais estratégicos.

O setor industrial demonstrou ser aquele capaz de promover a riqueza e estabelecer *status* de poder e de dominação econômica. Assim, os países, sem exceção, adotaram políticas voltadas ao desenvolvimento do seu setor industrial na busca do crescimento da renda e do emprego. No processo de evolução da atividade manufatureira, a busca da produtividade pelo aumento da escala de produção começa em meados do século XVIII, com a Revolução Industrial, determinando a aceleração do crescimento pela concentração de atividades e de produtos. A produção de bens, intrínseca à atividade industrial, é a responsável pelo maior consumo de energia, pelo maior uso dos recursos naturais, pela indução de novos padrões e introdução de novos produtos.

A crescente evolução competitiva, a partir dos aumentos da produção industrial, promoveu profundas alterações nas concepções, nos valores e nos comportamentos das sociedades. Produziu efeitos negativos na natureza provocados pelas emissões atmosféricas, pela geração de resíduos com inadequada disposição final, pela promoção da escassez de recursos básicos e vitais, como a água, promovendo o seu encarecimento e, resumidamente, a perda da qualidade de vida.

Segundo Benyus (2006), quando se examina objetivamente o passado recente – e duzentos anos não é muito em termos de evolução humana e certamente não em termos de evolução biológica –, um fato se torna claro: o modelo pautado pela Revolução Industrial do século XVIII, tal como se conhece agora, não é sustentável.

O termo desenvolvimento sustentável foi primeiramente discutido, em 1980, pela *World Conservation Union*, no documento intitulado: *World's Conservation Strategy*. Esse documento afirma que, para que o desenvolvimento seja sustentável, devem-se considerar aspectos referentes às dimensões social e ecológica, bem como fatores econômicos, dos recursos vivos e não vivos e as vantagens de curto e longo prazo de ações alternativas. O Relatório de Brundtland elaborado pela *World Commission on Environment and Development* (WCED), publicado em 1987, dissemina uma das definições mais conhecidas, de acordo com

a qual o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (BELLEN, 2002).

A visão recente da crescente perda de sustentabilidade levou muitas indústrias a evoluírem para uma produção mais eficiente, visando à melhoria da qualidade e à produção sob demanda. Inicia-se uma nova fase em que conceitos são revisados para determinar a competitividade sistêmica da atividade industrial, porém de um modo geral, ainda não se conseguiu superar a produção de excedentes. Os aumentos de escala de produção, buscados para baixar o custo unitário dos produtos, geram mais resíduos e, acrescentando a isso, promovem a aceleração do esgotamento das reservas naturais de matérias primas básicas, pondo em risco o atendimento das necessidades das gerações futuras.

Para Bellen (2002), a sustentabilidade requer um padrão de vida dentro dos limites impostos pela natureza e utiliza uma metáfora econômica, segundo a qual se deve viver dentro da capacidade do capital natural¹. Embora o capital natural seja fundamental para a continuidade da espécie humana sobre a Terra, as tendências mostram uma população e um consumo médio crescentes, com decréscimo simultâneo deste mesmo capital.

Segundo Benyus (2006), o meio ambiente é um sistema muito engenhoso e flexível, mas certamente existem limites em sua capacidade para absorver os fluxos enormemente ampliados de resíduo que a produção industrial está gerando. A Biomimética é uma nova abordagem que estuda os modelos da natureza e depois os imita ou inspira-se neles para resolver os problemas humanos. Para essa nova abordagem, a natureza dá uma lição de crescimento com sustentabilidade porque privilegia a diversidade ao invés da concentração, a cooperação substituindo a competição, utiliza racionalmente os recursos sem produzir resíduos e é exigente na baixa taxa de transformação da energia solar para seu crescimento.

Os três fatores que descrevem essa nova abordagem são:

- i. Natureza como modelo: estuda os modelos da natureza e os imita ou usa-os como inspiração para os designs (projetos) / processos, com o intuito de resolver os problemas humanos.
- ii. Natureza como uma medida: utiliza os padrões ecológicos para julgar a relevância das inovações.

¹ O capital natural é, segundo Hawken (1999), constituído de recursos naturais, sistemas vivos e os serviços do ecossistema que possibilitam toda a atividade econômica e a própria vida. Pode ser encarado como a soma total dos sistemas ecológicos que sustentam a vida.

- iii. Natureza como uma mentora: observa e avalia a natureza de uma nova forma, não no que se pode extrair do mundo natural, mas no que se pode aprender dele.

Dessa forma, a natureza possui modelos de sustentabilidade que podem ser estudados e utilizados para avaliar um sistema econômico auto-sustentável e um dos modelos existentes são os chamados Sistemas Naturais Maduros ou Sistemas do Tipo III. Esses sistemas se organizam numa comunidade diversificada e integrada com objetivos comuns, tais como manter a sua existência num único lugar, aproveitar ao máximo o que têm à disposição e conservar-se ao longo do tempo. São sistemas que conseguem fazer mais com menos e estão adaptados para viver numa terra que esteja num estado de relativo equilíbrio, desenvolvendo-se, geração após geração, no mesmo lugar. Esses sistemas promovem intrincada sinergia entre as espécies e empregam sua energia no aperfeiçoamento dessa relação. Os Sistemas do Tipo III provém de uma evolução que se inicia com o Sistema do Tipo I definido pelo crescimento desordenado dos seus componentes e caracterizado por alto consumo de energia e de materiais. Posteriormente evolui para o Sistema do Tipo II, intermediário, em que se inicia um processo de ordenação e diversificação com redução de consumo e aumento da sinergia que se encaminha no processo de aperfeiçoamento para o Sistema do Tipo III.

Muitas empresas têm buscado na natureza soluções para problemas tecnológicos. Um exemplo é a Sociedade de Reciclagem de Veículos criada pela Ford, GM e Chrysler, que visa à cooperação na fase de projeto e desenho industrial. Essa cooperação busca a criação de uma nomenclatura específica e a padronização de materiais que permitam reaproveitar reciprocamente as peças automotivas fabricadas pelas empresas anteriormente mencionadas. Outro exemplo é a 3M que encontrou na natureza soluções técnicas para o desenvolvimento de seus produtos, conseguindo por esse caminho diminuir o uso de substâncias tóxicas (BENYUS, 2006).

Na busca de um sistema produtivo industrial ambientalmente sustentável, este trabalho visa propor um conjunto de indicadores baseados nos dez princípios observados nos Sistemas Naturais Maduros e descritos pela Biomimética. Essa proposição pretende alinhar as pautas estratégicas inerentes à competitividade empresarial com o equilíbrio ambiental, objetivando contribuir para a avaliação sistêmica da sustentabilidade industrial no seu conceito amplo – econômico, social e ambiental.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Esta pesquisa busca responder a seguinte questão:

Quais seriam os indicadores que expressam de forma objetiva os Princípios dos Sistemas Naturais do Tipo III, apresentados pela Biomimética, para aplicação nos processos produtivos industriais?

1.2 TEMA E JUSTIFICATIVA

A seguir, serão apresentados o tema e a justificativa deste estudo. Para isso, este item foi dividido em dois subitens que tratam da importância da atividade industrial na questão ambiental e da escolha da Biomimética como uma nova abordagem para avaliar essa relação e, com isso, possibilitar um melhor entendimento sobre o tema.

1.2.1 A importância da atividade industrial na questão ambiental

A globalização tem feito com que as organizações adotem diferentes estratégias para a manufatura e serviços, de forma a tornar suas operações mais eficientes e, portanto, mais competitivas globalmente. No entanto, o aumento da competitividade tem levado as empresas a uma corrida pelo aumento das escalas de produção e redução de custos, quase sempre vinculados ao crescimento não sustentado ambientalmente.

Esta visão, meramente econômica, provoca uma busca incessante pela competitividade a qualquer custo, gerando inúmeros riscos para o meio ambiente, para a sociedade e para a própria economia. Conciliar a pressão do mercado por produtos e serviços inovadores e competitivos com a demanda da comunidade por melhor qualidade de vida é o grande desafio com que se defrontam as empresas atualmente. Por outro lado, os investidores precisam garantir que seus clientes tenham retorno em prazos longos, uma vez que querem fazer aposta segura. Isso significa investir em empresas pró-ativas nas questões que envolvem riscos ambientais.

A opção econômico-industrial, por grandes corporações, rompe com as limitações determinadas pelos sistemas ambientais naturais e sociais, cria um ambiente exclusivo e competitivo, ao passo que os sistemas naturais maduros primam por estratégias de diversificação, cooperação e divisão de recursos no lugar de competição. O grande desafio para a sociedade é conciliar o crescimento econômico, com a inclusão social e com a elevação da qualidade ambiental, de forma sistêmica e equilibrada nos processos produtivos.

Diante desse cenário, a preocupação relacionada aos impactos ambientais gerados pela sociedade tem induzido o desenvolvimento de novos métodos e ferramentas que visam auxiliar o entendimento com o controle e a redução desses impactos (MORAES *et al*, 2010). Pode-se dizer que a indústria é uma peça chave no contexto do desenvolvimento sustentável, pois é uma das maiores fontes geradoras de problemas ambientais e, em contrapartida, representa um componente importante em termos tecnológicos e econômicos na busca de soluções para a sustentabilidade. Portanto, possivelmente, será através da indústria que se iniciará um grande movimento em direção da sustentabilidade.

De acordo com Daroit e Nascimento (2004), empresas inovadoras estão atentas a todas as oportunidades e isso significa também gerar novas oportunidades de negócios e de ganhos a partir da otimização e de modificações no processo produtivo, do melhor atendimento às exigências de consumidores e às pressões do mercado. Nesse sentido, a crescente conscientização ecológica da população que está mais preocupada com o desempenho ambiental das empresas e seus produtos, além da legislação ambiental cada vez mais restritiva a processos e produtos poluentes, obriga as empresas a desenvolverem inovações que passam a ser chamadas inovações ambientais ou eco-inovações.

O compromisso com a promoção da sustentabilidade impõe o resgate de conhecimentos e processos de apreensão da realidade, que permitam a percepção integrada dos diferentes fatores sociais, econômicos e ecológicos que determinam a qualidade ambiental. A busca pela eficiência nos processos produtivos alinhada com a qualidade ambiental é possível, e não produz, necessariamente, perda de competitividade nos mercados. Segundo Costa (2002), as firmas negligenciam oportunidades de ganhos econômicos com a redução da poluição, muitas vezes por razões ligadas à falta de informação acerca dos investimentos necessários e dos benefícios a serem alcançados.

Indicadores são parâmetros utilizados para interpretar características de determinado objeto de análise (CEROI, 2004 *apud* MAGALHÃES, 2004). Os indicadores, utilizados adequadamente, independentemente do conceito escolhido para a sua seleção, permitirão um maior conhecimento do perfil atual e de tendências futuras, em relação aos parâmetros

analisados (CARDOSO, 2004). Assim sendo, para este trabalho em que serão analisados os impactos da atividade industrial sobre o meio ambiente, a utilização de indicadores será uma importante ferramenta.

Atualmente, diversas entidades como a Organização das Nações Unidas (ONU), através de suas organizações como a Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS), além da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), tem desenvolvido esforços no sentido de estabelecer indicadores para o desenvolvimento sustentável ou propor metodologias para a escolha dos mesmos. A criação desses indicadores ainda se encontra em pleno desenvolvimento, devido à complexidade sistêmica que essa criação envolve, estabelecendo modelos metodológicos para sua proposição e que avaliem integralmente a produção competitiva com qualidade ambiental.

1.2.2 Escolha da Biomimética como nova abordagem para avaliação ambiental da atividade industrial através da utilização de indicadores

Para Capra (2007), os Princípios organizadores dos sistemas naturais devem ser considerados superiores aos das tecnologias humanas baseadas em invenções recentes e com muita frequência em projeções lineares de curto prazo. Assim, também de acordo com Costa (2002), a reestruturação dos sistemas industriais em direção à sustentabilidade ambiental deveria ter como base os princípios organizacionais dos ecossistemas naturais. Essa busca exige, entre outros mecanismos, a definição de indicadores que relacionem as condições de sustentabilidade ambiental com os diferentes setores da produção industrial.

Nesse sentido, os conceitos e ferramentas dos sistemas naturais são importantes para perceber a relação da indústria com a natureza, bem como para entender como é possível promover crescimento sustentável. Um exemplo disso é o conceito de simbiose, comum nos sistemas naturais, que pode ser aplicado aos sistemas tecnológicos (GRAEDEL; ALLENBY, 1995).

Para Drack (2002), os sistemas biológicos são presumivelmente sustentáveis, pois têm existido há centenas de milhões de anos. Ao longo da evolução, a natureza refinou as suas formas, processos e sistemas através de um conjunto de etapas incrementais. Pode-se dizer que esse complexo enlace de forças evolutivas assegura a qualidade do sistema resultante, contribuindo para geração de subsistemas altamente adaptados.

Através da análise dos indicadores desenvolvidos pelos principais organismos internacionais que pesquisam e desenvolvem propostas com contribuição ambiental e na busca por publicações científicas, constatou-se que não há na sua construção o objetivo estratégico de correlacionar as variáveis industriais com objetivos ambientais baseados ou relacionados aos Princípios Naturais Maduros explicitados pela Biomimética. A Tabela 1 apresenta o resultado da pesquisa nas bases de dados no período de 1990 a 2010.

A pesquisa teve como princípio a busca de publicações contendo “Indicadores ambientais industriais”, que mostrou como resultado o número total de publicações sobre o assunto, nas bases de dados pesquisadas. Para verificar a originalidade do trabalho, uma nova busca foi feita, refinando o resultado previamente obtido procurando adicionar a palavra “Biomimética” a fim de buscar alguma relação com o tema proposto nesta pesquisa.

Tabela 1: Busca no referencial teórico

Assunto pesquisado	Indicadores ambientais industriais (<i>Industrial environmental indicators</i>)	Biomimética (<i>Biomimicry/Biomimetic</i>)
Base de dados		
Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações	59	zero
EBSCO (<i>Academic Search Premier, GreenFILE, Environment Complete</i>)	1.609.564	zero
<i>Engineering Village</i>	1322	zero
<i>ISI Web Knowledge</i>	232	zero
<i>Science Direct</i>	243	zero
<i>Scientific Electronic Library Online - SciELO Brasil</i>	10	zero

Fonte: Elaborado pela autora

Ao fim da análise dos resultados obtidos, pode-se verificar que a proposta desta pesquisa apresenta originalidade, visto que, embora as publicações pesquisadas não representem a totalidade de publicações a respeito do assunto, não se encontrou nenhuma publicação que abordasse a aplicação da Biomimética no desenvolvimento de indicadores ambientais para a indústria.

Dessa forma, identificou-se a possibilidade de desenvolver uma proposta de indicadores para a avaliação do desempenho ambiental dos processos produtivos industriais. Essa proposta, por sua vez, deveria ter como base e referência os padrões de comportamento observados na natureza e entendidos através da Biomimética, com vistas a tornar os processos

produtivos industriais mais flexíveis, diversificados e integrados com a natureza, visando atender às necessidades colocadas pelo mercado no ambiente competitivo contemporâneo.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é propor um conjunto de indicadores para avaliar o desempenho ambiental dos processos produtivos industriais, tendo como referência os Princípios dos sistemas naturais maduros do Tipo III, descritos pela Biomimética.

1.3.1 Objetivos específicos

Constituem os objetivos específicos deste trabalho:

- Organizar os indicadores de desempenho ambiental encontrados na literatura selecionada, relacionando-os com os Princípios dos Sistemas Naturais Maduros apresentados pela Biomimética.
- Propor padrões de referência para a medição do desempenho ambiental a partir dos indicadores escolhidos, tendo como parâmetro os Princípios dos Sistemas Naturais Maduros.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Inicialmente, convém salientar que o presente trabalho não pretende esgotar o tema em análise. Dessa forma, algumas limitações são apresentadas a seguir:

- Esta dissertação está focada na dimensão ambiental da sustentabilidade. Desse modo serão abordados apenas indicadores para reportar o desempenho ambiental das organizações. Não serão discutidos nem propostos indicadores para avaliar as variáveis econômicas e sociais, fundamentais para o atendimento ao conceito de Desenvolvimento Sustentável.

- A construção do conjunto de indicadores não está focada em um processo produtivo específico, mas sim, está pautada em estudo teórico e de observação da atividade industrial global.
- Não se pretende validar o conjunto de indicadores empiricamente através de sua aplicação em uma empresa. Trata-se de uma proposição teórica onde uma tentativa de avaliação através de especialistas do assunto não resultou em críticas relevantes para o trabalho.
- Os indicadores propostos não possuem pesos de importância que os diferenciem, tampouco fatores de penalização, pois se entende que para tais proposições se faz necessária uma ampla e profunda discussão sobre o tema.
- Pela amplitude de trabalhos encontrados no desenvolvimento de indicadores ambientais não foi possível esgotar a análise de todas as propostas existentes na literatura. Igualmente, não foi possível esgotar as abordagens teóricas para os indicadores de desempenho ambiental.
- Trata-se de uma proposta inicial para aplicação prática em uma empresa. Os indicadores apresentados poderão ser ampliados e ou modificados caso a caso, conforme a empresa.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, com conteúdos descritos sucintamente na sequência.

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução, evidenciando o escopo do trabalho, seguido da justificativa, dos objetivos e das limitações do trabalho.

O segundo capítulo apresenta o método de pesquisa escolhido, bem como o método de trabalho utilizado.

No terceiro capítulo, é realizada uma revisão do referencial teórico sobre os assuntos pertinentes ao tema da dissertação, buscando apresentar de forma clara e objetiva as abordagens da Eco-eficiência, da Produção mais Limpa, da Produção Limpa, das Normas ISO, da Ecologia Industrial, da Metodologia Zeri e da Biomimética na gestão ambiental dos processos produtivos. Além desses temas, será possível encontrar também nessa seção os

sistemas e métodos de avaliação da sustentabilidade ambiental industrial e os indicadores desenvolvidos por organismos nacionais e internacionais.

A construção do conjunto de indicadores para avaliação do desempenho ambiental dos processos produtivos industriais é apresentada no quarto capítulo.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões decorrentes do desenvolvimento do trabalho, bem como as sugestões para estudos futuros sobre o tema.

2 MÉTODO

Este capítulo apresenta o método utilizado para a realização desta pesquisa. Cabe mencionar que o método de pesquisa é desenvolvido com intuito de evidenciar a abordagem metodológica, e o método de trabalho com os passos utilizados para sua realização.

2.1 MÉTODO DE PESQUISA

Silva e Menezes (2001) classificam a pesquisa segundo sua natureza (básica e aplicada), seus objetivos (exploratória, descritiva e explicativa), sua abordagem (qualitativa, quantitativa) e seus procedimentos técnicos. Em se tratando da sua natureza, esta dissertação enquadra-se como uma pesquisa aplicada, tendo em vista que os conhecimentos gerados são direcionados para fins práticos, buscando a solução de problemas específicos. Em relação aos seus objetivos, este trabalho é classificado como pesquisa exploratória, visto que permite entrar em contato com o problema com vistas a torná-lo mais explícito para, então, construir hipóteses com o objetivo de solucioná-lo, com característica de aprimoramento de ideias ou descoberta de intuições. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa, pois consiste na análise, comparação e interpretação de dados e informações disponíveis na literatura; não requerendo, para tanto, tratamento estatístico. Quanto ao procedimento técnico, é uma pesquisa bibliográfica, pois é elaborada a partir de material já publicado constituído principalmente de livros, artigos publicados em periódicos e materiais disponibilizados na Internet.

De acordo com Silva e Menezes (2001), a pesquisa aplicada fundamenta-se na utilização do conhecimento adquirido e desenvolvido através da pesquisa básica para a construção de soluções para problemas específicos. Neste trabalho, busca-se encontrar caminhos para os desafios enfrentados pela atividade industrial com a qualidade do meio ambiente, a fim de contribuir para o desenvolvimento econômico ambientalmente sustentável.

Segundo Gil (2007), o planejamento de uma pesquisa exploratória é flexível e possibilita a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. Para o autor, na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: (a) levantamento de dados; (b) entrevistas

com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema; e (c) análise dos dados e estruturação de exemplos que estimulem a compreensão.

Para Silva e Menezes (2001), a abordagem qualitativa considera uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

Segundo Gil (2007), a investigação científica depende de um conjunto de procedimentos técnicos para que seus objetivos sejam atingidos. O método científico é o conjunto de operações que se deve empregar na investigação, a partir da linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa. Os métodos que fornecem as bases lógicas à investigação são: dedutivo, indutivo, hipotético-dedutivo, dialético e fenomenológico.

Neste trabalho, foi empregado o método dedutivo que, de acordo com Gil (2007), tem o objetivo de explicar o conteúdo das premissas, por intermédio de uma cadeia de raciocínio em ordem descendente, de análise do geral para o particular. Usa o silogismo, construção lógica para, a partir de duas premissas, retirar uma terceira, logicamente decorrente das duas primeiras, denominada de conclusão.

Nesta dissertação, foram realizadas análises do comportamento da atividade industrial e do meio ambiente promovendo associações entre elas, de forma dedutiva, a partir do conhecimento compilado através da pesquisa bibliográfica e das contribuições dos especialistas.

Para Gil (2007), a principal vantagem de uma pesquisa bibliográfica está no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama muito mais ampla de fenômenos, do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Entretanto, é possível que essa vantagem comprometa a qualidade da pesquisa, pois muitas fontes secundárias podem conter dados coletados ou processados de forma equivocada e um trabalho fundamentado nessas fontes pode reproduzir ou ampliar esses erros.

As etapas de uma pesquisa bibliográfica dependem de fatores, tais como a natureza do problema, o nível de conhecimento do pesquisador sobre o assunto, o grau de precisão que se pretende conferir a pesquisa, entre outros. Assim, qualquer tentativa de apresentar um modelo para desenvolvimento desse tipo de pesquisa deverá ser entendida como arbitrária, pois os modelos apresentados pelos autores desse assunto diferem significativamente entre si (GIL, 2007).

Gil (2007) sugere as seguintes etapas para o desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica: escolha do tema; levantamento bibliográfico preliminar; formulação do problema; elaboração do plano provisório de assunto; busca das fontes; leitura do material; fichamento; organização lógica do assunto; e redação do texto, porém deixa claro que as mesmas não devem ser entendidas como um roteiro rigoroso

Para Medeiros (2009), as etapas de uma pesquisa bibliográfica compreendem: escolha do assunto, elaboração do plano de trabalho, desenvolvimento, análise, interpretação e redação. O assunto escolhido deve ser condizente com a capacidade do pesquisador, de acordo com suas inclinações e gosto pessoal. Depois de escolhido o assunto, passa-se a sua delimitação, o que vem a constituir-se no tema. Após, recomenda-se a elaboração do plano de trabalho que deve conter a introdução, o desenvolvimento dividido em tópicos (fundamentação lógica do trabalho, explicação do tema, discussão e demonstração) e, finalmente, a conclusão, na qual tudo deve ser sintetizado.

Para esta dissertação, foi construído o modelo específico compreendendo: escolha do tema; formulação do problema; levantamento bibliográfico; busca das fontes; leitura do material; organização lógica do assunto; redação preliminar do texto; e redação final.

2.2 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho caracteriza-se por determinar um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que conduzirão a sequência de passos que serão realizados para a execução efetiva da pesquisa. A Figura 1 apresenta os passos determinados para a elaboração deste trabalho.

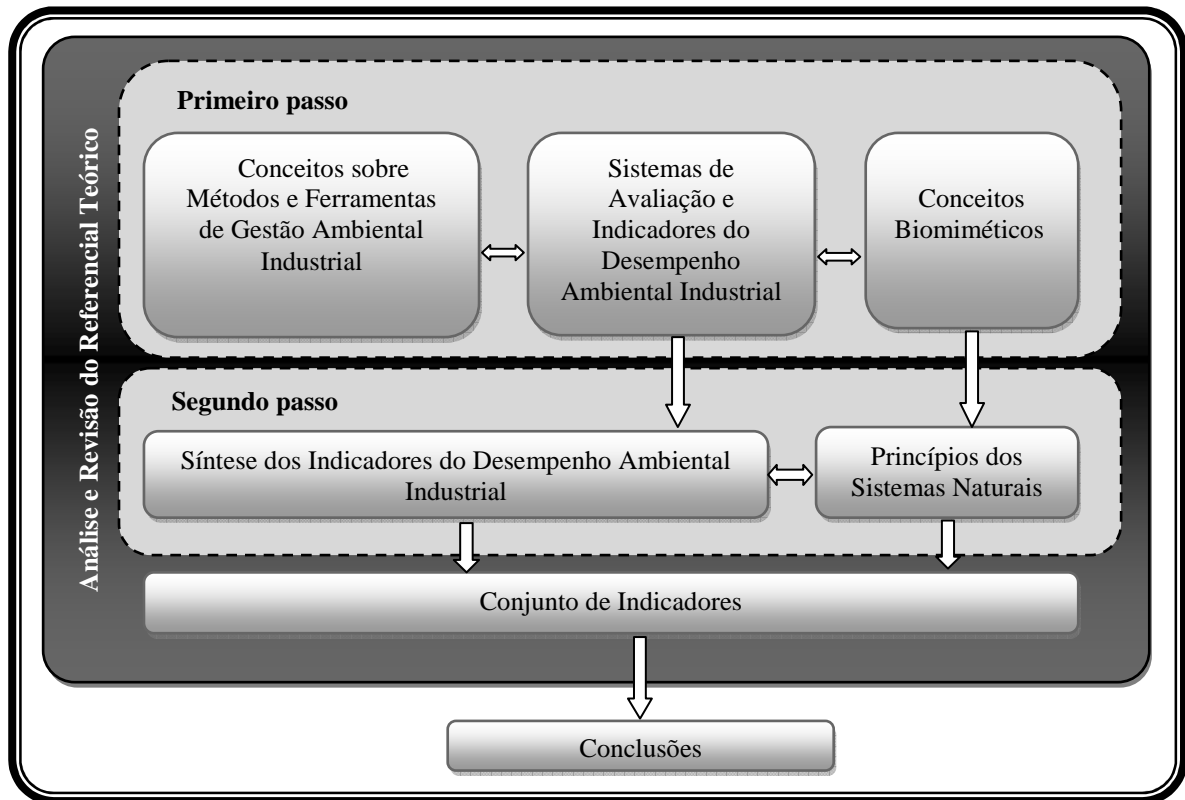


Figura 1: Descrição dos passos metodológicos para o desenvolvimento da pesquisa

Fonte: Elaborado pela autora

O primeiro passo foi estudar os conceitos dos métodos de gestão ambiental na indústria: a Eco-eficiência, a Produção mais Limpa (P+L), a Produção Limpa (PL), as Normas ISO, a Ecologia Industrial e a Metodologia Zeri. Posteriormente, foram levantados os métodos de avaliação do desempenho ambiental industrial, os modelos para construção de sistemas de indicadores e apresentados os indicadores de avaliação ambiental desenvolvidos por diferentes entidades para os diferentes aspectos da atividade industrial e que continham como base os conceitos de gestão apresentados. Entende-se como aspectos da atividade industrial as entradas e saídas de materiais e energia que compõem o processo produtivo. Paralelamente, foram introduzidos os conceitos extraídos da Biomimética referentes aos sistemas naturais maduros, ou seja, os Sistemas do Tipo III. Cabe dizer que eles foram inseridos com o objetivo de identificar a maneira como a natureza opera para compará-la aos conceitos tradicionais de avaliação ambiental a partir da indústria e ampliar o foco estratégico na busca da identificação de indicadores que atendam os objetivos contidos nos Princípios dos sistemas naturais maduros.

O segundo passo envolveu a proposição do conjunto de indicadores, cujas etapas podem ser observadas através da Figura 2.

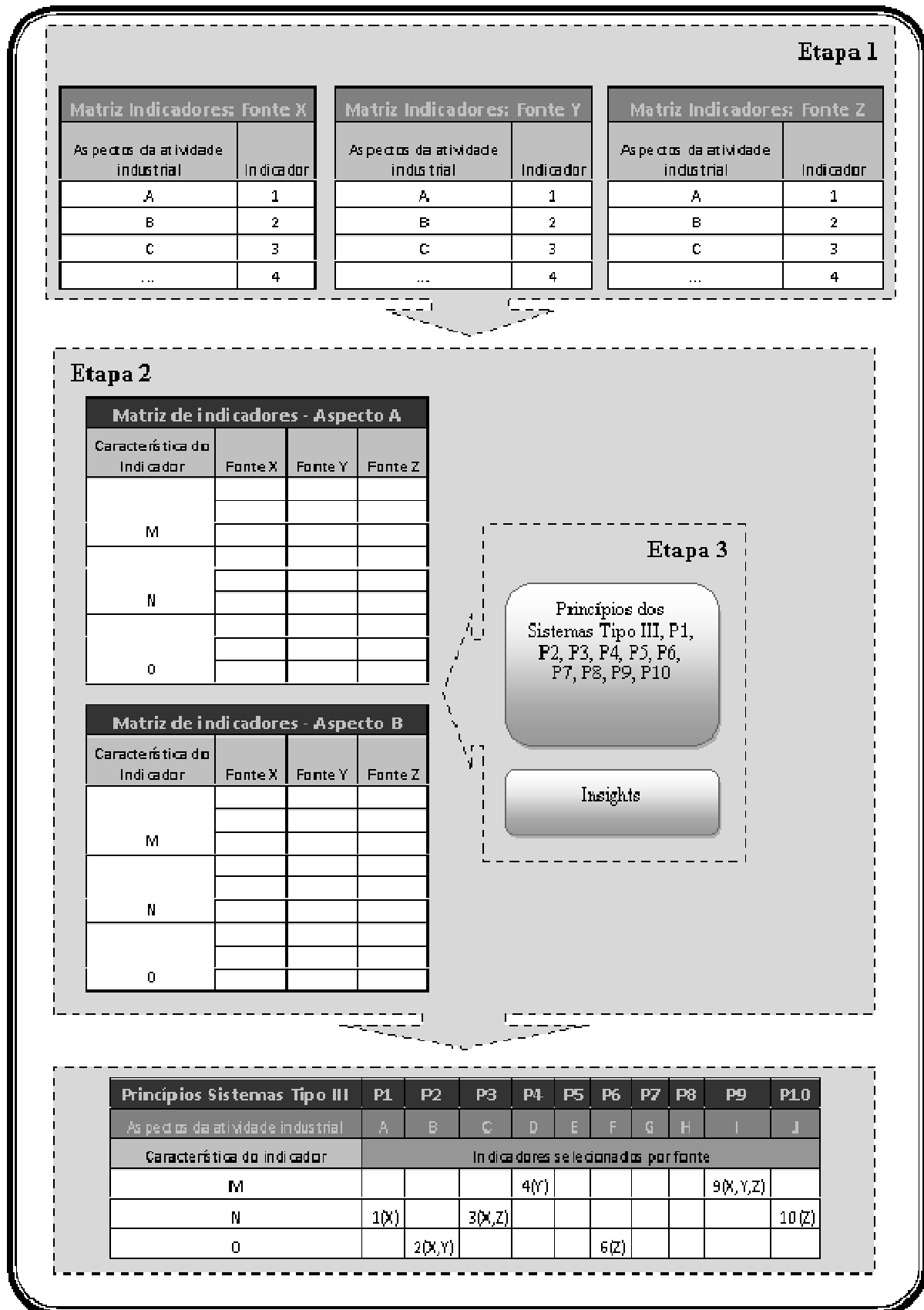


Figura 2: Etapas para a proposição de indicadores
Fonte: Elaborado pela autora

Na Etapa 1, foi realizada uma pesquisa na literatura de diferentes fontes que desenvolveram indicadores que mensuravam o desempenho ambiental dos aspectos da atividade industrial.

A Etapa 2 mostra a construção de matrizes de indicadores, uma para cada aspecto da atividade industrial. Nelas, os indicadores foram caracterizados conforme a metodologia que os define a partir da relação de causa e efeito entre os impactos da atividade industrial e os elementos da natureza.

A Etapa 3 busca selecionar os indicadores contidos na literatura e que melhor traduzem as estratégias contidas nos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros.

O resultado é uma matriz síntese, cuja estrutura relaciona cada aspecto da atividade industrial com um Princípio e com as características necessárias para cada indicador. Na ausência de indicadores que possibilitassem avaliar o desempenho ambiental industrial a partir dos Princípios da Biomimética, foram propostos novos indicadores.

Assim, foi desenvolvido um conjunto de indicadores quantitativos e qualitativos, sistemicamente interligados pela correspondência que apresentam entre os Princípios e que, de forma global, compõem a dimensão ambiental da sustentabilidade. Para cada indicador proposto, foi apontada a rota a ser seguida para a coleta de dados e a forma de cálculo. Por fim, a partir dos mesmos Princípios de Benyus (2006), foram propostos padrões de referência para cada indicador em quatro níveis com objetivo de confrontar, ao término da aplicação, o resultado obtido pelo indicador com o Princípio ao qual ele corresponde.

Para o Nível 1, foi proposta uma atuação que identifique o início de um processo de diferenciação na sua gestão, no tocante à adequação aos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros. O Nível 2 determina o início do processo de aderência aos princípios, entretanto, ainda de forma parcial. O Nível 3 mostra a gestão da empresa já estruturada na busca de resultados a partir dos princípios da Biomimética e, no Nível 4, apresenta-se o atingimento da completa aderência aos princípios. Um gráfico tipo radar foi proposto para a consolidação dos resultados. Por último, foi elaborada a redação final da dissertação, contendo as suas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Com base no método descrito acima, na sequência, será possível acompanhar o referencial teórico e o desenvolvimento da construção do conjunto de indicadores.

A seguir, serão apresentados os principais conceitos relacionados ao tema desta dissertação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico sobre o tema, que foi utilizado como base para a construção do conjunto de indicadores para a avaliação do desempenho ambiental. As características do tema proposto e a abordagem efetuada a partir da Biomimética, que determina uma visão sistêmica para a relação entre a sociedade e a natureza, definiram a estruturação deste capítulo em três grandes áreas:

- Métodos e Ferramentas de Gestão Ambiental.
- Sistemas de Indicadores de Avaliação do Desempenho Ambiental na Indústria.
- Biomimética.

Através dos Métodos e Ferramentas de Gestão Ambiental, pretende-se conhecer a visão da empresa no tocante à gestão das suas atividades com foco na questão ambiental, permitindo entender o seu funcionamento.

Por meio dos Sistemas de Indicadores de Avaliação do Desempenho Ambiental, procurou-se identificar indicadores e processos de avaliação de desempenho da atividade industrial, já construídos, de forma a incorporar o conhecimento atual a este trabalho.

Com a Biomimética, é posicionado o comportamento da natureza e são extraídos os princípios que regerão o conjunto de indicadores.

3.1 MÉTODOS E FERRAMENTAS DA GESTÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA

A utilização de métodos de gestão ambiental na indústria busca o uso mais eficiente dos recursos naturais, menor geração de resíduos, fontes alternativas de energia, mudanças dos hábitos de consumo, reutilização e reciclagem de produtos, entre outros.

Na busca da compatibilidade com o meio ambiente, as empresas têm utilizado algumas ferramentas de gestão, muitas delas surgidas a partir de abordagens conceituais e de práticas em torno da eco-eficiência. Para o desenvolvimento deste trabalho, destacam-se: a Eco-Eficiência, a Produção Mais Limpa, a Produção Limpa, as Normas ISO 14000 com seu Sistema de Gestão Ambiental (SGA), a Ecologia Industrial e a Metodologia ZERI.

3.1.1 Eco-Eficiência - EE

A eco-eficiência é um termo criado pelo *World Business Council For Sustainable Development* (WBCSD) em 1992 e foi definido como:

A produção capaz de entregar bens e serviços a preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas, promovendo qualidade de vida, com redução progressiva dos impactos ambientais e da intensidade do consumo de recursos naturais em todo o ciclo de vida, em consonância com a capacidade estimada da terra em prover estes recursos e absorver os impactos (UNEP-DTIE, 2001 *apud* PIOTTO, 2003, p. 19).

A primeira palavra do conceito, Eco, refere-se aos recursos ambientais e econômicos, e a segunda, Eficiência, está relacionada a fazer um ótimo uso de ambos os recursos. Na prática, significa a busca do aumento da produtividade dos recursos. Verifica-se um potencial de crescimento dessa prática, na medida em que o uso dos recursos naturais e o custo de poluir se tornam mais caros (DE SIMONE; POPOFF, 1997 *apud* CARDOSO, 2004).

Pode-se dizer que a eco-eficiência é saber combinar desempenho econômico e ambiental, reduzindo impactos ambientais, usando mais racionalmente matérias-primas e energia, diminuindo os riscos de acidentes e melhorando a relação da organização com as partes interessadas (*stakeholders*).

Segundo Piotto (2003), considerando-se a estreita relação entre sustentabilidade e economia, as sete dimensões da eco-eficiência, aplicáveis a toda empresa que forneça produtos e serviços, modifique processos ou qualquer outra ação que tenha correlação com o meio ambiente, são as seguintes:

- a) Reduzir a intensidade do consumo de materiais em produtos e serviços.
- b) Reduzir a intensidade do consumo de energia em produtos e serviços.
- c) Reduzir a dispersão de compostos tóxicos.
- d) Promover a reciclagem.
- e) Maximizar o uso de recursos renováveis.
- f) Estender a durabilidade dos produtos.
- g) Aumentar a intensidade do uso de produtos e serviços (por exemplo, como no programa suíço de locação e compartilhamento de carros, que permitiu o uso mais racional do transporte, aumentou o uso do transporte público e reduziu o consumo de combustíveis).

As dimensões abordadas por Piotto (2003) abrangem os principais processos de produção industrial, bem como compreende o balanço de recursos materiais e energéticos. Ainda segundo Piotto (2003), a eco-eficiência se utiliza de métodos e ferramentas de gestão ambiental. Alguns destes, abordados neste trabalho, são:

- Produção mais limpa ou prevenção à poluição.
- Análise de ciclo de vida e “Design for Environment”.
- Contabilidade ambiental.
- Indicadores de eco-eficiência e de desempenho ambiental.
- Relatórios de desempenho ambiental.
- Sistemas de gestão ambiental.

No Brasil, foi criado o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) que integra a rede de conselhos vinculada ao Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (CEMDS) e, para disseminar o conceito de eco-eficiência, edita o Relatório de Sustentabilidade Empresarial, entre outras ações.

3.1.2 Produção Mais Limpa – P+L

A Produção Mais Limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental de prevenção da poluição na empresa, focando os produtos e processos, para otimizar o emprego de matérias-primas, de modo a não gerar ou a minimizar a geração de resíduos, reduzindo os riscos ambientais para os seres vivos e trazendo benefícios econômicos para a empresa (PIOTTO, 2003).

A adoção de metodologias de Prevenção da Poluição vem sendo proposta como estratégia eficaz, a fim de evitar os desperdícios de matérias-primas e energia, convertidos em resíduos sólidos, líquidos e gasosos, responsáveis por adicionar custos aos processos produtivos e gerar problemas ambientais. Para processos produtivos, a P+L inclui uso mais eficiente das matérias-primas, insumos e energia, a redução dos materiais tóxicos e perigosos e a minimização da fonte de resíduos sólidos, efluentes e emissões (FURTADO, 2001; KIPERSTOCK *et al*, 2002 *apud* MACIEL, 2005).

A metodologia da P+L surge como um avanço com relação às tecnologias ambientais convencionais que trabalham principalmente no tratamento de resíduos e emissões gerados em um processo produtivo. São as chamadas técnicas de fim-de-tubo ou *end-of-pipe*. Esse

tipo de controle significa a instalação de equipamentos como filtros, precipitadores e *scrubbers*. A percepção de que, em primeiro lugar, o controle *end-of-pipe* envolve equipamentos e operações de alto custo, reduzindo a competitividade da empresa, e de que, em segundo lugar, a substância controlada pode “migrar” para um outro meio, ou seja, que o controle não é integralmente eficaz, levou à mudança de enfoque para o combate à poluição.

Na área da gestão, a P+L implica mudança de atitudes e comportamentos de todos os envolvidos no processo, propiciando uma nova cultura empresarial, que impactará diretamente a melhoria do desempenho ambiental.

No Brasil, a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)/*United Nations Environment Program* (UNEP) vêm desenvolvendo, desde 1995, através do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), o programa de Produção Mais Limpa. Esse programa apoiou a implantação do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) que visa estabelecer uma rede formada por instituições e profissionais, a fim de facilitar a transferência de informações e tecnologia às empresas (MACIEL, 2005).

A definição oficial da produção mais limpa dada pela UNIDO é:

Produção Mais Limpa significa a aplicação contínua de uma estratégia preventiva, econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso das matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em todos os setores produtivos (CNTL, 1998 *apud* MACIEL, 2005, p. 16).

Com base nas causas de geração de resíduos, é possível utilizar técnicas ou medidas entendidas como de P+L visando à minimização de resíduos. Estas estão agrupadas representando níveis diferenciados de eficiência de aplicação da P+L (CNTL, 2002). A Figura 4, a seguir, apresenta esses níveis e constitui um organograma de Produção Mais Limpa.

Na Figura 4, pode-se observar que a prioridade da Produção Mais Limpa está na redução da geração de resíduos através de modificações nos processos e alteração da composição ou design dos produtos (nível 1). As modificações no processo podem ajudar a reduzir muito os resíduos e emissões, através de medidas como: boas práticas operacionais; utilização cuidadosa de matérias-primas e materiais auxiliares tóxicos ou com dificuldades para reciclagem podem, muitas vezes, ser substituídos por outras menos prejudiciais à saúde e ao meio ambiente; operação adequada de equipamentos e melhor organização interna;

substituição de matérias-primas e materiais auxiliares; e modificações tecnológicas orientadas para redução de resíduos, efluentes e emissões no sistema de produção. As modificações no produto podem levar a uma situação ecológica melhorada em termos de produção, utilização e disposição do produto. Nesse contexto, o termo *ecodesign* tem ganhado importância recentemente (MACIEL, 2005).

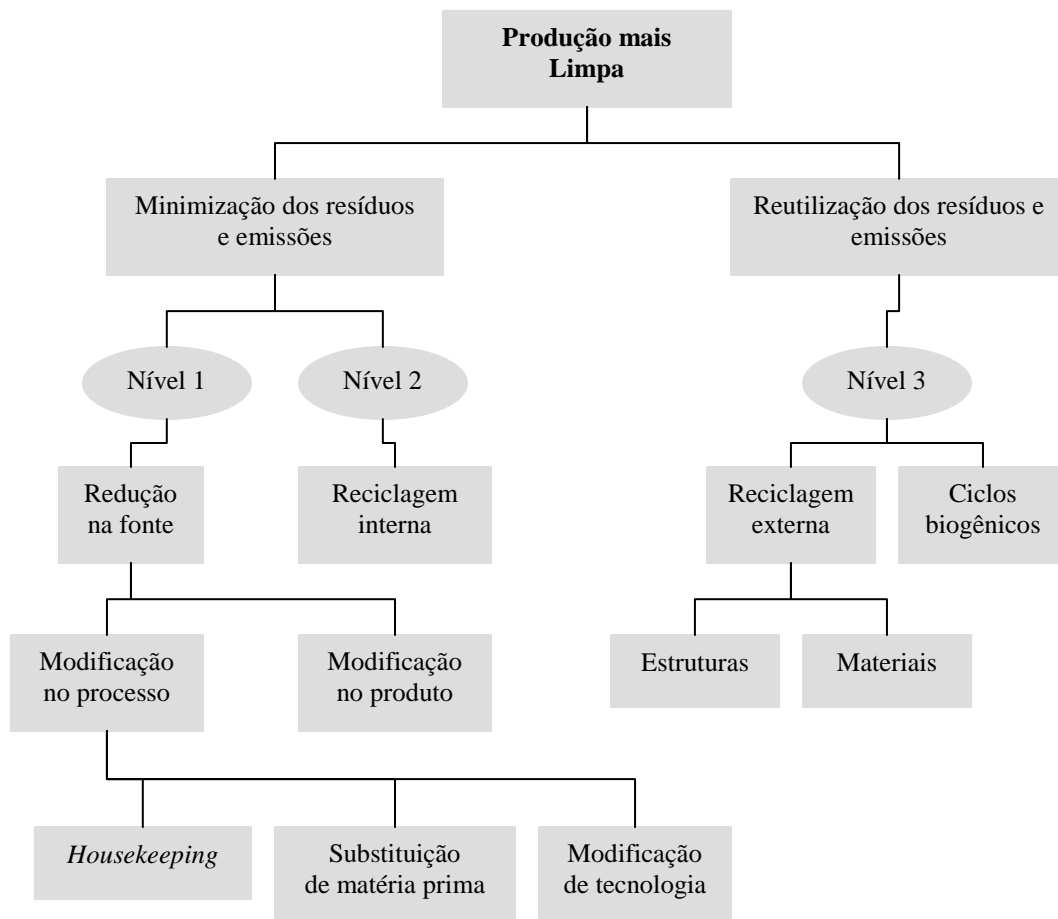


Figura 3: Fluxograma P+L

Fonte: Kiperstock (2002 *apud* MACIEL, 2005, p. 26)

Os resíduos que continuarem a ser gerados devem ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2), ou dentro do próprio processo original de produção, ou em outro processo, ou através da recuperação parcial de uma substância residual. Somente quando tecnicamente descartadas as opções dos níveis 1 e 2, deve-se optar por medidas de reciclagem fora da empresa (nível 3). Isso pode acontecer na forma de reciclagem externa ou de uma reintegração ao ciclo biogênico (por exemplo, compostagem) (CNTL, 2002).

3.1.3 Produção Limpa - PL

O conceito de PL foi proposto pela organização ambientalista não-governamental *Greenpeace*, em 1990, para representar um sistema de produção industrial que levasse em conta a auto-sustentabilidade de fontes renováveis de matérias-primas; a redução do consumo de água e energia; a prevenção de geração de resíduos tóxicos e perigosos na fonte de produção; a reutilização e o reaproveitamento de materiais por reciclagem de maneira atóxica e energia-eficiente (consumo energético eficiente e eficaz); a geração de produtos de vida útil longa, seguros e atóxicos, para o homem e o meio ambiente, cujos restos (inclusive as embalagens) tenham reaproveitamento atóxico e energia-eficiente; e a reciclagem (na planta industrial ou fora dela), de maneira atóxica e eficiente, como substitutivo para as opções de manejo ambiental representadas por incineração e despejos em aterros (MELO; NASCIMENTO, 2002).

Pode-se verificar que existem diferenças entre os conceitos de Produção Mais Limpa e Produção Limpa no que se refere à concepção de processos e produtos, conforme demonstra o Quadro 1.

Processo em Produção mais Limpa	Processo em Produção Limpa
Redução da toxicidade das emissões e resíduos	Atóxico
Conservação de materiais, água e energia	Energia-eficiente
Eliminação de materiais tóxicos e perigosos	Materiais renováveis
Produto em produção mais Limpa	Produto em Produção Limpa
Redução do impacto ambiental e para saúde humana durante a: - Extração - Manufatura - Consumo uso - Disposição e descarte final	Deve apresentar características como: - Durável e reutilizável - Fácil montar e remontar - Mínimo de embalagem - Utilização de materiais reciclados e recicláveis

Quadro 1: Comparação conceitual entre P+L e PL
Fonte: Melo e Nascimento (2002, p. 3)

Segundo Melo e Nascimento (2002), a PL propõe metas que devem ser perseguidas, mas que são difíceis de serem atingidas na prática, pois sempre haverá algum tipo de impacto ambiental, o que fará com que a produção não seja totalmente limpa. Já a P+L é a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eco-eficiência e reduzir os riscos para o homem e para meio ambiente. A P+L aplica-se a processos produtivos, a produtos e a serviços. Trata-se de

tecnologias que causam menor impacto do que outra(s) tecnologia(s) com a(s) qual(is) se está comparando, sendo que, na prática, a grande maioria das empresas implantam a P+L.

Segundo Furtado (2000 *apud* CARDOSO, 2004), quatro elementos fundamentais compõem o conceito de Produção Limpa:

- Princípio da Precaução: obriga o poluidor potencial a arcar com o ônus da prova de que uma substância ou atividade não causará dano ao ambiente.
- Princípio da Prevenção: consiste em substituir o controle de poluição pela prevenção da geração de resíduos na fonte, evitando a geração e emissões perigosas para o ambiente e o homem ao invés de “curar” os efeitos de tais emissões.
- Princípio do Controle Democrático: acesso à informação sobre questões que dizem respeito à segurança e uso de processos e produtos, por todos os interessados, inclusive as emissões e registros de poluentes, planos de redução de uso de produtos tóxicos e dados sobre componentes perigosos de produtos.
- Princípio da Integração: visão holística do sistema de produção de bens e serviços, com o uso de ferramentas como a ACV – Avaliação do Ciclo de Vida.

3.1.4 Normas da Série ISO 14000

As Normas da Série ISO 14000, elaboradas pela Organização Internacional para Normatização ou *International Organization for Standardization* (ISO), são internacionalmente aceitas e definem os requisitos para estabelecer e operar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). O Quadro 2 apresenta o conjunto de normas da Série ISO 14000 que incluem disciplinas ambientais como Sistema de Gestão Ambiental, Auditoria Ambiental, Avaliação de Desempenho Ambiental, Rotulagem Ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida e Aspectos Ambientais em Normas de Produtos.

A ISO é uma organização internacional, não-governamental, com sede em Genebra, Suíça, composta por organismos nacionais de normatização, da qual participam mais de 100 países, representando cerca de 95% da produção industrial mundial (GAZETA MERCANTIL, 1996 *apud* CARDOSO, 2004). No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) instituiu a norma “NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental - especificação e diretrizes para uso”, para ser adotada por empresas que desejam obter a

certificação ambiental seguindo o modelo da norma internacional ISO 14001 (CARDOSO, 2004).

A NBR ISO 14001 (ABNT, 2004) define aspecto ambiental como o elemento das atividades da organização, produtos ou serviços que podem interagir com o ambiente. O conceito de impacto ambiental descrito pela norma refere-se a qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, total ou parcialmente, desde os aspectos ambientais da organização (MORAES *et al*, 2010).

Um SGA, conforme a NBR ISO 14001, é parte do sistema de gestão global que inclui a estrutura organizacional, planejamento, responsabilidades, práticas, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente, manter a política ambiental e melhorar continuamente as operações e negócios. A implementação e a operação de um SGA é na realidade a aplicação de conceitos e técnicas de administração, particularizados para assuntos relacionados ao meio ambiente. Por essa razão, várias técnicas são passíveis de serem utilizadas para atingir resultados semelhantes. Logo, cabe à direção da organização definir quais são as mais importantes e adequadas de acordo com seus objetivos (HENKELS, 2002).

Normas	Tema
ISO 14001	Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso
ISO 14004	Sistema de Gestão Ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio
ISO 14015	Gestão Ambiental – Avaliação ambiental de locais e organizações
ISO 19011	Diretrizes para auditorias de sistemas de gestão de qualidade e/ou ambiental
ISO 14020	Rótulos e declarações ambientais – Princípios básicos
ISO 14021	Rótulos e declarações ambientais – Autodeclarações ambientais (Rotulagem Ambiental Tipo II)
ISO 14024	Rótulos e declarações ambientais – Rotulagem Ambiental Tipo I – princípios e procedimentos
ISO 14031	Gestão ambiental – Avaliação de desempenho ambiental - Diretrizes
ISO 14040	Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura
ISO 14041	Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Definição de objetivo, escopo e análise de inventário
ISO 14042	Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida
ISO 14043	Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Interpretação do ciclo de vida
ISO 14050	Gestão ambiental - vocabulário
ISO 14063	Comunicação ambiental – Diretrizes e exemplos
ISO 14064	Gases de Efeito Estufa

Quadro 2: Conjunto de Normas da Série ISO 14.000

Fonte: Firjan (2008, p. 8)

Há importantes similaridades entre a gestão da qualidade e a gestão ambiental. As NBR ISO 14000 baseiam-se, de certa forma, nas normas de gestão de qualidade existentes na NBR ISO 9000, assim como as normas britânicas BS 7750, para o meio ambiente baseiam-se nas BS 5750 para a qualidade (COTEC, 1999 *apud* HENKLES, 2002).

Esta observação tem levado a uma noção da gestão ambiental de qualidade, que usa os princípios da qualidade total e os aplica aos problemas ambientais. A relação existente entre os princípios da qualidade e qualidade ambiental mostra que trabalhar sob a ótica de um SGA é antes de tudo trabalhar sob a ótica da gestão da qualidade. Segundo Moura (2000), o ciclo PDCA é considerado a ferramenta mais importante e que poderá resumir toda a implantação do SGA: comprometimento e política; planejamento (P - plan); implementação (D - do); medição e avaliação (C - check); e análise crítica e melhoria (A - action) (HENKLES, 2002).

3.1.5 Ecologia Industrial

Segundo Costa (2002), a analogia fundadora da Ecologia Industrial preconiza que a reestruturação dos sistemas industriais em direção à sustentabilidade ambiental deveria ter como base os princípios organizacionais dos ecossistemas naturais. Assim como estes se caracterizam pela reciclagem dos materiais, pela interdependência das espécies e pela utilização da fonte energética solar, os sistemas industriais deveriam otimizar o uso de energia, utilizar fontes renováveis e promover o fechamento do ciclo de materiais por intermédio de múltiplas conexões das atividades de produção e consumo. Ou seja, a partir de analogias biológicas com ecossistemas naturais, são identificados e propostos arranjos para os fluxos de energia e materiais em sistemas econômicos.

Segundo Erkman (1997 *apud* COSTA, 2002), a Ecologia Industrial dá um passo adiante em relação a outras abordagens ambientais porque não apenas analisa o funcionamento e regulação dos sistemas industriais e suas interações com a biosfera, mas também propõe o modo de reestruturação compatível com os ecossistemas naturais e a perspectiva da sustentabilidade. Portanto, o modelo dos ecossistemas naturais a ser utilizado pelos ecossistemas industriais tem como característica principal o fechamento do ciclo de materiais calcado na energia solar como insumo primário.

Na identificação do que seria a Ecologia Industrial, surgiram posições díspares entre pesquisadores. Entretanto, a comparação entre o comportamento das sociedades com o que é

observado na natureza fez surgir convergências entre os autores a partir de princípios básicos. Esses seriam os principais pontos comuns:

- O caráter sistêmico dos elos componentes da Ecologia Industrial, relacionados com a biosfera.
- A preocupação com os fluxos físicos dentro e entre as empresas e outros entes sociais, contrastando com as análises financeiras e econômicas tradicionais.
- A valorização da cooperação em sistemas de forma a melhor viabilizar as soluções como um ecossistema industrial integrado.
- A consideração dos limites impostos pelo ecossistema no entorno.
- O uso dos conceitos da biomimética, procurando adequar-se aos seus princípios, tanto no uso racional dos materiais, como da água e da energia.
- O redirecionamento do planejamento, utilizando-se da figura dos arranjos produtivos locais, maximizando o uso dos recursos naturais, procurando, pela agregação de valor, eliminar a existência de resíduos. Altera fundamentalmente os conceitos tradicionais da “Produção Mais Limpa”, da “Prevenção de Poluição”, do “Projeto para o Ambiente” e da “Análise de Ciclo de Vida”, por exemplo, sem se desprender totalmente dos conceitos básicos de cada um deles.
- Os modelos surgidos com a Ecologia Industrial revolucionam os princípios tradicionais de organização da micro economia, pois a competitividade observada em um conceito fechado, individual de cada empresa, amplia-se e ganha uma nova dimensão, com novos princípios, cada vez mais exigidos pela sociedade. Ou seja, um modelo que preserva o meio ambiente e traz sustentabilidade ao ecossistema.
- A alteração das demandas tecnológicas abriu espaço para novos ramos na ciência e para inéditas linhas de pesquisa. Esse cenário reconhece a interação dos ecossistemas biológicos e procura construir analogias com os ecossistemas industriais. Certamente, chegando aos princípios de sustentabilidade da Terra, assim considerada como um conjunto de ecossistemas inter-relacionados, considerando os ecossistemas industriais integrados em uma rede de sub-ecossistemas industriais (RICHARDS *et al.*, 1994).

Apesar de a Ecologia Industrial não ter uma linha conceitual e prática bem definida, o conjunto de visões e atividades que foram incorporadas e desenvolvidas até hoje permite a

elaboração de uma série de princípios, que traduzem um programa geral de atuação. Os princípios são classificados em três categorias, apresentados no Quadro 3 (COSTA, 2002).

1.Otimização dos fluxos de energia e materiais na produção	
1. Identificação do Metabolismo Industrial 2. Prevenção de Poluição 3. Redução do Uso de substâncias tóxicas 4. Controle de Poluição e Gerência de Resíduos (reciclagem externa e disposição adequada) 5. Eficiência no Uso de Energia e Materiais 6. Uso de Energias Renováveis	Inventário do fluxo de energia e materiais Ações focadas na fonte de emissão de poluentes Similar à PP mas com ênfase em determinados poluentes Controle de poluentes após a geração
2. Fechamento dos Ciclos de Materiais	
1. Reuso, Remanufatura 2. Reciclagem de Produtos e/ou Materiais Componentes 3. Reciclagem de Embalagens 4. Subprodutos e Resíduos como Insumos para outras atividades 5. Sistemas Industriais Localmente Integrados	Extensão da vida útil de produtos Redução no uso de materiais primários Produção de embalagens que sejam recicláveis Integração do fluxo de materiais entre firmas e entre indústrias Ecoparques
3. Desmaterialização	
1. Oferta de Serviços 2. Maior Vida Útil dos Produtos 3. Redução do Uso de Energia e Materiais	Ênfase em serviços e sociedade da informação Sentido contrário ao da obsolescência planejada

Quadro 3: Princípios de Ecologia Industrial selecionados por três categorias

Fonte: Costa (2002, p. 27)

Otimização dos Fluxos de Energia e Materiais na Produção: busca na otimização interna dos fluxos melhorar a eficiência no uso dos recursos (materiais e energia) e no controle das emissões e dos resíduos.

Fechamento do Ciclo de Materiais: busca o fechamento dos ciclos de materiais procurando interna e externamente agregar valor aos co-produtos gerados e reduzir a geração de resíduos não degradáveis. Recomenda para este efeito à organização de sistemas industriais sob a forma de ecoparques.

Desmaterialização: pela redução do consumo de recursos, ampliação dos prazos de obsolescência dos produtos e foco no desenvolvimento da oferta de serviços.

3.1.6 Metodologia ZERI

A metodologia ZERI (*Zero Emissions Research Initiative*) é resultado da união de esforços entre a Organização das Nações Unidas (ONU), do Japão e da Fundação Zeri, da Suíça e tem como fundador e principal disseminador Günter Pauli.

De acordo com Pauli (2001), o conceito de Emissão Zero é um instrumento de gestão comparável ao conceito de gestão da qualidade total (*Total Quality Management, TQM*) e ao conceito do *Just in Time*, conforme o Quadro 4. Para o autor, as indústrias de processamento alcançarão seu mais alto potencial somente quando todos estes conceitos forem totalmente utilizados.

Conceito de Gestão	Alvo
Gestão da qualidade total	Defeito Zero
<i>Just in time</i>	Inventário Zero
Satisfação total do cliente	Defeito Zero
Saúde segurança na companhia	Acidente Zero
Produtividade total de materiais	Emissões Zero
Construção de consenso	Conflitos Zero

Quadro 4: Conceito de gestão zero

Fonte: Pauli (2001, p. 139)

Pauli (1996) ainda observa que a metodologia ZERI vai além da Produção mais Limpa (P+L), porque busca o aproveitamento dos resíduos adicionando o conceito de agregação de valor e geração de emprego. Pode-se dizer que a metodologia Zeri entra como uma etapa posterior à P+L, com um conceito de reuso do resíduo agregando valor. O Quadro 5 apresenta uma comparação entre a metodologia Zeri e a Produção mais Limpa.

Produção mais Limpa	Emissões Zero ou produtividade total
O primeiro passo.	O objetivo final.
Reduzir os efeitos da velha ordem.	Criar novas indústrias da nova ordem.
Minimizar resíduos.	Entrada (<i>inputs</i>) de valor agregado.
Reduzir custos.	Gerar mais renda.
Processo único.	Conglomerados industriais.
Concentra-se em resíduo, energia e água.	Fusão de agendas, incluindo postos de trabalho.
Concentra-se na questão do “aqui e agora”.	Trata da demanda geral.
Processo baseado em entrada-saída (<i>input-output</i>).	Processo baseado em saída-entrada (<i>output-input</i>).
Linear.	Complexa.

Quadro 5: Comparação entre Produção mais Limpa e Zeri

Fonte: Pauli (2001, p. 193)

A metodologia Zeri é baseada nos princípios da Ciência Generativa que trabalha com a hipótese de que, em qualquer transformação de determinado recurso, todos os subprodutos serão estudados buscando um valor agregado produtivo. Segundo Pauli (2001), os dezesseis princípios da Ciência Generativa são:

1. Busca responder às necessidades básicas da humanidade em termos de alimento, água, moradia, saúde energia e postos de trabalho.
2. Parte do pressuposto de que a humanidade respeita a natureza.
3. Aceita o princípio de que a humanidade não pode esperar que a Terra produza mais, e sim fazer mais com o que ela produz.
4. Usa como base sistemas que permitem uma cadeia de causas e efeitos complexa e positiva.
5. Tudo é produzido com um esforço reflexivo, considerando os efeitos nocivos e inofensivos de emissões, efluentes e outros subprodutos e empreende um esforço para assegurar que nada seja desperdiçado.
6. Em qualquer transformação de um recurso, todos os subprodutos serão considerados a partir de um valor agregado adicional. Realizado de modo integrado, reunindo as atividades humanas, as industriais e os processos naturais que partilham ciclos materiais.
7. Um processo se desenvolve a partir de outro e nasce um conglomerado de processos complementares através de uma rede complexa.
8. Baseia-se nos princípios dos sistemas ecológicos aos quais o conceito de rede e de comunidade são essenciais.
9. Questiona sobre o que os seres humanos realmente querem e precisam. Se materiais são produzidos em um processo e não são desejados para determinado produto final, este processo é questionado, aberto a melhorias e reprojeto até que não haja nenhum desperdício, momento em que a Emissão Zero terá sido alcançada.
10. Conceito de gerência baseado no sistema imunológico, pois considera inteligente cada elemento do sistema.
11. Promove sistema de compartilhamento de informações que permite que todos tenham acesso às informações o tempo todo, dando liberdade a todos para agirem como julgarem apropriado em determinado momento e lugar.
12. Liderança baseada na capacidade de iniciar, dirigir e manter diálogo entre os carregadores de conhecimento da comunidade, fundamentada no desejo de garantir um meio ambiente com conflito zero.

13. Busca integração entre os conhecimentos da botânica, biologia, agricultura, sicultura, ciências marinhas, química, matemática, física, informática, engenharia, economia, história, geografia, ciências sociais e políticas.

14. Não busca comprovação científica para cada passo que empreende, combina intuição com saber e as tecnologias tradicionais na forma de uma inteligência acumulada pelas culturas de toda parte do mundo ao longo dos milênios.

15. Busca maximização da riqueza de recursos naturais para todas as espécies da terra, bem como objetiva a projeção de um sistema que alcance a maior conversão possível de um recurso em alimento para outro, partindo da inteligência presente na natureza.

16. Segue um conceito de tempo circular por intermédio do qual tudo e todos terão uma nova chance no futuro.

Segundo Pauli (2001), essa é a base de uma abordagem sistêmica baseada na ciência, equipada com um conceito de gerenciamento apropriado e voltado à obtenção de mais a partir do *mesmo* (fazer mais com menos). Pauli (2001) explica que a Metodologia ZERI consiste de cinco passos distintos e realizados em sequência:

1. Modelos de aproveitamento total ao se utilizar a tabela de *input-output*: a tabela *input-output* coloca no eixo vertical todas as entradas necessárias para o processo industrial e no horizontal todas as saídas (produtos e resíduos). Para Pauli (2001), a construção dessa tabela requer bom conhecimento do processo a ser avaliado e demonstra se a empresa é capaz de documentar e quantificar os detalhes. Logo, não se trata de um processo de criação e sim de uma enumeração dos fatos, uma descrição exata das entradas, uma avaliação clara das taxas de conversão e quantificação das saídas, em estado sólido, líquido ou gasoso. A Tabela 2 apresenta uma versão simplificada de uma tabela *input-output* aplicada a uma empresa produtora de cerveja. Como pode ser observado, apenas 10% de toda a água que entra no processo é retida no produto final que é a cerveja. Os 90% restantes saem divididos em 80% de água e 10% é retida nos grãos que foram utilizados na fermentação. Igualmente para o malte, apenas 8% é retido na cerveja, pois a maioria restante sai em forma de resíduo (PAULI, 2001).

Tabela 2: Input-output

		Cerveja	H2O	Grão Consumido
H2O	Saída	10	80	10
	Entrada	100	100	100
Malte	Saída	8	1	91
	Entrada	100	100	100

Fonte: Pauli (2001, p. 211)

2. Busca criativa de valor agregado utilizando os modelos *output-input*: depois de quantificadas as saídas, segue-se para a Tabela 3, nomeada por Pauli de *output-input*, que lista no eixo vertical todas as saídas da Tabela 2, que não fazem parte do produto final; e, no eixo horizontal, todas as novas saídas e reaproveitamentos quantificados. Cabe ressaltar que, para Pauli (2001), a construção dessa tabela somente terá valor quando a empresa tiver feito todos os esforços possíveis para a redução de custos e para a melhora do aproveitamento. Isto é, fazer mais com menos matérias primas.

Tabela 3: Output- input

		Limpeza	Cultivo de Peixe	Algas	Irrigação	Cogumelos	Minhocas
H2O	Saídas	2	80	10	8	0	0
	Entradas	100	100	100	100	100	100
Grãos	Saídas					60	40
	Entradas	100	100	100	100	100	100

Fonte: Pauli (2001, p. 214)

3. Modelos de conglomerados industriais: o desenho de um conglomerado de indústrias é baseado na oportunidade de reutilização de tudo que for resíduo de um processo, na forma de *input* para outro.

4. Identificação de avanços tecnológicos: priorizar a pesquisa e garantir um processo contínuo de melhoria.

5. Planejamento de políticas industriais: o último passo na metodologia é resumir a abordagem, os achados e as propostas em um documento que possa ser submetido ao governo.

Em resumo, para a agregação de valor aos resíduos e geração de empregos, a metodologia Zeri tem como premissas a multidisciplinariedade e variedade dos processos produtivos, tendo em conta os vários problemas e soluções. Para isso, conta com o desenvolvimento tecnológico, com a criação de conglomerados industriais objetivando cooperação e complementariedade e com a utilização do pensamento sistêmico em substituição do sistema linear de produção. Pauli (2001) acredita que ciclos curtos de produção possam render maior fluxo de caixa, visto que proporcionam vantagem competitiva aos negócios.

3.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA

A avaliação de desempenho ambiental envolve uma questão básica: não se pode gerir o que não é medido. Por outro lado, requer também a seleção de indicadores que possam enfocar os principais aspectos ambientais de uma organização de forma vinculada aos critérios de sustentabilidade (PIOTTO, 2003).

Segundo a NBR ISO 14031, a avaliação do desempenho ambiental é um processo que visa facilitar as decisões gerenciais com relação ao desempenho ambiental de uma organização. Ela compreende a seleção de indicadores, a coleta e análise de dados, a avaliação da informação em comparação com critérios de desempenho ambiental, os relatórios e informes, as análises críticas periódicas e as melhorias desse processo, conforme Figura 5.

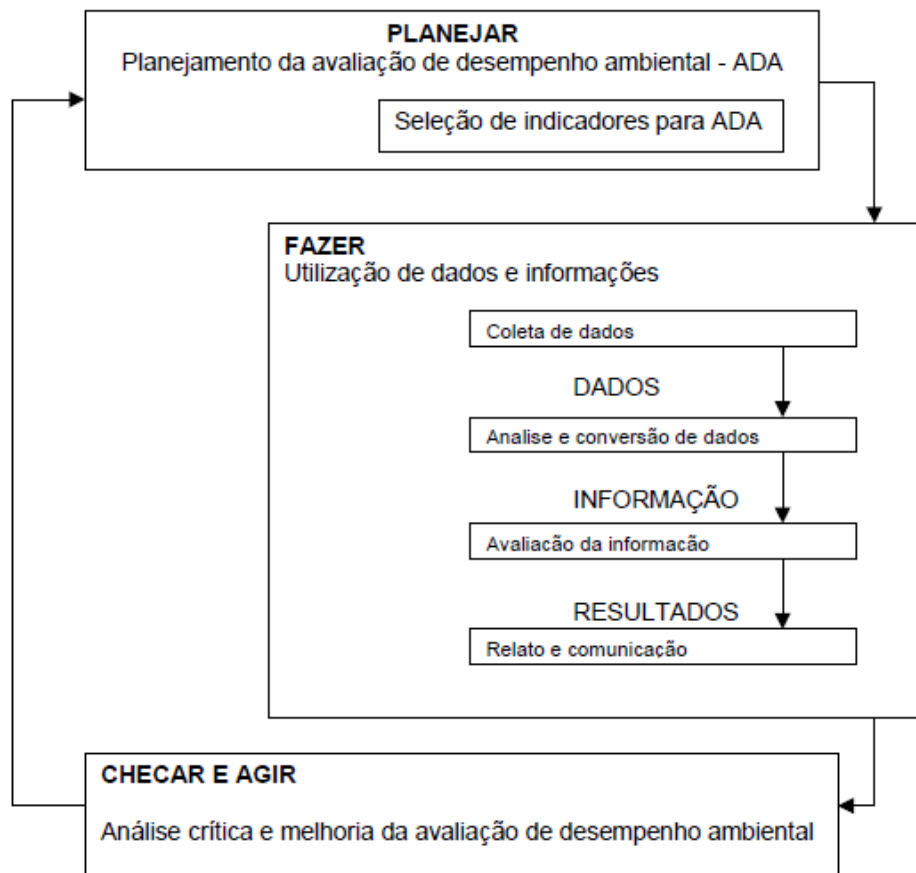


Figura 4: Avaliação do desempenho ambiental
Fonte: NBR ISO 14031 (2004 *apud* MELO, 2006, p.49)

A avaliação do desempenho ambiental é um processo de gestão interna que utiliza indicadores para fornecer informações, comparando o desempenho passado e presente, com seus critérios estabelecidos. O modelo de processo de avaliação do desempenho ambiental utilizado pela NBR ISO 14031 é o PDCA – *Plan; Do; check e Act* (NBR ISO 14031, 2004 *apud* MELO, 2006).

3.2.1 Considerações iniciais sobre avaliação e indicadores

Segundo Bobsin (2005), a avaliação é um termo para a expressão da opinião ou julgamento de valor a respeito de um atributo, e a medida é a representação matemática deste julgamento. Uma avaliação pode ser quantitativa ou qualitativa. A avaliação quantitativa faz uso de dados quantificáveis e métodos de amostragem, buscando na realidade dos fatos uma unidade possível de mensuração. Tais avaliações são acompanhadas de instrumentos

matemáticos, estatísticos e de recursos computacionais adequados para o tratamento dos dados obtidos. A avaliação qualitativa de um atributo ou fenômeno, em um estudo, traz, no envolvimento do pesquisador, o julgamento de valor e o conhecimento do indivíduo sobre o tema estudado.

O termo indicador é originário do Latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar. Os indicadores podem comunicar ou informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta, como, por exemplo, o desenvolvimento sustentável, mas também podem ser entendidos como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja imediatamente detectável (HAMMOND *et al.*, 1995).

Portanto, para Magalhães (2004), quando se aborda o tema indicador, faz-se necessária a compreensão de termos como: dado, indicador, índice, informação e conhecimento. Inúmeras definições existem para esses termos, no entanto, é conveniente reduzir seu universo de denotação.

Segundo Segnestam (2002 *apud* MAGALHÃES, 2004), dado é o mais básico componente de um indicador, sendo a representação de valores selecionados a partir de um domínio de atributos pertencentes a uma entidade. As definições de entidade, atributo e valor do atributo, são:

- Entidade: fenômeno do mundo real que possui um significado bem definido.
- Atributo: característica definida de uma entidade, ou ainda, uma propriedade descritiva que é associada a uma entidade.
- Valor do Atributo: qualidade ou quantidade específica atribuída a um atributo.

Um índice é, segundo Nahas (2003 *apud* MAGALHÃES, 2004), uma agregação matemática, um conceito vinculado a uma estrutura formal de cálculo. Um índice é, também, um indicador, e sua distinção é feita apenas para valorizar a agregação de dados, as regras de relacionamento entre esses dados, além de sua estrutura de cálculo.

A análise do indicador, sob determinado contexto e enfoque e orientado a um determinado fim, gera a informação que, segundo Segnestam (2002 *apud* MAGALHÃES, 2004), é a base do processo de tomada de decisão. A informação é, portanto, o resultado da análise de indicadores e índices, sendo politicamente relevante.

O conhecimento é a representação mental que se possui de um elemento existente, quer material quer conceitualmente. O conhecimento é formado pela informação sistematizada extraída dos indicadores. Na maioria das vezes, o conhecimento acerca de

qualquer elemento é limitado, pois ele representa apenas o espectro das dimensões percebidas (MAGALHÃES, 2004).

A abordagem da pirâmide de informações desenvolvida pela *Organization Economic Cooperation and Development* (OECD) e apresentada na Figura 6, sintetiza visualmente a relação entre dados, indicadores, índices e informação. Apresenta como indicadores podem capturar dados complexos, de várias origens e segundo diversos modos de mensuração, e transformá-los em uma estrutura fácil de comunicar, tal como um índice global. Índices globais são o topo de uma pirâmide informacional, onde na base estão os dados primários de campo de várias naturezas e no meio estão os indicadores que os capturam e comunicam acerca do complexo objeto estudado, como, por exemplo, o desempenho ambiental (HAMMOND *et al.*, 1995 *apud* BELLEN, 2002).

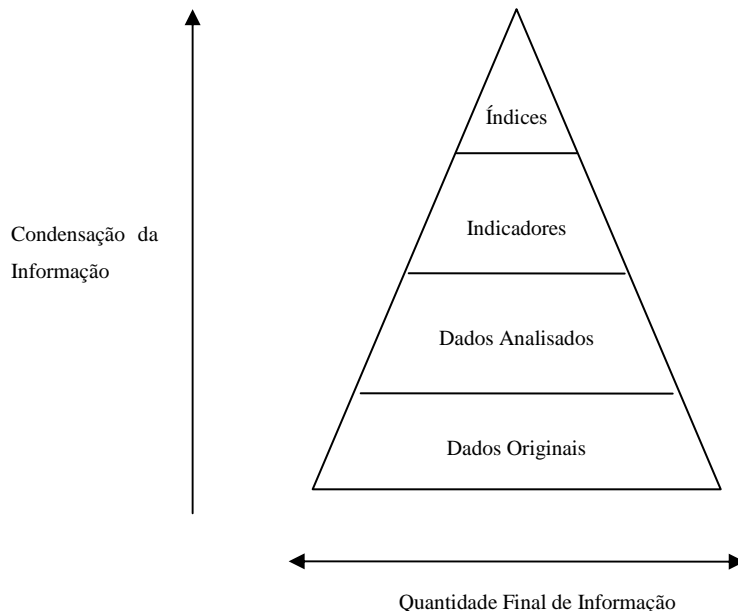


Figura 5: Pirâmide de informações
Fonte: Hammond. (1995 *apud* BELLEN, 2002, p. 31)

Medida é entendida como um atributo, qualitativo ou quantitativo, usado para verificar ou avaliar algum produto por meio de comparação com um padrão de referência. O indicador é o resultado de uma medida ou de mais medidas que tornam possível a compreensão de evolução do que se pretende avaliar a partir dos limites, referências ou metas estabelecidas (MOREIRA, 2002 *apud* MELO, 2006).

É sugerido por Tachizawa (2005 *apud* MELO, 2006) que, para cada indicador, sejam preenchidos: uma meta (valor a ser atingido e prazo para sua obtenção); uma visualização gráfica que se baseie em dados em uma série histórica; e o valor do *benchmark*, referencial

para efeito de comparação com o mercado. Segundo Cardoso (2004), os critérios considerados relevantes na escolha dos indicadores, comuns às diversas iniciativas são:

- a) Consistentes com o objetivo da proposta.
- b) Relevantes e significativos.
- c) Objetivos e fáceis de serem aplicados e entendidos.
- d) Permitirem comparação interna e entre outras empresas ou setores produtivos (*benchmarking*).
- e) Mensuráveis, transparentes e verificáveis.
- f) Capazes de fornecer informações sobre tendências atuais e futuras.
- g) Significativos para as partes interessadas, estimulando a participação destas na definição e avaliação dos indicadores.

A OECD (2002 *apud* Magalhães, 2004) sistematiza os requisitos para um bom indicador em três classes, conforme o Quadro 6.

1. Relevância para formulação de políticas	1.1. Representatividade
	1.2. Simplicidade
	1.3. Captar mudanças
	1.4. Servir de base para comparações em nível internacional
	1.5. Escopo abrangente
	1.6. Possuir valores de referência para dar significação aos valores que assume
2. Adequação à Análise	2.1. Cientificamente fundamentado
	2.2. Baseado em padrões internacionais e possuir um consenso internacional sobre sua validade
	2.3. Poder ser utilizado em modelos econômicos de previsão e em sistemas de informação
3. Mensurabilidade	3.1. Viável em termos de tempo e recursos
	3.2. Documentado adequadamente
	3.3. Atualizado em intervalos regulares

Quadro 6: Requisitos de um bom indicador
Fonte: OECD (2002 *apud* MAGALHÃES, 2004, p. 25)

Segundo Magalhães (2004), para responder às diferentes necessidades de informação e respaldar diversos tipos de análise, existem diferentes tipos de indicadores. A classificação desenvolvida pela Agência Europeia do Ambiente (AEA) procura separar as diferentes funções a serem obtidas por tipo de indicador, dividindo-as em: descritiva, eficiência, eficácia e global, conforme Quadro 7.

A função descritiva se preocupa em mostrar a situação de uma determinada variável sem qualquer medição comparativa, como exemplo, pode-se citar o consumo de matéria

prima. A função eficiência mede a produtividade obtida comparando os meios com os resultados, de forma a medir o desempenho obtido na operação, como exemplo, pode-se citar o consumo de matéria prima por produto fabricado. A de eficácia compara a evolução das variáveis com padrões de referencia objetivando avaliar se as mesmas atingem os objetivos (metas ou *benchmarking*). Por isso, sua caracterização como eficácia tem direcionamento estratégico. Exemplo: consumo de matéria prima por fonte não renovável. Indicadores de funções globais são em geral índices que agregam diversos indicadores para gerar visão estratégica. Exemplo: índice de conformidade ambiental.

Tipo de Indicador	Descrição
Descrição	Descrevem, caracterizam um determinado tópico. Refletem como está a situação, sem referência de como deveria ser. São os indicadores gerados pelo modelo DPSIR.
Eficiência	Possibilitam a avaliação da eficiência das ações, refletindo qual a relação, quantitativa e qualitativa, entre meios empregados e resultados obtidos.
Eficácia	Comparam as condições atuais com uma série de valores de referência, a exemplo de metas ou resultados esperados.
Global	São os mais abstratos e sintéticos dos indicadores. São, em geral, índices, agregações de diversos indicadores transmitindo uma visão geral sobre o tópico tratado.

Quadro 7: Tipos de indicadores

Fonte: Adaptado do AEA (1999 *apud* MAGALHÃES, 2004, p. 26)

Para Magalhães (2004), os indicadores, ou conjuntos de indicadores, fazem parte de um modelo de representação de um determinado objeto, sendo, portanto, simplificações por definição. Dessa forma, são cabidas a eles as críticas que geralmente recaem sobre os modelos. Para o autor, por se tratar de simplificações, ou modelos, e estarem sujeitos a todas as críticas cabíveis às simplificações, não se deve confiar cegamente em qualquer conjunto de indicadores. A todo tempo surgem novos modelos, mais aprimorados e baseados em novas teorias. Deve-se, portanto, confiar enquanto não houver alternativas melhores e mais aprimoradas, desenvolvidas através de pesquisas e trabalhos científicos. Nenhum conjunto de indicador é capaz de prover uma análise imparcial.

Um sistema de indicadores é uma maneira sistemática de avaliar as entradas, saídas, transformações e produtividade da empresa. O sistema é composto de critérios de desempenho, padrões e medidas que permitem o planejamento, a programação, o monitoramento e o controle dos recursos, a fim de satisfazer as necessidades dos clientes e atingir as metas da organização (LOCKMAY; COX, 1994 *apud* MAGALHÃES, 2004).

Chiavenato (1982) define como sistema, um conjunto de elementos, dinamicamente inter-relacionados, que estabelecem uma rede de comunicações e relações em função da dependência recíproca entre eles, desenvolvendo uma atividade ou função para atingir um objetivo. Isto posto, entende-se por sistema de indicadores o conjunto formado por indicadores, ferramentas de visualização e análise, bases de dados, soluções tecnológicas e usuários, cujo objetivo é o apoio à tomada de decisão.

3.2.2 Sistemas de indicadores de desempenho ambiental na indústria

Conforme o CNTL (2001), o desempenho ambiental de uma empresa é resultado da ação de três áreas da organização: a área de gerenciamento, a área operacional e a área ambiental. A interação entre as três áreas e a consolidação de suas informações em forma de indicadores podem permitir uma avaliação integral do desempenho ambiental da organização.

A área de gerenciamento inclui pessoas, práticas e procedimentos de todos os níveis, bem como decisões que tenham alguma relação com os aspectos ambientais da organização. Os indicadores da área de gerenciamento fornecerão informações sobre a capacidade e os esforços da organização em gerenciar questões como treinamento, requerimentos legais, alocação de recursos, documentação e ações corretivas que podem ou que tenham influência no desempenho ambiental da organização (CNTL, 2001).

A área operacional de uma organização inclui a infraestrutura e equipamentos, sua organização e operação e seus materiais, insumos e energia, utilizados para obter os produtos, serviços e resíduos. Está intimamente relacionada com as pessoas, práticas e procedimentos da área de gerenciamento. Os indicadores de desempenho da área operacional fornecem informações ao gerenciamento, sobre o desempenho da empresa, em relação ao consumo de bens, serviços, insumos e energia, como *inputs* da área operacional e sobre os produtos e resíduos como *outputs* da área operacional (CNTL, 2001).

A área ambiental inclui o ar, a água, o solo, a biota, outros recursos naturais e a saúde humana. O desempenho das áreas de gerenciamento e operacional da organização tem impactos sobre o meio ambiente, por isso informações sobre as condições do meio ambiente irão ajudar a organização a selecionar indicadores para a área operacional e de gerenciamento.

A Figura 7 apresenta um esquema sobre os níveis hierárquicos e suas funções em uma organização, bem como o processo de informação e os tipos de indicadores. Nela, pode ser

observado que o número de indicadores decresce do nível operacional para o nível estratégico. O mesmo acontece com os produtos das decisões operacionais, táticas e estratégicas. O nível estratégico define os objetivos e princípios que são desdobrados no nível tático, em diretrizes, estratégias e planos de ação e que, por fim, são desmembradas em diversas ações e procedimentos em nível operacional.

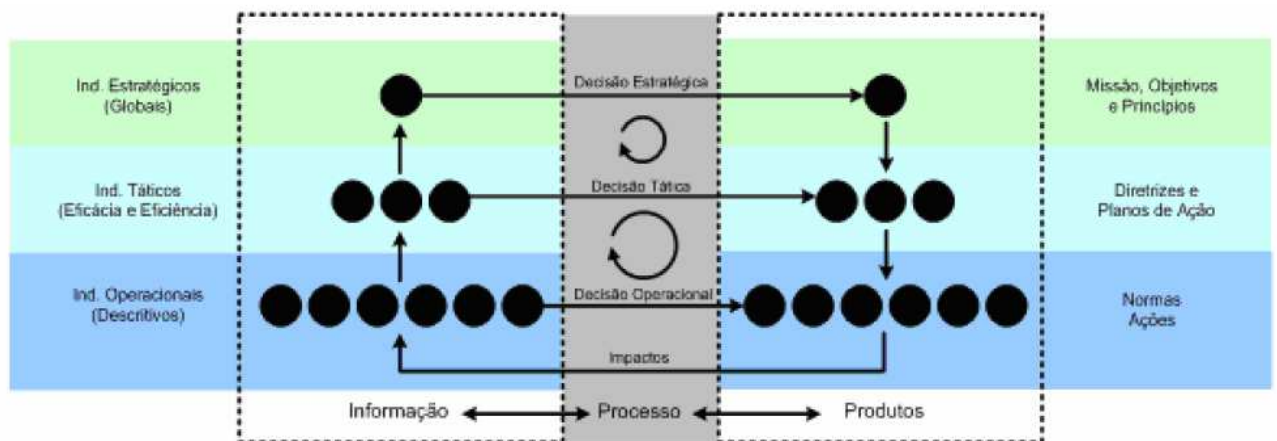


Figura 6: Compatibilização entre os tipos de indicadores e o processo estratégico
Fonte: Magalhães (2004, p. 62)

O CNTL (2001) sugere que, para a avaliação do desempenho ambiental de uma empresa certificada ou que tenha implementado um sistema de gestão ambiental, ou adotado alguma tecnologia de produção mais limpa, deve ser considerado o t_0 , ou seja, o momento em que o sistema ou medidas adotadas ainda não tenham sido implementadas, para que sejam avaliados os resultados de sua implementação. A avaliação deverá ser feita periódica, de forma que se possa avaliar o processo de melhoria contínua em curso na organização.

Segundo Bellen (2002), os sistemas de indicadores são úteis para os tomadores de decisão e podem ser utilizados para o desenvolvimento de políticas, na função de planejamento, sendo que existem outras funções que esses tipos de ferramentas cumprem:

- a) Função analítica: as medidas ajudam a interpretar os dados dentro de um sistema coerente agrupando-os em matrizes ou índices.
- b) Função de comunicação: as ferramentas tornam os tomadores de decisão familiarizados com os conceitos e os métodos envolvidos com a sustentabilidade. Os indicadores ajudam no estabelecimento de metas e também na avaliação do sucesso em alcançá-las.
- c) Função de aviso e mobilização: as medidas ajudam os administradores a colocarem os mecanismos de uma forma pública, publicações anuais ou simples relatórios com indicadores-chave.

- d) Função de coordenação: um sistema de medidas e de relatórios deve integrar dados de diferentes áreas e dados coletados por agências distintas. Ele deve ser factível tanto em termos de orçamento como em termos de recursos humanos. Deve ser aberto à população, para participação e controle. Essas funções são atendidas, no processo de escolha de indicadores e na fase de implementação, quando os tomadores de decisão utilizam as ferramentas de mensuração e os indicadores.

Em conformidade com o CNTL (2001), é possível observar que, na caracterização da situação ambiental, deve-se considerar fatores ambientais críticos ou relevantes no contexto local e regional, ou recursos naturais críticos que são insumos para a atividade desenvolvida, a fim de que os indicadores escolhidos possam propiciar maiores benefícios na avaliação do desempenho ambiental da organização. Como exemplo, pode ser citada uma fábrica que produz cerveja ou refrigerantes e que tenha a água como um recurso crítico ou relevante, de forma diferente de empresas que utilizam a água em seu processo apenas para lavagem de equipamentos e instalações, por isso, deve ter indicadores de desempenho relacionados com o consumo de água por produto.

Segundo o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), os indicadores ambientais devem seguir os seguintes princípios:

- Ser relevantes para a proteção do meio ambiente, para a saúde humana e para a qualidade de vida.
- Informar e servir de base para os tomadores de decisão quanto ao desempenho ambiental de uma organização.
- Reconhecer a diversidade de negócios.
- Promover a comparação e permitir acompanhar a evolução ao longo do tempo.
- Serem bem definidos, de fácil mensuração e verificação.
- Ser de fácil compreensão e significativos para todas as partes interessadas.
- Abranger todos os processos de uma empresa ou organização, incluindo produtos e serviços, enfocando principalmente os processos que estão sob seu controle e gestão direta.
- Reconhecer outros aspectos importantes do negócio como fornecedores e o uso dos produtos durante a sua abordagem.

Segundo o CNTL (2001), os critérios para a coleta de dados visando à obtenção de indicadores devem ser os mais claros e concisos possíveis, são eles:

- Descrição do indicador ambiental, desde que o mesmo já esteja definido.

- Classificação e desenvolvimento da base de dados necessária.
- Determinação dos recursos necessários para a coleta de dados.
- Busca de fatores de conversão, quando necessário.
- Definição da frequência da coleta de dados.
- Responsabilização pela coleta.
- Estabelecimento de indicadores absolutos e relativos.
- Elaboração do plano de monitoramento, vinculado aos dados existentes e à projeção dos novos dados necessários.

No Quadro 8, observa-se que os indicadores ambientais podem ajudar em análises em diversas áreas:

1. Avaliação do desempenho	Os indicadores ajudam a avaliar o desempenho ou concretização se uma base de comparação estiver claramente identificada.
2. Limiares	Os limites constituem uma base importante para a avaliação. Em geral, a ultrapassagem de um limiar de sustentabilidade bem definido deverá enviar uma mensagem óbvia aos políticos e à sociedade em geral.
3. Interligações causais	Os indicadores são importantes para apoiar a investigação das causas, como as interligações entre as pressões e as condições ambientais.
4. Construção de modelos e cenários	Os indicadores fornecem dados reais e ajudam os testes de campo de modelos e possíveis cenários futuros.

Quadro 8: Áreas de atuação dos indicadores

Fonte: Liverstok and Environmental Toolbox (2004 *apud* SEI, 2006, não paginado)

Os indicadores ambientais estão estreitamente associados aos métodos de produção e de consumo e refletem frequentemente intensidades de emissões ou de utilização dos recursos. Suas tendências e evoluções ocorrem dentro de um determinado período. Podem, também, evidenciar os progressos realizados visando dissociar as atividades econômicas de pressões ambientais correspondentes.

O CNTL (2001) classifica o conjunto de indicadores ambientais corporativos em três categorias de performance, de gerenciamento e de condições, conforme Figura 8.

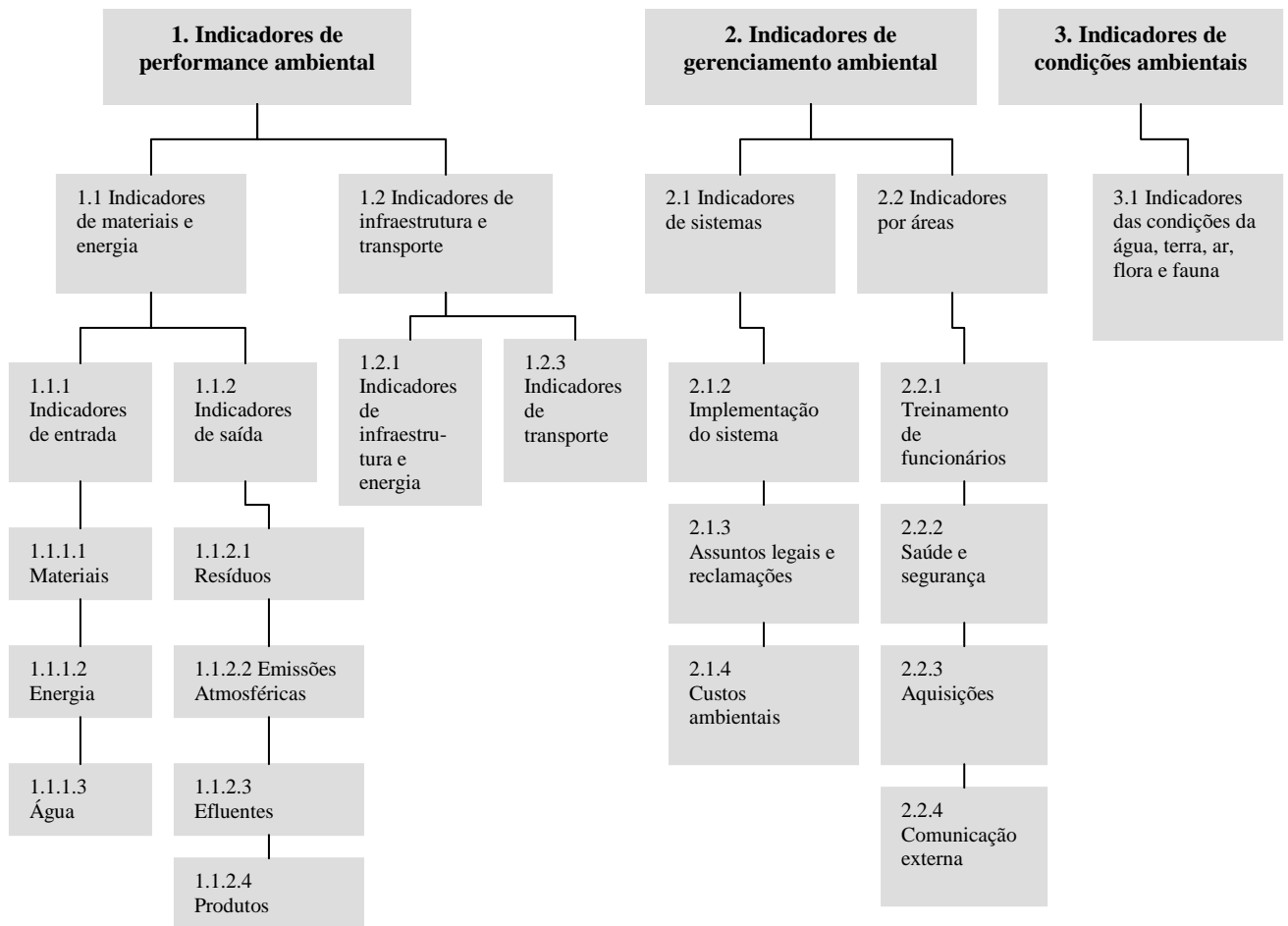


Figura 7: Conjunto de Indicadores Ambientais Corporativos
Fonte: CNTL (2001, não paginado)

Os indicadores de performance ambiental utilizam dados como entradas (matérias-primas, auxiliares, insumos) e saídas (resíduos, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e produtos finais). Cabe destacar que eles concentram-se no planejamento, no controle e no monitoramento de impactos ambientais associados ao processo de produção.

Os indicadores de gestão ambiental utilizam os dados com vistas à minimização do impacto ambiental da empresa. Baseiam-se em avaliações do cumprimento de leis e regulamentos, custos ambientais, treinamentos de pessoal, saúde e segurança ocupacional e relacionamento da empresa com o público externo.

Os indicadores de qualidade ambiental descrevem a qualidade do ambiente ao redor da empresa. Por exemplo, a qualidade do ar ou a qualidade da água a montante e a jusante da empresa. Geram indicadores para fixar prioridades ou definem linhas de ações de grande impacto.

3.2.3 Modelos de estruturação de sistemas de indicadores

A estruturação de sistema de indicadores tem mostrado que, em algumas situações, quando incompleta ou desestruturada, a definição do que se pretende avaliar gera um conjunto de indicadores ineficientes, com grande número de redundâncias, dificuldade de interpretação e assimetria de qualidade e profundidade de análise. Muitos desses problemas podem ser sanados com a utilização de modelos de sistematização de indicadores (MAGALHÃES, 2004).

Para Segnestam (2002 *apud* MAGALHÃES, 2004), os modelos servem como meio para a estruturação de sistemas de indicadores, facilitando sua interpretação e garantindo que os indicadores selecionados consigam abordar a maioria dos aspectos do problema abordado. A análise pretendida e o seu detalhamento, além da demanda contida no interesse inerente ao monitoramento pretendido determinam a constituição de diferentes modelos para a construção de indicadores.

Tendo em vista que a perspectiva sistêmica se impõe à abordagem da questão ambiental e considerando o propósito de estabelecer um conjunto de indicadores, sugere-se como preferencial, o modelo que expresse a cadeia de relações causa-efeito. Para tanto, as informações ambientais devem ser sistematizadas a partir de uma cadeia causal das interações entre a sociedade e o ambiente. O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) ou *Pressure-State-Response* (PSR) desenvolvido pela OECD (*Organisation for Economic Co-Operation and Development*) e adotado pela ONU, tem sido considerado o modelo básico dessa sistematização.

A identificação das limitações desse modelo tem levado a sua evolução e à conformação de outros resultantes de derivações dessa concepção, tais como:

- Causa-Estado-Resposta (CER) ou *Drivers-State-Response* (DSR).
- Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR) ou *Pressure-State-Impact-Response* (PSIR).
- Causa-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (CPEIR) ou *Driver-Pressure-State-Impact-Response* (DPSIR).

O modelo PER é baseado no conceito de causalidade: as atividades humanas exercem *pressões* sobre o ambiente alterando seus elementos quantitativa e qualitativamente (*estado*).

A sociedade *responde* a essas mudanças através de respostas setoriais, econômicas e ambientais. A Figura 9 ilustra a estrutura do modelo.

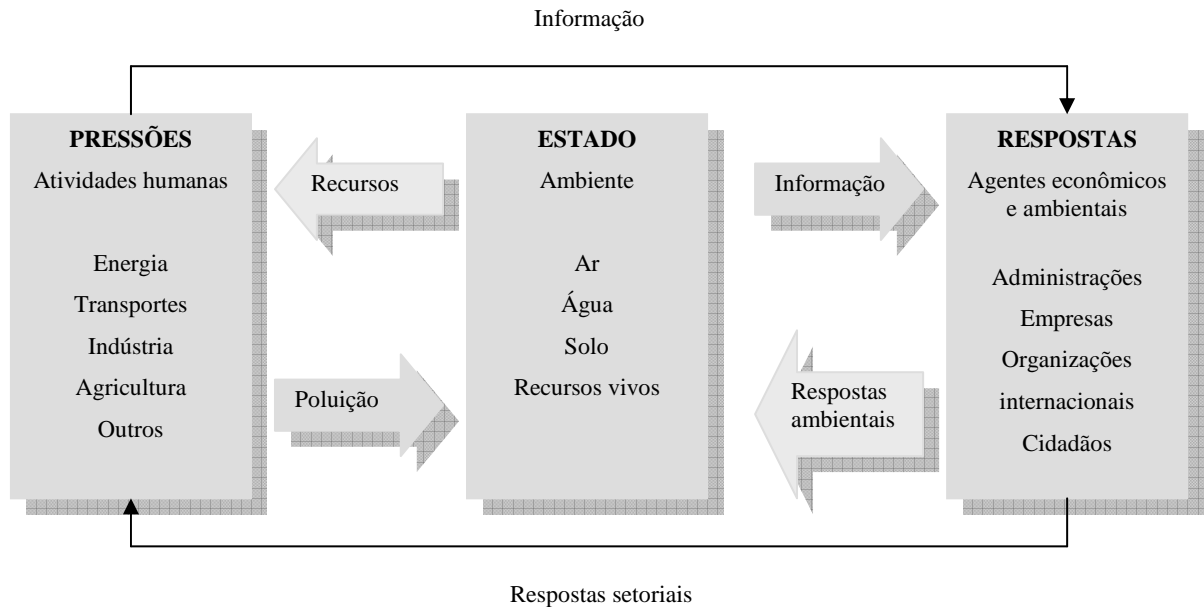


Figura 8: Modelo PER

Fonte: OECD (2001 *apud* BELLEN, 2002, p.25)

Os indicadores de pressão ambiental (P) representam ou descrevem pressões das atividades humanas exercidas sobre o meio ambiente, incluindo os recursos naturais. Os indicadores de estado ou condição (E) se referem à qualidade do ambiente e à qualidade e quantidade de recursos naturais. Dessa maneira, eles refletem o objetivo final da política ambiental. Indicadores da condição ambiental são projetados para dar uma visão geral da situação do meio ambiente e do seu desenvolvimento no tempo.

Indicadores de resposta (R) mostram a extensão e a intensidade das reações da sociedade em responder às mudanças e às preocupações ambientais. Estas se referem à atividade individual e coletiva para mitigar, adaptar ou prevenir os impactos negativos induzidos pelo homem sobre o meio ambiente, para interromper ou reverter danos ambientais já infligidos e para preservar e conservar a natureza e os recursos naturais.

Apesar de ser amplamente usado e ser dotado de grande flexibilidade, o modelo PER nem sempre é adequado para as diversas situações nas quais a montagem de sistema de indicadores é necessária. A prática internacional já desenvolveu diversos modelos adaptados da estrutura do PER consistindo basicamente de um maior detalhamento dos elementos componentes do modelo.

Isso ocorre com o CER, no qual as pressões são substituídas pelas causas, sendo adequado para situações em que a identificação das pressões é bastante difícil. O modelo PEIR é outro refinamento que, por sua vez, introduz indicadores de impacto com o objetivo de captar as alterações resultantes das pressões. Por último, o modelo CPEIR tenta captar as relações de causalidade. O propósito das categorias do CPEIR é tornar a informação interpretativa, e não meramente descritiva (CEROI, 2004 *apud* MAGALHAES, 2004).

Os modelos subsequentes aos PER são, portanto, refinamentos deste. Assim, pode-se representar o relacionamento entre as classes componentes do PER, CER, PEIR e CPEIR conforme a Figura 10.

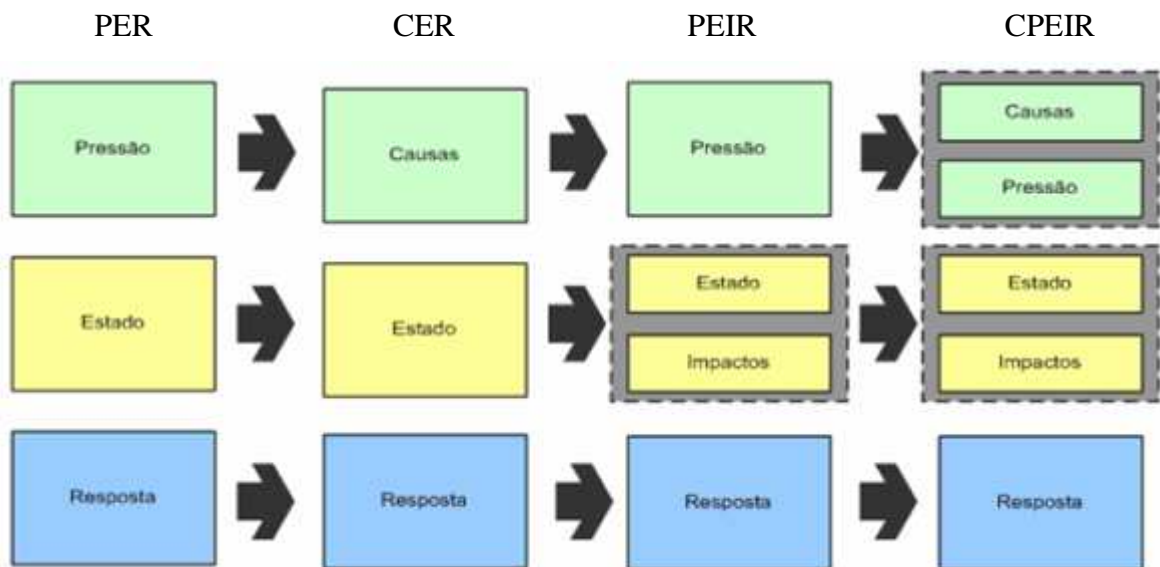


Figura 9: Relacionamento entre as classes dos modelos PER, CER, PEIR e CPEIR

Fonte: Magalhães (2004, p.37)

De acordo com Magalhães (2004), existem diversos modelos para a estruturação de indicadores. Para optar por um ou outro, indica-se alguns critérios, a saber:

- adequação à metodologia de análise do problema proposto;
- facilidade na identificação das causas, pressões, estado, impactos e resposta;
- nível de análise (Operacional, Tático ou Estratégico) e, portanto, nível de detalhamento necessário; e
- estrutura e propósito do monitoramento.

A literatura existente sobre metodologia de definição de indicadores tende a um ponto comum no que diz respeito às etapas do processo de montagem de um sistema de indicadores. Apesar de uma tendência ao consenso, são poucas as experiências que apresentam uma

sistematização metodológica. Nesta seção, busca-se sistematizar uma proposta metodológica baseada em definições existentes na bibliografia (MAGALHAES, 2004).

Uma das formas de desenvolver sistemas de indicadores é seguir a metodologia proposta pela OECD (2003 *apud* Magalhães, 2004) para os sistemas de indicadores ambientais. Nessa metodologia, são criados diversos conjuntos de indicadores seguindo uma série de características definidas, resumidas no Quadro 9.

Característica	Descrição
Propósito / Finalidade	Define o fim ao qual se destina o conjunto de indicadores, seu papel principal.
Público-Alvo	O principal usuário a que se destina, tendo, portanto, especificidades ao tipo de informação que procura.
Características e Escopo	Número, objeto (Nível de Análise), consenso existente, se deriva de outros indicadores, seu relacionamento com outros conjuntos de indicadores, temas abordados e necessidades de adaptação.
Abrangência	Nível/Escala de decisão (Nacional, Internacional, Local, etc.).
Modelo de Estruturação	Qual o modelo de estruturação utilizado (ex. PER, CER, PEIR, CPEIR, Nível de Projeto, etc).
Meios e Forma de Publicação	De que maneira será publicado. Quais as publicações que irá compor.

Quadro 9: Características para a Definição de Conjuntos de Indicadores.
Fonte: Sistematizado a partir de OECD (2003 *apud* MAGALHÃES, 2004, p.40)

Apesar de existirem diversos modelos de estruturação de sistemas de indicadores, não existe um modelo definitivo. Cada um possui vantagens e desvantagens e a adoção por um ou outro depende de sua adequação ao contexto de características do objeto de estudo e disponibilidade de dados. Por vezes, pode ser necessário adequar um modelo preexistente às especificidades de cada caso. A maioria dos modelos apresentados são refinamentos de outros já existentes (MAGALHÃES, 2004).

3.2.4 Principais proposições de indicadores ambientais

Para possibilitar a escolha de indicadores que pudessem expressar os Princípios dos Sistemas Tipo III, foi investigado na literatura exemplos de indicadores construídos com base nos métodos de gestão ambiental industrial, apresentados neste trabalho: Eco-Eficiência, P+L, e ISO e desenvolvidos pelos órgãos representativos, nacionais e internacionais como: ONU,

CNTL, GRI e ISO. São apresentados alguns¹ conjuntos de indicadores que foram escolhidos pela sua relevância neste trabalho e pela sua utilização tanto em trabalhos científicos, como pelo setor empresarial.

No que tange aos conceitos de eco-eficiência, serão apresentados indicadores sugeridos pelas organizações representativas como a Organização das Nações Unidas (ONU), o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) que aborda o método de P+L, o EMAS e o GRI para elaboração de relatórios. Os indicadores desenvolvidos para as Normas ISO são apresentados pela sua grande aceitação e uso nas indústrias em diversos países.

3.2.4.1 Indicadores ambientais sugeridos pela Organização das Nações Unidas – ONU

A ONU é um organismo internacional que reúne os países para tratar de questões estratégicas e de interesse multilateral. A ONU se divide em diversos órgãos que tratam de diferentes temas saúde, trabalho, segurança, alimentação e outros, além de comissões e programas como a Comissão para o Desenvolvimento Sustentável (CDS).

Através da CDS, a ONU desenvolveu e sugeriu indicadores para a busca da sustentabilidade, no seu sentido mais amplo, que envolve as questões econômicas sociais e ambientais. O Quadro 10 apresenta os indicadores para a questão ambiental e industrial, objetos deste trabalho.

Tema	Sub-tema	Indicador
Atmosfera	Clima	Emissões gases indutores de efeito estufa
		Emissões de CO ₂ total e por setor
	Degradação da Camada de Ozônio	Consumo de substâncias que degradam a camada de ozônio
	Qualidade do ar	Concentração de substâncias poluentes na atmosfera
Qualidade do ar nas áreas urbanas		
Uso da água	Quantidade de água	Porcentagem de uso de águas renováveis
		Proporção do consumo de água pela indústria
	Qualidade da água	DBO da qualidade da água nos corpos d'água
		Concentração de coliformes fecais em água fresca
		Porcentagem de esgotos tratados

continua

¹ Melo (2006) investigou indicadores de desempenho gerenciais e operacionais que possam monitorar os SGA das empresas certificadas. Foram pesquisados indicadores de desempenho no estado da arte existente, chegando-se a um total de 248 indicadores passíveis de serem utilizados pelas empresas.

continuação

Tema	Sub-tema	Indicador
Consumo e modelo de produção	Consumo de material	Produção material da economia
		Consumo material doméstico
	Uso da energia	Consumo total de energia per capita total e por categoria
		Proporção de fontes de energia renovável em relação ao total energia fornecida
		Consumo de energia, total e por setor
	Geração e gestão dos resíduos	Geração de resíduo
		Geração de resíduo perigoso
		Geração de resíduo radioativo
		Deposição e tratamento dos resíduos
		Porcentagem de cargas transportadas por meio rodoviário
		Intensidade de energia consumida no transporte

Quadro 10: Parte da Lista de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável da ONU
Fonte: Adaptado pela autora a partir de CSD-ONU (2007 *apud* SALDANHA, 2007)

O Quadro 10 demonstra indicadores selecionados a partir de três grandes temas, propostos pela ONU, que abrigam o universo de variáveis que interessam à construção do conjunto de indicadores propostos neste trabalho. As variáveis críticas selecionadas pela ONU e que se julgou relevantes para cada um desses temas são: o clima e a qualidade do ar, a disponibilidade e a qualidade da água, o consumo de materiais, a produção e o consumo de energia, a geração de resíduos e o transporte.

3.2.4.2 Indicadores ambientais desenvolvidos pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL

O CNTL é um órgão nacional que divulga a Produção Mais Limpa, financiado pelo PNUMA. Na avaliação do desempenho ambiental, o CNTL seleciona os indicadores de entrada (materiais, energia, água), saída (geração de resíduos, efluentes, emissões atmosféricas e produtos) e infraestrutura, conforme os Quadros 11 a 18. Vale mencionar que é notado no perfil dos indicadores um alinhamento com as questões de competitividade empresarial, pela medição quantitativa e dos custos.

Lista de indicadores para matéria prima		
Indicador		Unidade
Consumo total de matérias-primas	Absoluto	kg ou t
Eficiência do uso de matérias-primas	$\frac{\text{Total de matérias-primas em kg}}{\text{Produto final em kg}}$	% ou kg/kg
Total de embalagens	Absoluto	kg ou t
Proporção de embalagem	$\frac{\text{Total de embalagens em kg}}{\text{Produto final em kg}}$	% ou kg/kg
Proporção de embalagens reutilizáveis	$\frac{\text{Embalagens reutilizáveis em kg}}{\text{Total de embalagens em kg}}$	% ou kg/kg
Entradas de matérias-primas perigosas	Absoluto	Kg ou t
Proporção de matérias-primas renováveis	$\frac{\text{Total de matérias-primas renováveis em kg}}{\text{Total de matérias-primas em kg}}$	% ou kg/kg
Custos de matérias-primas	Absoluto em R\$	R\$
Custos de embalagens	Absoluto em R\$	R\$
Custo específico de embalagens	$\frac{\text{Custos de embalagens em R\$}}{\text{Total de produtos em kg}}$	R\$/kg

Quadro 11: Indicadores para matérias primas
Fonte: CNTL (2001, p. 17)

O Quadro 11 apresenta os indicadores para matéria-prima focando a questão do consumo e do custo de matérias-primas e de embalagens, além do uso de substâncias perigosas. Faz-se, então, uma medição quantitativa e financeira com preocupação na medição de eficiência no uso dessas variáveis.

Lista de indicadores para energia		
Indicador		Unidade
Consumo total de energia	Absoluto	kWh
Consumo específico de energia	$\frac{\text{Consumo total de energia em kWh}}{\text{Produto final em kg}}$	kWh / kg
Intensidade energética	$\frac{\text{Consumo num processo}}{\text{Consumo total de energia}}$	%
Cota de energia renovável	$\frac{\text{Entrada de energia renovável}}{\text{Consumo total de energia}}$	%
Custo total de energia	Absoluto	R\$
Custo específico de energia	$\frac{\text{Custos de energia em R\$}}{\text{Produto final em kg}}$	%
Custo específico por tipo de energia da matriz energética da Empresa	$\frac{\text{Custos por tipo de recurso em R\$}}{\text{Consumo por tipo de recurso}}$	R\$ / kWh

Quadro 12: Indicadores para energia
Fonte: CNTL (2001, p. 18)

No Quadro 12, os indicadores focam a questão do consumo de energia e das fontes que compõem a matriz energética. Mede quantitativamente e financeiramente o consumo de

energia. Tem abrangência na medição da eficiência no uso e preocupa-se estrategicamente com o tipo de fonte energética.

Lista de indicadores para água		
Indicador		Unidade
Consumo total de água	Absoluto	m ³
Consumo específico	$\frac{\text{Consumo de água em m}^3}{\text{Produto final em kg}}$	m ³ /kg
Intensidade de consumo	$\frac{\text{Consumo num processo / setor em m}^3}{\text{Consumo total de água em m}^3}$	% ou m ³ /m ³
Custos	Absoluto	R\$
Custos específicos	$\frac{\text{Custos da água em R\$}}{\text{Produção total em kg}}$	R\$/kg
Taxa de reutilização de água	Consumo de água reutilizada em m ³	% ou m ³ /m ³
Taxa de reutilização de água em relação ao efluente	$\frac{\text{Consumo de água reutilizada em m}^3}{\text{Geração total de efluentes em m}^3}$	% ou m ³ /m ³

Quadro 13: Indicadores para água

Fonte: CNTL (2001, p. 19)

O Quadro 13 apresenta os indicadores sugeridos para o uso da água, dentre os quais se destacam os de consumo absoluto, eficiência no uso, custos e os de taxa de reciclagem. Sua abordagem foca a eficiência e traz conteúdo de eficácia ao determinar a utilização de água reaproveitada.

Lista de indicadores associados à geração de resíduos		
Indicador		Unidade
Total de resíduos gerados	Absoluto	kg
Geração específica sobre o total	$\frac{\text{Tipo de resíduo em kg}}{\text{Total de produto em kg}}$	kg/kg
Resíduo para reciclagem	Absoluto	kg
Resíduo para disposição	Absoluto	kg
Percentual reciclado	$\frac{\text{Resíduo reciclado em kg}}{\text{Total gerado de resíduos}}$	%
Resíduo Classe I, II e III	$\frac{\text{Montante de resíduo por classe}}{\text{Total gerado de resíduos}}$	%
Custos dos resíduos	Absoluto	R\$
Custos específicos dos resíduos	$\frac{\text{Total de custos em R\$}}{\text{Custo total de produção em R\$}}$	%

Quadro 14: Indicadores para geração de resíduos

Fonte: CNTL (2001, p. 20)

Quanto à geração de resíduos, apresentada no Quadro 14, o CNTL sugere que se faça uma medida da quantidade total de resíduos gerados, a quantidade de resíduos gerados por produto, o percentual de resíduos reciclados pela quantidade total de resíduos, os tipos de

resíduos e os custos dos mesmos. A preocupação com os resíduos foca a questão da eficiência, objetivando minimizar a sua geração.

Lista de indicadores associados a emissões atmosféricas		
Indicador		Unidade
Quantidade total de emissões	Absoluto	m ³
Carga de emissão	CO ₂ , NO _x , VOC, particulados em kg	kg
Taxa de emissão	$\frac{\text{CO}_2, \text{NO}_x, \text{VOC, particulados em kg}}{\text{Total de emissões em kg}}$	% ou kg/kg
Carga relativa de emissões	$\frac{\text{Carga de emissão}}{\text{Produto em kg}}$	kg/kg
Custo de tratamento	Absoluto	R\$
Custo específico de tratamento por produção	$\frac{\text{Custo de tratamento em R\$}}{\text{Custo de produção}}$	%
Custo específico de tratamento por carga de emissão	$\frac{\text{Custo de tratamento em R\$}}{\text{Carga de emissão em kg}}$	R\$ / kg

Quadro 15: Indicadores para emissões atmosféricas
Fonte: CNTL (2001, p. 21)

O Quadro 15 expõe os indicadores referentes às emissões atmosféricas, podendo ser resumidos em quantidade total da emissão, quantidade de gás emitido por tipo e dividido pelo total emitido, total de emissão por produto e os custos para tratamento dos gases. O objetivo é a busca pela eficiência na redução quantitativa das emissões e do custo do tratamento das emissões.

Lista de indicadores associados a efluentes líquidos		
Indicador		Unidade
Quantidade total de efluentes	Absoluto	m ³
Geração de efluentes por produção	$\frac{\text{Quantidade de efluentes em m}^3}{\text{Produto em kg}}$	m ³ /kg
Carga residual emitida*	Parâmetro considerado – absoluto	kg
Carga residual emitida específica	$\frac{\text{Carga considerada}}{\text{Produto final em kg}}$	kg/kg
Custo de tratamento	Absoluto	R\$
Custo específico relacionado ao produto	$\frac{\text{Custo de tratamento em R\$}}{\text{Produto final em kg}}$	R\$/kg
Custo específico relacionado ao tratamento	$\frac{\text{Custo de tratamento em R\$}}{\text{Total em m}^3}$	R\$/m ³

Quadro 16: Indicadores para efluentes líquidos
Fonte: CNTL (2001, p. 22)

Os indicadores de efluentes, listados no Quadro 16, mensuram a quantidade total de efluente gerada pela empresa, a quantidade de efluente por produto e os custos de tratamento dos efluentes. A avaliação pretendida se concentra na busca da eficiência para redução quantitativa dos efluentes e do custo do seu tratamento.

Lista de indicadores associados a produtos		
Indicador		Unidade
Parcela de produtos com certificação ambiental	$\frac{\text{Quantidade dos produtos certificados}}{\text{Quantidade total dos produtos}}$	%
Parcela de produtos com matérias-primas ambientalmente corretas	$\frac{\text{Quant. de prod. com matérias-primas ambientalmente corretas}}{\text{Quantidade total dos produtos}}$	%
Parcela de produtos com materiais reciclados	$\frac{\text{Quantidade de produtos de materiais reciclados}}{\text{Quantidade total dos produtos}}$	%
Parcela de embalagens retornáveis	$\frac{\text{Quantidade de embalagens retornáveis}}{\text{Quantidade total de embalagens}}$	t/t
Parcela de embalagens no produto	$\frac{\text{Quantidade de embalagens}}{\text{Quantidade total dos produtos}}$	kg/t

Quadro 17: Indicadores para produto
Fonte: CNTL (2001, p. 23)

Os indicadores associados a produtos e exemplificados no Quadro 17 sugerem que a empresa mensure a parcela de produtos com certificação ambiental, a parcela de produtos com matérias-primas ambientalmente corretas, bem como com material reciclado e quantidade de produtos retornáveis.

Lista de indicadores associados à infraestrutura		
Indicador		Unidade
Assuntos para licenciamento da instalação		número
Relação das instalações submetidas ao licenciamento	$\frac{\text{Número de instalações submetidas a licenciamento}}{\text{Número total de sistemas / estações}}$	%
Relação dos equipamentos ambientalmente corretos	$\frac{\text{Equipamentos ecologicamente eficientes}}{\text{Número total de equipamentos}}$	%
Incidentes perigosos	Número de incidentes perigosos registrados	número
Avaliação dos equipamentos	$\frac{\text{Quantificação das horas de avaliação}}{\text{Número total de horas}}$	%
Equipamentos aprovados e seguros ambientalmente	$\frac{\text{Equipamentos examinados}}{\text{Total de equipamentos}}$	%
Proporção de área construída	$\frac{\text{Área construída em m}^2}{\text{Área total em m}^2}$	%
Proporção de área verde	$\frac{\text{Área verde em m}^2}{\text{Área total em m}^2}$	%

Quadro 18: Indicadores de infraestrutura
Fonte: CNTL (2001, p. 24)

O Quadro 18 apresenta os indicadores sugeridos para a infraestrutura da indústria, destacando as questões de licenciamento para instalação, a relação e avaliação de equipamentos ambientalmente corretos e a proporção de área verde por área construída. O foco objetiva assegurar qualidade ambiental na implantação das instalações industriais, assim como na sua operação.

O CNTL, considerando sua origem, que é o sistema-indústria em associação com PNUMA, apresentou uma proposição de indicadores com características centradas na Produção Mais Limpa, ou seja, buscando o aumento de eficiência em processos de forma a assegurar a redução na geração de resíduos ou de emissões. Paralelamente, introduziu a mensuração dos custos nos processos relacionando eficiência de produção com qualidade ambiental e competitividade empresarial.

3.2.4.3 Indicadores ambientais sugeridos pelo Sistema Europeu de Certificação - Environmental Management Audit Scheme - EMAS

Este sistema foi adotado pelo conselho da União Europeia em 1993 e encontra-se acessível para utilização pelas empresas desde 1995. Sua adesão para países membros da União Europeia é compulsória, no entanto, para as empresas é voluntária. É um sistema voltado para a gestão ambiental e utiliza o conceito de melhoria contínua – PDCA e seu registro (certificado) (PIOTTO, 2003).

O EMAS tem o objetivo primário de promover a melhoria contínua do desempenho ambiental de atividades industriais através do estabelecimento e implementação de políticas, de programas e de sistemas de gestão, para a avaliação sistemática, objetiva e periódica do desempenho e prestação de informações à comunidade sobre o desempenho ambiental da organização (ALBERTON, 2003 *apud* PIOTTO, 2003).

Segundo o sistema europeu de certificação de gestão ambiental, os indicadores de desempenho ambiental são divididos em (EMAS, 2000, *apud* PIOTTO, 2003):

- Indicadores de desempenho operacional industrial (Quadro 19).
- Indicadores de desempenho de serviços (Quadro 20).
- Indicadores de desempenho do sistema de gestão (Quadro 21).

Indicadores de desempenho operacional – Indústrias		
Atividades	Aspecto Ambiental	Indicador
Transportes	Consumo de energia	Litros combustível/tonelada entregue
	Poluição do ar	% frota equipada com catalisador
Utilização de energia	Consumo de energia	% energia – fontes renováveis
Utilização de recursos naturais	Consumo de energia	KWh/h de máquina
	Consumo de água	Litros/unidade produzida
	Consumo de matérias-primas	Kg/por unidade produzida
Processo produtivo	Emissões atmosféricas	Kg CO ₂ /unidade produzida
	Emissões hídricas	Kg DQO/unidade produzida
	Geração de resíduos	Kg resíduos/unidade produzida
Distribuição e embalagem	Geração de resíduos	% embalagens reutilizadas
Armazenamento	Riscos de vazamento	% de produtos armazenados em áreas com contenção

Quadro 19: Indicadores de desempenho operacional da indústria

Fonte: EMAS (2000 *apud* PIOTTO, 2003, p. 80)

O Quadro 19 foca o desempenho do setor industrial abordando o desempenho de suas principais atividades operacionais procurando avaliar impactos em termos de energia, qualidade do ar e da água, além de geração de resíduos e emissões. Os indicadores procuram medir eficiência e introduz questões de natureza estratégica na escolha de melhores práticas operacionais.

Indicadores de desempenho operacional – Serviços		
Atividades	Aspecto Ambiental	Indicador
Aquecimento	Consumo de energia	Litros combustíveis/ano/área
Translados	Consumo de combustível	Km viagem/funcionário/ano
		% de trabalhadores que utilizam transporte público
Impressões e fotocópias	Consumo de papel	Kg de papel/funcionário/ano
	Consumo de água	% de papel reciclado (usado)
Restaurante	Geração de resíduos	Kg/resíduos por refeição
Manutenção	Consumo de produtos	% de produtos biodegradáveis
	Emissões hídricas	Litros de produto de limpeza/ano/m ²

Quadro 20: Indicadores de desempenho operacional - serviços

Fonte: EMAS (2000 *apud* PIOTTO, 2003, p. 80)

O Quadro 20 aborda a atividade de serviços que, além das questões de energia, água e geração de resíduos e de emissões, introduz a mensuração do uso de papel como determinante para o desempenho ambiental. São indicadores focados na eficiência buscando a redução do consumo e geração.

Indicadores de desempenho de gestão ambiental		
Atividades	Aspecto Ambiental	Indicador
Gestão ambiental	Objetivos e metas	% de metas atingidas
Contabilidade ambiental	Investimentos	% de investimentos em meio ambiente
Recursos humanos	Treinamento	Horas de treinamento/ trabalhador/ano
Segurança	Incidentes ambientais	Número de incidentes por ano
Relação com a comunidade	Reclamações	Número de reclamações de ruído/ano
		Número de reclamações de odor/ano
	Visitas	Número de visitante/ano
		Número de reuniões/ano
Aquisições	Crítérios ambientais	% de compras feitas com critérios ambientais
Fornecedores	Gestão ambiental	% de fornecedores com critérios ambientais

Quadro 21: Indicadores de desempenho de gestão ambiental

Fonte: EMAS (2000 *apud* PIOTTO, 2003, p. 81)

As questões do desempenho gerencial da organização, apresentada no Quadro 21, abordam a avaliação das metas de desempenho ambiental atingidas, assim como a interação com a comunidade e o relacionamento estruturado a partir de critérios ambientais com fornecedores. Basicamente, avaliam eficiência e focam questões estratégicas com seus *stakeholders*.

A abordagem dos indicadores ambientais apresentados pelo EMAS é pautada por três divisões: a operacional, os serviços e a gestão. Chama à atenção a abordagem envolvendo a avaliação da operação de sistemas de gestão ambiental, o relacionamento com fornecedores, a partir de critérios ambientais que definem práticas e produtos em termos de origem e fabricação, além da preocupação com a abertura da empresa para visitas de públicos externos, demonstrando interesse na transparência.

3.2.4.4 Indicadores ambientais sugeridos pelo Global Reporting Initiative - GRI

A Iniciativa Global para Relatórios, mais conhecida por seu nome original em inglês, a *Global Reporting Initiative (GRI)*, foi desenvolvida por uma organização não governamental que busca estabelecer um padrão internacional de relatório econômico, social e ambiental. O modelo proposto pela organização determina princípios e estrutura um modelo para relatar,

permitindo às organizações a apresentação geral de seu desempenho econômico, social e ambiental. Propicia a comparação com o mercado, já que estabelece padrões (indicadores) e ainda serve como uma plataforma para facilitar o diálogo e o engajamento de *stakeholders*. Seu objetivo é elevar a qualidade dos relatórios a um nível passível de comparação, consistência e utilidade (GLOBAL REPORTING INICIATIVE, 2009).

A estrutura e o conteúdo das diretrizes dos conjuntos de indicadores são constantemente revisados e atualizados por meio de um processo participativo envolvendo diferentes setores da sociedade mundial (GLOBAL REPORTING INICIATIVE, 2009).

O Quadro 22 apresenta os principais indicadores do GRI para a questão ambiental:

Aspecto: Materiais	
EN1	Consumo total de materiais por peso, volume e tipo (exceto água)
EN2	Porcentagem de materiais utilizados provenientes de reciclagem
Aspecto: Energia	
EN3	Consumo de energia direta discriminado por fonte de energia primária
EN4	Consumo de energia indireta discriminada por fonte de energia primária
EN5	Energia economizada devida a melhorias em conservação e eficiência
EN6	Iniciativas para uso de fontes renováveis e para aumentar a eficiência de energia empregada
EN7	Iniciativas para reduzir o consumo de energia indireta e as reduções obtidas.
Aspecto: Água	
EN8	Total de água retirada por fonte
EN9	Fontes hídricas significativamente afetadas por retirada de água
EN10	Reciclagem e reutilização total de água
Aspecto: Biodiversidade	
EN11	Localização e tamanho da área possuída, arrendada ou administrada dentro de áreas protegidas, ou adjacentes a elas, e áreas de alto índice de biodiversidade fora das áreas protegidas
EN12	Descrição dos principais impactos sobre a biodiversidade associados a atividades e ou produtos e serviços em áreas protegidas e em áreas de alto índice de biodiversidade fora das áreas protegidas
EN13	Habitats protegidos ou restaurados

continua

continuação

Aspecto: Emissões, efluentes e resíduos	
EN16	Total de emissões diretas de gases causadores do efeito estufa, por peso
EN17	Total de emissões indiretas de gases causadores do efeito estufa, por peso
EN18	Iniciativas para reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa e as reduções obtidas
EN19	Emissões de substâncias destruidoras de ozônio, por tipo e por peso
EN20	NOx, SOx e outras emissões atmosféricas significativas por tipo e peso
EN21	Descarte total de água por qualidade e destinação
EN22	Quantidade total de resíduos por tipo e método de disposição
EN23	Número e volume total de derramamentos significativos
EN24	Peso dos resíduos transportados, importados, exportados ou tratados considerados perigosos e percentual de carregamentos de resíduos transportados internacionalmente
EN25	Identificação, tamanho, status de proteção e índice de biodiversidade de corpos de água e habitats relacionados significativamente e afetados por descarte de água e drenagem realizados pela organização relatora
Aspecto: Produtos e serviços	
EN26	Impactos ambientais significativos dos principais produtos e serviços
EN27	Porcentagem recuperável dos produtos ao fim do seu ciclo de vida e porcentagem efetivamente recuperada
Aspecto: Conformidade ambiental	
EN28	Incidentes ou multas por não-cumprimento das declarações, convenções, tratados internacionais, legislação nacional, subnacional, regional e local sobre assuntos ambientais
Aspecto: Transporte	
EN29	Impactos ambientais significativos de transporte
Aspecto: Geral	
EN30	Total de gastos ambientais e especificação por tipo

Quadro 22: Principais indicadores ambientais do GRI

Fonte: FIRJAN (2008, p. 19)

Para a categoria de desempenho ambiental, são propostos indicadores centrais e adicionais, como, por exemplo, para o aspecto material, produtos e serviços e atendimento a legislação todos os indicadores propostos são classificados como centrais por serem, conforme definição da GRI, relevantes para a maioria das organizações e de interesse da maioria das partes interessadas. Para os aspectos relacionados com os fornecedores, transporte e de âmbito geral, os indicadores propostos são classificados como adicionais. Para os demais aspectos, energia, água, biodiversidade e emissões, efluentes e resíduos sólidos, são propostos indicadores para as duas classes (GLOBAL REPORTING INICIATIVE, 2009).

Conforme observado no Quadro 22, os indicadores ambientais fornecem informações em relação ao desempenho em termos absolutos e relativos, e medem importantes aspectos da sustentabilidade. Os primeiros (absolutos) demonstram informações desde escalas ou magnitude do uso dos recursos e do impacto sobre o meio ambiente, permitindo considerar o

desempenho no contexto de grandes sistemas. Os indicadores relativos demonstram a eficiência da organização e permitem comparação entre diferentes empresas (GLOBAL REPORTING INICIATIVE, 2009).

3.2.4.5 Indicadores ambientais construídos a partir das normas ISO 14031

De acordo com a Organização Internacional para Normatização, a *International Organisation of Standardization (ISO)*, a avaliação de desempenho ambiental é um processo que facilita a gestão das decisões relativas ao desempenho ambiental das organizações, por meio da:

- Seleção de indicadores.
- Análise de dados e comparação com os critérios de desempenho.
- Divulgação.
- Revisão periódica e melhoria contínua.

A norma ISO 14031 é um guia para o desempenho ambiental, enquanto que apresenta exemplos de indicadores. Segundo essa norma, as organizações devem selecionar indicadores que sejam relevantes para permitir a avaliação e o acompanhamento de seu desempenho ambiental (CAMPOS, 2007).

A ISO 14031 identifica cinco tipos de medidas quantitativas:

- Diretas.
- Relativas.
- Normalizadas (indexadas).
- Agregadas.
- Ponderadas (por peso).

A NBR ISO 14031 descreve duas categorias gerais de indicadores a serem considerados na condução da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA): Indicador de Condição Ambiental (ICA) e o Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) (CAMPOS, 2007).

- Indicadores de Condição Ambiental (ICA): fornecem informações sobre as condições locais, regionais, nacionais ou globais da qualidade do meio ambiente, sob a forma

de resultados de medições efetuadas de acordo com os padrões e regras ambientais estabelecidos pelas normas e dispositivos legais.

- Indicadores de Desempenho Ambiental (IDA): fornecem informações sobre o desempenho ambiental de uma organização, são classificados em dois tipos:

- *Indicadores de Desempenho Gerencial (IDG)*: fornecem informações sobre os esforços gerenciais para influenciar positivamente o desempenho ambiental de uma organização.
- *Indicadores de Desempenho Operacional (IDO)*: fornecem informações sobre o desempenho ambiental das operações do processo produtivo de uma organização com reflexos no seu desempenho ambiental.

Para este trabalho, somente os indicadores de desempenho operacional são relevantes, pois são eles que avaliam o desempenho ambiental dos processos produtivos industriais sobre o meio ambiente. Segundo Campos (2007), a NBR ISO 14031 (2004) sugere uma quantidade relevante de indicadores (trinta e sete), nos seguintes aspectos: materiais; energia; serviço de apoio às operações da organização; resíduos; emissões serviços de apoio, instalações físicas e equipamentos, fornecimento e distribuição, comunicação e produtos, conforme Quadro 23.

Aspecto	Nome do indicador
Materiais	Quantidade de materiais usados por unidade de produto
	Quantidade de materiais processados, reciclados ou reutilizados que são usados
	Quantidade de materiais de embalagem descartados ou reutilizados por unidade
	Quantidade de outros materiais auxiliares reciclados ou reutilizados
	Quantidade de matéria-prima reutilizada no processo de produção
	Quantidade de água por unidade de produto
	Quantidade de água reutilizada
Energia	Quantidade de materiais perigosos usados no processo de produção
	Quantidade de energia usada por ano ou por unidade do produto
	Quantidade de energia usada por serviço ao cliente
	Quantidade de cada tipo de energia usada
	Quantidade de energia gerada com subprodutos ou correntes de processo
	Quantidade de unidades de energia economizadas devido a programas de conservação de energia

continua

continuação

Resíduos	Quantidade de resíduos por ano ou por unidade de produto
	Quantidade de resíduos perigosos, recicláveis ou reutilizáveis produzidos por ano
	Quantidade de resíduos para disposição
	Quantidade de resíduos armazenados no local
	Quantidade de resíduos contratados por licenças
	Quantidade de resíduos convertidos em material reutilizáveis por ano
	Quantidade de resíduos perigosos eliminados devido à substituição de material
Emissões	Quantidade de emissões específicas por ano
	Quantidade de emissões específicas por unidade de produto
	Quantidade de energia desperdiçada, liberada para a atmosfera
	Quantidade de emissões atmosféricas com potencial depleção da camada ozônio
	Quantidade de emissões atmosféricas com potencial de mudança climática global
	Quantidade de material específico descarregado por ano
	Quantidade de material específico descarregado na água por unidade de produto
	Quantidade de material destinado para aterro sanitário por unidade de produto
	Quantidade de energia desperdiçada liberada para a água
	Quantidade de efluentes por serviço ou cliente
	Ruído medido em determinado local
	Quantidade de radiação liberada
Quantidade de calor, vibração ou luz emitida	
Serviços de apoio	Quantidade de materiais perigosos usados por prestadores de serviços contratados
	Quantidade de produtos de limpeza usados por prestadores de serviços contratados
	Quantidade de materiais recicláveis e reutilizáveis usados pelos prestadores de serviços contratados
	Quantidade ou tipo de resíduos gerados pelos prestadores de serviços contratados
Instalações físicas e equipamentos	Nº. de partes de equipamentos com peças projetadas para fácil desmontagem, reciclagem e reutilização
	Nº. de horas por ano que uma peça específica do equipamento está em operação
	Nº. de situações de emergência (por exemplo: explosões) ou operações não rotineiras (por exemplo: paradas operacionais) por ano
	Área total de solo usada para fins de produção

continua

continuação

	Área de solo usada para produzir uma unidade de energia
	Consumo médio de combustível da frota de veículos
	Nº. de veículos da frota com tecnologia para redução de poluição
	Nº. de horas de manutenção preventiva dos equipamentos/ano
Fornecimento e distribuição	Consumo médio de combustível da frota de veículos
	Nº. de carregamentos expedidos por meio de transporte por dia
	Nº. de veículos da frota com tecnologia para redução da poluição
	Nº. de viagens a negócios por modo de transporte
	Nº. de viagem de negócio economizada em decorrência de outros meios de transporte
Comunicação	Nº. de consultas ou comentários sobre questões relacionadas ao meio ambiente
	Nº. de reportagens da imprensa sobre o desempenho ambiental da organização
	Nº. de locais com relatórios ambientais
Produto	Nº. de produtos introduzidos no mercado com propriedades perigosas reduzidas
	Nº. de produtos que podem ser reutilizados ou reciclados
	Porcentagem do conteúdo de um produto que pode ser reutilizado ou reciclado
	Índice de produtos defeituosos
	Nº. de unidades de subprodutos gerados por unidade de produto
	Nº. de unidades de energia consumidas durante uso do produto
	Duração do uso do produto
	Nº. de produtos com instrução referente ao uso e à disposição ambientalmente segura

Quadro 23: Indicadores de controle operacional**Fonte:** Adaptado pela autora a partir de NBR ISO 14031(2004) e de Campos (2007)

Esses indicadores têm caráter descritivo e de eficiência e foram organizados a partir de uma sistematização da atividade industrial compreendendo a produção, o uso de insumos, as instalações, a logística e a geração de emissões e de resíduos, sempre de forma quantitativa, sendo em sua maioria indicadores de pressão. Um aspecto que deve ser destacado é o aparecimento de indicadores de comunicação sobre o desempenho ambiental.

3.2.4.6 Síntese e seleção das proposições de indicadores

Para facilitar a escolha de indicadores que representassem os Princípios dos Sistemas Naturais Maduros, foi elaborada uma síntese dos indicadores apresentados, anteriormente, neste trabalho. Observou-se que a abordagem dos indicadores apresentados, para o desempenho ambiental industrial, é semelhante e está basicamente dividida considerando os seguintes aspectos: materiais, energia, água e efluentes líquidos, emissões atmosféricas, resíduos sólidos e produtos, conforme Figura 11.

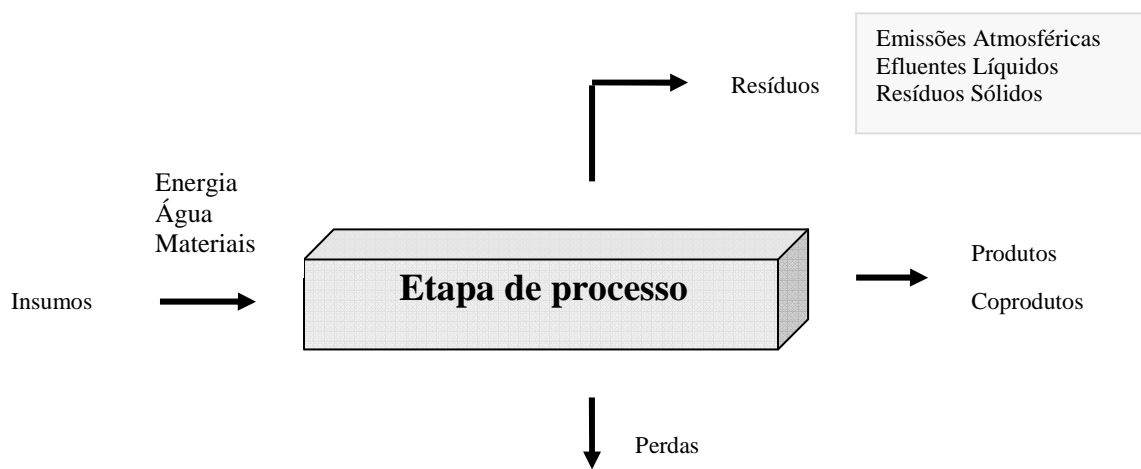


Figura 10: Representação das entradas e saídas para um sistema industrial
Fonte: Adaptado pela autora a partir de Costa (2002)

Portanto, para efeito de organização, foi construído um quadro para cada aspecto, aproveitando para caracterizar os indicadores, conforme sugerido pela OECD, no que tange ao modelo de estruturação, em: pressão, estado e resposta, pois esse modelo será adotado como base para a escolha de indicadores que possam interpretar os Princípios da Biomimética. Dessa forma, as fontes que estruturam indicadores ambientais puderam ser compradas e analisadas.

Não foram identificados indicadores na categoria estado, porque se observou que os indicadores de desempenho ambiental nas indústrias medem pressões e resposta. Logo, o estado é afetado indiretamente a partir das ações da indústria.

O Quadro 24 apresenta uma síntese dos indicadores de desempenho ambiental para o aspecto materiais.

Indicadores de Desempenho Ambiental – Aspecto: Materiais					
Característica do indicador	ONU	CNTL	EMAS	GRI	ISO
Pressão	Consumo de material	Consumo total de matérias-primas		Consumo total de materiais por tipo de material	Quantidade de materiais perigosos usados no processo de produção
			Kg de material/por unidade produzida		Quantidade de materiais usados por unidade de produto
Resposta		Materiais renováveis/total de materiais		Porcentagem de materiais utilizados provenientes de reciclagem	Quantidade de materiais processados, reciclados ou reutilizados que são usados

Quadro 24: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para materiais

Fonte: Elaborado pela autora

No que tange ao aspecto materiais é demonstrada preocupação com a eficiência no consumo de materiais medindo-a por produto produzido e no aumento de consumo de materiais recicláveis e renováveis, a partir do objetivo de preservação dos estoques na natureza de materiais não renováveis. Foca também a utilização de materiais perigosos no processo de produção.

Indicadores de Desempenho Ambiental – Aspecto: Energia					
Característica do indicador	ONU	CNTL	GRI	EMAS	ISO
Pressão	Consumo de energia total	Consumo total de energia	Consumo de energia direta e indireta discriminado por fonte de energia primária		
	Consumo total de energia per capita total e por categoria				Quantidade de energia usada por unidade do produto
Resposta	Proporção de fontes de energia renovável em relação ao total energia fornecida.	Cota de energia renovável	Energia economizada devido a melhorias em conservação e eficiência	Percentual de energia de fontes renováveis	Quantidade de cada tipo de energia usada
			Iniciativas para uso de fontes renováveis e para aumentar a eficiência de energia empregada		Quantidade de unidades de energia economizadas devido a programas de conservação de energia
			Iniciativas para reduzir o consumo de energia indireta e as reduções obtidas.		

Quadro 25: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para energia

Fonte: Elaborado pela autora

Para o aspecto energia, Quadro 25, nota-se que os indicadores estão voltados para a eficiência no uso ou consumo com programas de eficiência energética. A identificação de fontes renováveis de energia mostra o interesse na substituição dos combustíveis fósseis por energia renovável.

Indicadores de Desempenho Ambiental – Aspecto: Água e efluentes líquidos					
Característica do indicador	ONU	CNTL	GRI	EMAS	ISO
Pressão	Proporção do consumo de água pela indústria	Consumo total de água	Total de água retirada por fonte		
	Porcentagem de esgotos tratados	Consumo específico		Litros de água/unidade produzida	Quantidade de água por unidade de produto
		Intensidade de consumo			
Resposta	Porcentagem de uso de águas renováveis	Taxa de reciclagem de água em relação ao efluente	Reciclagem e reutilização total de água		Quantidade de água reutilizada
		Taxa de reciclagem de água			

Quadro 26: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para água

Fonte: Elaborado pela autora

Para o desempenho industrial ambiental referente ao uso da água, apresenta-se o Quadro 26 onde se encontram indicadores para os corpos de água de caráter qualitativo e quantitativo. Há preocupação com a eficiência no consumo e com as fontes de captação. O tratamento e a reutilização são o foco principal.

Indicadores de Desempenho Ambiental – Aspecto: Resíduos sólidos					
Característica do indicador	ONU	CNTL	GRI	EMAS	ISO
Pressão	Geração de resíduo	Total de resíduos gerados			Quantidade de resíduos perigosos, recicláveis ou reutilizáveis produzidos por ano
	Geração de resíduo perigoso	Resíduo Classe I, II e III			
		Geração específica sobre o total		Kg de resíduos/unidade produzida	Quantidade de resíduos por ano ou por unidade de produto
Resposta	Deposição e tratamento dos resíduos	Resíduo para reciclagem	Quantidade total de resíduos por tipo e método de disposição		Quantidade de resíduo destinado para aterro sanitário por unidade de produto
		Resíduo para disposição			Quantidade de resíduos perigosos eliminados devido à substituição de material
		Percentual reciclado			Quantidade de resíduos convertidos em materiais reutilizáveis por ano

Quadro 27: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para resíduos

Fonte: Elaborado pela autora

No Quadro 27, para resíduos sólidos, os indicadores de pressão, além de medirem a quantidade total resíduos, também buscam quantificar por tipo de resíduo gerado (classe I, II e III). Os indicadores de resposta medem a quantidade reciclada e a eliminação de resíduo perigoso através da substituição de material.

Indicadores de Desempenho Ambiental – Aspecto: Emissões atmosféricas					
Característica do indicador	ONU	CNTL	GRI	EMAS	ISO
Pressão	Emissões gases indutores de efeito estufa	Quantidade total de emissões	Total de emissões diretas e indiretas de gases causadores do efeito estufa, por peso		Quantidade de emissões específicas por ano
		Carga de emissão	NOx, SOx e outras emissões atmosféricas significativas por tipo e peso		
	Consumo de substâncias que degradam a camada de ozônio		Emissões de substâncias destruidoras de ozônio, por tipo e por peso		Quantidade de emissões atmosféricas com potencial depleção da camada ozônio
	Emissões de CO ₂ total e por setor	Carga relativa de emissão		Kg CO ₂ /unidade produzida	Quantidade de emissões específicas por unidade de produto
Resposta			Iniciativas para reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa e as reduções obtidas		

Quadro 28: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para emissões

Fonte: Elaborado pela autora

Os indicadores para emissões atmosféricas, mostrados no Quadro 28, revelam uma reação às pressões exercidas a partir da sociedade em decorrência das mudanças climáticas. A principal pauta são medições de emissões que afetam as condições da atmosfera, assim como a busca pela eficiência na sua redução.

Indicadores de Desempenho Ambiental - Produtos					
Característica do indicador	ONU	CNTL	GRI	EMAS	ISO
Pressão		Parcela de embalagens no produto	Impactos ambientais significativos dos principais produtos e serviços		Nº. de produtos introduzidos no mercado com propriedades perigosas reduzidas
					Nº. de unidades de energia consumidas durante uso do produto
					Duração do uso do produto
Resposta					Nº. de unidades de subprodutos gerados por unidade de produto
		Parcela de produtos com certificação ambiental	Porcentagem recuperável dos produtos ao fim do seu ciclo de vida e porcentagem efetivamente recuperada		Porcentagem do conteúdo de um produto que pode ser reutilizado ou reciclado
		Parcela de produtos com matérias-primas ambientalmente corretas			Nº. de produtos com instrução referente ao uso e à disposição ambientalmente seguros
		Parcela de produtos com materiais reciclados			
		Parcela de embalagens retornáveis			

Quadro 29: Síntese de indicadores de desempenho ambiental para produtos

Fonte: Elaborado pela autora

Os indicadores associados ao produto, apresentados no Quadro 29, procuram avaliar no que tange à pressão e às quantidades de resíduos e de energia e emissões atmosféricas após o uso do produto. Quanto à resposta, buscam medir a reutilização, o percentual do que se pode reciclar e o que efetivamente é reciclado, no término de seu uso.

De uma forma geral, todas as abordagens (ONU, CNTL, ISO, EMAS, GRI) apresentam indicadores semelhantes. Essa constatação foi possível, pois as pressões ambientais apresentaram a mesma natureza, ou seja, efeito clima, poluição das águas, redução da biodiversidade e outros. Portanto, todas as abordagens aqui vistas, alinham-se pela busca dos mesmos objetivos estratégicos, no tocante à redução da geração de impactos ambientais pelas atividades industriais. A diferenciação entre elas está mais na sua forma de organização, ou seja, na estruturação das variáveis e na forma de medição. É observado, também, um movimento de mudança e evolução nas proposições.

3.3 BIOMIMÉTICA

Segundo Benyus (2006), a Biomimética é uma nova ciência que estuda os modelos da natureza e depois os imita ou inspira-se neles para resolver os problemas humanos. A palavra provém do grego *bios*, vida, e *mimesis*, imitação.

Forbes (2006 *apud* SOARES, 2008) descreve a Bioinspiração como uma nova ciência que usa os princípios da natureza para criar novos produtos. Essa ciência envolve um crescente grupo de técnicas que permite obter materiais com novas propriedades, como, por exemplo, as superfícies de tinta e vidro que se auto-limpam; os tecidos que exibem cores apesar de não possuírem pigmentos da cor; as fibras, mais fortes que o nylon ou ferro, baseadas nas teias de aranha; e os adesivos baseados nas microestruturas das patas do Gecko, que é um tipo de lagarto.

De acordo com Pauli (2001), a natureza opera de forma descentralizada, prática, pragmática e com grande inteligência, acumulada após milhões de anos de experiência. Na maior parte do tempo, a natureza põe em funcionamento os melhores sistemas para responder a suas próprias necessidades básicas e àquelas da humanidade também.

Para a Biomimética, os processos de fabricação seriam os mesmos empregados pelos animais e pelas plantas, usando a luz do sol e compostos simples para produzir fibras, plásticos e produtos químicos totalmente biodegradáveis. As terras produtoras de alimentos, seguindo o modelo dos processos vitais dos campos, seriam auto-fertilizantes e resistentes a pragas. Novos fármacos seriam produzidos a partir do estudo de animais e insetos que utilizam as plantas como fontes vitais há milhões de anos. Na área da informática, seria possível o desenvolvimento da computação pela combinação de moléculas endógenas e exógenas que apresentam atividade biológica. As células solares poderiam ser copiadas da estrutura das folhas, as cerâmicas inquebráveis seriam desenvolvidas com base na madrepérola, e a ventilação de edifícios inspiradas nos cupinzeiros (BENYUS, 2006).

No que tange à gestão dos processos produtivos, a Biomimética é compatível com a gestão ecológica, e uma das questões envolvidas é a otimização *versus* a maximização. Para a Biomimética a resolução dos problemas ambientais das indústrias está na ênfase da otimização da produção, num sistema eficaz de *feedback* (resposta e realimentação), no reciclo de materiais, na geração de recursos locais e, principalmente, na economia de energia.

3.3.1 Sistemas Naturais

Para definir sistemas, é necessário inicialmente distinguir entre sistemas isolados, fechados e abertos. Enquanto os primeiros não trocam nem energia, nem matéria com seus ambientes, os sistemas fechados trocam somente energia com seu entorno. Os sistemas abertos que trocam energia e matéria com seus ambientes são de fato aqueles que dominam nos processos da evolução biológica e apresentam a capacidade de auto-organização e se desenvolvem de maneira irreversível (FENZL, 1998).

Segundo Andrade *et al* (2006), sistema pode ser definido como um conjunto de elementos interdependentes que interagem com objetivos comuns formando um todo, e no qual cada um dos elementos componentes comporta-se, por sua vez, como um sistema cujo resultado é maior do que o resultado que as unidades poderiam ter se funcionassem independentemente. Qualquer conjunto de partes unidas entre si pode ser considerado um sistema, desde que as relações entre as partes e o comportamento do todo sejam o foco de atenção.

Em conformidade com as ideias de Benyus (2006), é possível dizer que a natureza apresenta uma evolução em que passa de um sistema que cresce desordenadamente em competição e de forma desequilibrada, o Sistema do Tipo I, para um sistema intermediário em que há ordenação e diversificação com redução da competição buscando a eficiência sistêmica, o Sistema do Tipo II. A evolução deste último encaminha a natureza para o Sistema do Tipo III, em que a cooperação e a diversificação operam na busca da eficiência máxima nas relações de troca, ou seja, a inexistência de desperdício. A manutenção deste estado certamente percorre situações de desequilíbrio, entretanto a própria natureza se movimenta na busca do reequilíbrio, ou seja, é um processo dinâmico e não estático.

Os Sistemas do Tipo I surgem para se aproveitar da abundância de recursos e os usam ou consomem o mais rapidamente possível, para transformar seus organismos em corpos adultos e depois multiplicar-se muito. O objetivo dessa estratégia de crescimento rápido é o crescimento da população, para aumentar ao máximo a produção de materiais e depois seguir para outro lugar em que haja abundância, sem perder tempo com reciclagem ou eficiência. As espécies do Tipo I são algo semelhante aos nômades do mundo, sempre se deslocando e colonizando, em vez de aprender a reciclar (BENYUS, 2006).

Segundo Benyus (2006), o problema é que a estratégia do sistema do Tipo I é apropriada apenas no estágio inicial da sucessão, quando ainda existem em abundância de sol

e nutrientes no solo. Quando o lugar começa a ficar muito populoso e a fatia de sol, água e nutrientes passa a ter de ser dividida entre mais consumidores, a estratégia do Tipo II prevalece e sucessivamente a do Tipo III.

Contudo, na natureza, os sistemas lineares do Tipo I não são categoricamente ruins. Em muitos casos, são sistemas pioneiros como, por exemplo, capins que recobrem o solo, absorvem os nutrientes recém expostos e fertilizam o solo com seus resíduos preparando o terreno para a sucessão: campos de flores que se transformam em campos de arbustos e estes em florestas (BENYUS, 2006).

Em contraste com as espécies do Tipo I, o Sistema do Tipo II não gasta energia na produção de milhões de sementes. Ao contrário, produz algumas sementes e emprega o restante da energia em raízes mais resistentes e caules robustos que os façam sobreviver ao inverno. Na primavera, prudência lhes traz compensação, pois se desenvolvem rapidamente sob a luz do sol, superando as espécies anuais do Tipo I (BENYUS, 2006).

Os atuais ecossistemas industriais seriam uma mistura dos Tipos I e II. O objetivo limite de emissão zero, mais próximo do Tipo III, estaria longe de ser alcançado dado o estágio tecnológico atual. No entanto, na medida em que este objetivo fosse perseguido, a tendência seria o aumento dos níveis de reciclagem e reutilização dos materiais em um contexto global (COSTA, 2002).

Analogicamente, para Graedel (1994 *apud* COSTA, 2002), existiriam três tipos de fluxos de materiais na perspectiva ecológica. O Tipo I é um modelo de fluxo linear (em apenas um sentido) de materiais e energia no qual a produção, uso e disposição final ocorrem sem reciclagem ou reuso de materiais. No Tipo II, ocorre alguma ciclagem interna de materiais, mas ainda existe a necessidade de entrada de recursos energéticos e materiais, e os rejeitos continuam a ser lançados para o exterior. O Tipo II é mais eficiente que o Tipo I, mas ainda assim não garante a sustentabilidade de longo prazo. O modelo do Tipo III poderia ser denominado como um ecossistema sem resíduos, em que a reciclagem interna permite que apenas a energia solar garanta a manutenção do ecossistema .

Segundo Forbes (2006 *apud* SOARES, 2008), as criaturas da natureza possuem capacidades e características muito superiores as da engenharia. No entanto, se for possível descobrir como esses organismos as conseguiram obter, e aprender a utilizar as suas técnicas, será possível ampliar as capacidades estrondosamente.

As espécies do Tipo III estão adaptadas a viver numa terra que esteja em relativo estado de equilíbrio, em intrínseca sinergia com as espécies que as rodeiam e empregam sua

energia no aperfeiçoamento dessa relação. Tecem novos materiais, praticamente, sem resíduos e a única energia empregada é a solar.

O Quadro 30 faz uma comparação das estratégias das espécies do Tipo I com as do Tipo III, no qual a segunda coluna significa o atual momento e a terceira onde se deseja chegar, ou chamada de estágio de sobrevivência futura (BENYUS, 2006).

Para os ecologistas industriais, os sistemas I e III são sistemas complexos e, como tais, têm muito em comum. Os processos complexos não são administrados por alguém em particular, mas são controlados por incontáveis relações individuais que ocorrem dentro do sistema. Tais relações, num sistema natural, combinam-se e definem a comunidade (BENYUS, 2006).

Atributos do Ecossistema	Estágios de desenvolvimento (Tipo I)	Estágios de maturidade (Tipo III)
Cadeia alimentar	Linear	Em forma de rede
Diversidade de espécies	Pequena	Grande
Dimensão corporal	Pequena	Grande
Estratégia de crescimento (como multiplicar-se)	Ênfase no crescimento Rápido	Ênfase no controle de <i>Feedback</i>
Produção	Quantidade	Qualidade
Simbiose interna (relação de cooperação)	Subdesenvolvida	Desenvolvida
Conservação de nutrientes (reciclagem)	Precária	Boa
Diversidade de padrões	Simples	Complexa
Diversidade bioquímica	Pequena	Grande
Especializações	Muitas	Poucas
Ciclagens minerais	Abertas	Fechadas
Taxa de troca de nutrientes Entre organismos e o meio	Rápida	Lenta
Papel dos detritos	Insignificante	Importante
Nutrientes inorgânicos	Extrabióticos	Intrabióticos
Matéria orgânica total Biomassa	Pequena	Grande
Estabilidade	Precária	Boa
Entropia (perda de energia)	Alta	Baixa
Informação	Pouca	Muita

Quadro 30: Comparação das estratégias das espécies Tipo I e Tipo III

Fonte: Benyus (2006, p. 255)

Para a construção do sistema de avaliação ambiental dos processos produtivos industriais, será utilizado como parâmetro o Sistema do Tipo III.

3.3.2 Estratégias do Sistema Natural Tipo III

No decorrer de bilhões de anos, a seleção natural criou estratégias vencedoras adotadas por todos os ecossistemas complexos e maduros. Essas estratégias serão descritas a seguir (BENYUS, 2006):

1. Usam resíduos como recursos.
2. Diversificam-se e cooperam para o uso completo do habitat.
3. Assimilam e usam energia eficientemente.
4. Aperfeiçoam, em vez de explorar ao máximo.
5. Usam materiais e recursos parcimoniosamente.
6. Não sujam sua morada.
7. Não esgotam recursos.
8. Mantêm-se em equilíbrio com a biosfera.
9. Operam com base em informações.
10. Consomem recursos do próprio habitat.

1) Usam resíduos como recursos

Uma das principais lições da ecologia de sistemas é que, à medida que um sistema aumenta a sua biomassa, necessita de mais reciclagens para impedir o próprio colapso. Se toda biomassa fosse extraída do meio ambiente sem que houvesse meio de restauração disso, no interior do próprio sistema, em pouco tempo, tudo em volta se esgotaria. Contudo, a comunidade madura torna-se cada vez mais auto-suficiente. Em vez de trocar nutrientes e minerais com o ambiente externo intensamente, ela faz circular dentro do seu fundo coletivo de geração, morte e decomposição de matéria orgânica aquilo que ela precisa (BENYUS, 2006).

A razão pela qual a reciclagem é tão eficiente na natureza está no fato de que não há falhas no esquema funcional do sistema, pois organismos diversificados evoluíram de forma a produzir, consumir e reciclar, possibilitando que nenhum recurso seja perdido. A única coisa que a comunidade importa em quantidades consideráveis é energia, na forma de luz solar, e a única coisa que exporta é o subproduto do seu uso da energia, o calor (BENYUS, 2006).

Embora já se verifiquem iniciativas em vários países, o caso mais citado é o do complexo de plantas em Kalundborg na Dinamarca. Os principais participantes são uma

refinaria de petróleo, uma termoelétrica a carvão, uma fábrica de produtos de gesso, uma planta farmacêutica e o núcleo urbano de Kalundborg (CHERTOW, 2000).

As quatro empresas lá instaladas estão coligadas e dependentes umas das outras para obtenção de recursos e energia. Uma delas canaliza parte do vapor gerado por seus processos industriais para motores de outras duas empresas. Outra empresa, através de suas tubulações, leva água razoavelmente quente para cinquenta e sete lagos de peixes, e a piscicultura produz duzentos e cinquenta toneladas por ano de trutas e rodvalho. Uma das empresas que recebe o vapor fornece para fazendeiros da região uma pasta restante, com alto teor de nitrogênio, oriunda de seu processo de fermentação para que a utilizem como fertilizante. Um tipo de gás que antes era emitido para o meio ambiente, agora é purificado e reutilizado como combustível, tanto na própria empresa quanto nas outras três. O enxofre extraído durante a purificação desse gás é vendido para uma empresa que produz ácido sulfúrico (BENYUS, 2006). A Figura 12 ilustra o esquema de produção linear e circular.

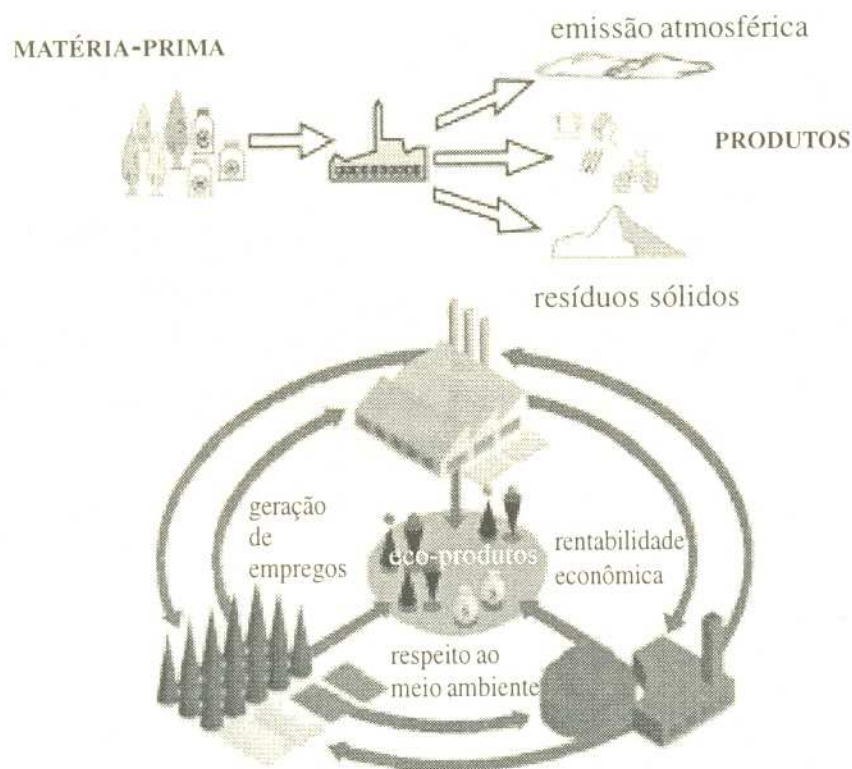


Figura 11: Produção linear e circular
Fonte: Pauli (2001, p.186)

2) Diversificando e cooperando para o uso do habitat

O estudo detalhado dos ecossistemas nestas últimas décadas mostrou que a maioria das relações entre organismos vivos é essencialmente cooperativa, caracterizada pela

coexistência, interdependência e simbiótica em vários graus (CAPRA, 2007). Essa dinâmica encaminha os seres vivos a trocas perfeitas que resultam em resíduo zero. Capra (2007) e Benyus (2006) afirmam que, na natureza, em ocorrendo o rompimento desse equilíbrio, é provocado o aparecimento de pragas e pestes, ou mesmo o desaparecimento de espécies.

Redes de organismos vivos formam ecossistemas em conjunto com vários componentes através de uma intrincada rede de relações que envolvem a troca de matéria e energia em ciclos contínuos (CAPRA, 2007). Dessa forma, Benyus (2006) coloca que é preciso alternativas para suprir uns aos outros, no sistema industrial, tal como nos ecossistemas naturais, possibilitando menor perda de material. O modelo linear de exploração de recursos e descarte de refulgos não está devidamente preenchido, como, por exemplo, a falta da reciclagem de vidros verdes, considerada como uma falha do sistema de reciclagens.

A diversidade de nichos cria uma estabilidade dinâmica. Se um organismo é forçado a sair do sistema, geralmente aparece um que lhe supere a ausência, o que permite que o sistema continue íntegro (BENYUS, 2006).

Para Benyus (2006), existem muitos meios de fazer os produtos fluírem das fábricas para a economia, mas é preciso também, meios de fazer refluir os materiais usados na fabricação dos produtos de modo que sejam purificados e reaproveitados. Enquanto houver algum material sem reciclagem, é como um nicho a ser preenchido.

De acordo com Costa (2002), as unidades de produção (indústrias e processos) são sistemas integrados e não isolados, e esta visão sistêmica permite pensar nas conexões entre as atividades produtivas como em uma rede que busca minimizar a quantidade total de rejeitos direcionados para a deposição de resíduos. Ao invés de focalizar o controle de poluição somente nas plantas industriais, importa a minimização de rejeitos de todo o ecossistema industrial.

Nesse sentido, Pauli (2001) acredita que a busca pela escala adequada devolve o desafio aos engenheiros de processo. O exercício de interação dessas operações diferentes levará ao projeto de um conglomerado de indústrias, baseado nas oportunidades de reutilização de tudo.

3) Captação e consumo eficiente de energia

Segundo Capra (2007), uma fonte energética deve ser renovável, economicamente eficiente e ambientalmente benigna, sendo que a energia solar é a única espécie que satisfaz a todos esses requisitos. O sol tem sido a principal fonte de energia do planeta. Toda a energia que o ser humano usa, exceto a nuclear, representa alguma forma de energia solar

armazenada. Seja a queima de madeira, carvão, petróleo ou gás, todas elas são energias provenientes da energia irradiada para a Terra a partir do Sol e convertida quimicamente através da fotossíntese. Nesse sentido, a energia solar está acessível em formas variadas, assim como em áreas florestais está presente através do combustível sólido (madeira), em áreas agrícolas através dos combustíveis líquido e gasoso (álcool, biodiesel e metano), em regiões montanhosas através da energia hidrelétrica e, em lugares onde venta muito, como energia gerada pelo vento. Já, em áreas ensolaradas, pode ser transformada em eletricidade através de células fotovoltaicas e, em quase toda parte, pode ser captada como calor direto.

Percebe-se, outrossim, que na maioria das comunidades, com exceção das comunidades de corpúsculos vivos que se alimentam de enxofre no fundo dos mares, os consumidores de energia são os fotos-sintetizadores, as plantas verdes, as algas azul-verdeadas e certos tipos de bactérias. Estes obtêm a sua energia radiante de uma fusão nuclear que ocorre a 93 milhões de quilômetros de distância (à distância do Sol) e a transformam nas ligações químicas de açúcares e carboidratos. Embora usem apenas cerca de 2% da luz solar que chega à Terra, aproveitam-nas ao máximo, alcançando uma eficiência quântica de 95%. Isso significa que, para cada 100 fótons de luz capturados pelo centro de reação da folha, 95 são aproveitados na criação de ligações (BENYUS, 2006).

4) Aperfeiçoar em vez de explorar ao máximo

Campos de plantas anuais são sistemas, tais como os sistemas industriais, que forçam artificialmente a produção de frutos. Estes transformam nutrientes em biomassa e depois descartam essa biomassa. Em orientação contrária, os sistemas maduros preservam o grosso dos seus materiais e nutrientes, isto é, em vez de os nutrientes passarem pelo processo de decomposição todo ano, a biomassa continua como está. Nos primeiros anos, os membros da comunidade vegetal crescem rapidamente e é por isso que os anéis de crescimento arbóreo são mais largos no centro da árvore. Nos anos posteriores, à medida que mais árvores e outros vegetais passam a compartilhar o espaço, o crescimento diminui, e a produtividade por unidade de biomassa desacelera (BENYUS, 2006).

A redução da taxa de reciclagem resulta também na estabilização geral do sistema. Uma das razões pelas quais os ecossistemas são tão flexíveis está no fato de que não fazem nada apressadamente. Quanto menores forem as taxas de ciclagem, mais eficiente será a regulação dos controles, sem flutuações extremas. A capacidade de controlar o sistema é importante, pois significa que a comunidade inteira é capaz de transformar-se e adaptar-se às exigências do sistema (BENYUS, 2006).

Atualmente, os "ecossistemas industriais" são tais como os sistemas do Tipo I, que ainda se baseiam em altas taxas de produtividade e crescimento, em que um fluxo contínuo de materiais é extraído da terra e transformado em produtos novos. Segundo Benyus (2006) oitenta e cinco por cento dos itens manufaturados tornam-se lixo. A autora destaca que há necessidade da redução da produção, com ênfase na qualidade, em vez de na quantidade de coisas novas.

Para Wackernagel e Rees (1996), o imperativo econômico convencional, maximização da produção econômica, deve ser restringido em favor dos imperativos sociais (minimização do sofrimento humano atual e futuro) e ecológicos (de proteção da ecosfera).

Na década de 1960, o Japão inaugurou a chamada Revolução da Qualidade, amplamente baseada nas ideias do especialista em eficiência, Edwards Deming. Os japoneses provaram que era possível aumentar a qualidade, a produtividade e a lucratividade ao mesmo tempo. Na última década, *designers* começaram a identificar a tendência em dar importância à qualidade com itens duráveis, feitos com cuidado e personalidade, o que pode ser o sinal de uma transição para um mercado maduro (BENYUS, 2006).

5) Uso Parcimonioso de Materiais

Os seres vivos criam estruturas duradouras, ajustam a forma à função, criando exatamente o que precisam, com o uso mínimo de materiais e sem excesso. Os favos de colmeias são um exemplo de estrutura que oferece o máximo de espaço com uma quantidade mínima de material de revestimento (BENYUS, 2006).

Pela evolução, os seres vivos desenvolveram também a capacidade de tomar a decisão mais produtora, fazendo com que uma estrutura desempenhe não apenas uma, mas duas ou três funções. Essa adaptação e reavaliação constantes do uso de materiais significam que menos mecanismos precisam ser desenvolvidos para a sobrevivência do ser (BENYUS, 2006). Os organismos usam fluxos de materiais de forma passiva, no sentido em que não há processos de transporte longos e dispendiosos, pelo contrário, os ciclos de recursos são temporais curtos (DRACK, 2002; GRAEDEL; ALLENBY, 1995).

A tendência atual em direção à desmaterialização faculta às empresas o uso de menos material para fabricar produtos mais leves, menores, mais elegantes e capazes de realizar muitas funções (BENYUS, 2006). O desenvolvimento sustentável depende de reduzir a destruição ecológica, principalmente através da diminuição das trocas de energia e matéria-prima dentro da economia. Nesse sentido, a sustentabilidade se assemelha à proposta do

Material Inputs per Service, MIPS, de desmaterialização da economia e do aumento da qualidade de vida, principalmente para a maioria mais pobre do mundo (PAULI, 2001).

6) Limpeza do Próprio Lar

Os seres vivos precisam comer, respirar e dormir justamente no local de produção, seu habitat. Até mesmo as cobras venenosas não acumulam em si grandes quantidades de toxinas, ao contrário, elas produzem pequenas porções somente quando necessário. Tampouco os seres vivos lançam mão de altas temperaturas, compostos químicos agressivos ou alta pressão para produzir o que precisam tal como o ser humano faz. Eles sabem que altos fluxos de energia, ou energia fora do lugar, podem contribuir para a poluição do próprio habitat (BENYUS, 2006).

Nesse ínterim, até que se consiga eliminar totalmente ou achar substitutos para os produtos tóxicos, os ecologistas industriais vem recomendando a produção de substâncias químicas em pequenas doses onde e quando for preciso, de modo que não seja necessário se preocupar com o seu armazenamento ou riscos de vazamento, podendo ser chamado de químicos sob demanda (BENYUS, 2006).

Outra tendência que aproximaria o ser humano do método da natureza de fazer as coisas seria a da descentralização das unidades fabris. Como por exemplo, faria mais sentido a produção de energia em centrais pequenas ou até mesmo nos telhados das casas. Quanto menor o ritmo de produção, quanto menor a conversão, menor é a probabilidade da ocorrência de desequilíbrio do meio ambiente ou de colapsos maciços do sistema (BENYUS, 2006).

7) Preservação dos Recursos Naturais

Os seres vivos de um ecossistema vivem de dividendos e não dos lucros em si. O melhor predador, por exemplo, é aquele que não elimina a sua presa totalmente. Se tiverem espaço, os búfalos pastam metodicamente, em vez de consumir todo o pasto de suas campinas. As girafas vão de acácia em acácia e mesmo os vorazes gorilas deslocam-se lentamente pela floresta, permitindo que as plantas alimentícias da área explorada se recuperem. Todos eles aprenderam, pela sabedoria e herança genética, a não defraudar os seus estoques vivos (BENYUS, 2006).

Existem na natureza *feedbacks* biológicos negativos que impedem que os seres vivos acabem totalmente com seu alimento. Ou seja, quando as fontes de alimento começam a esgotar-se, tornam-se, obviamente, mais difíceis de achar, e a procura por alimento consome energia preciosa. Geralmente, mudar para outra fonte de alimento é mais fácil para o animal, e

isso permite que o recurso renovável se recomponha. Para os recursos não renováveis, tais como os metais e os minerais, os seres vivos não os ingerem em grande quantidade. Resumidamente, a lei da natureza no que se refere a recursos não renováveis é não usar mais rápido do que a Terra pode produzi-lo. E, para os renováveis, não usar mais rápido do que ela pode recompô-lo (BENYUS, 2006).

8) Mantendo o Equilíbrio com a Biosfera

Quando se fala de um prado ou de uma floresta de sequoias, fala-se em subciclagens que se agitam dentro de uma ciclagem muito maior. A biosfera, a camada de ar, terra e água que sustenta a vida, é um sistema fechado, o que significa que nenhum tipo de matéria, com exceção dos meteoros, é importada ou exportada. As reservas dos principais componentes bioquímicos estruturais, tais como carbono, nitrogênio, enxofre e fósforo continuam as mesmas, embora haja uma troca intensa desses elementos entre os seres vivos. Tudo o que é tirado das reservas de recursos naturais, pelo processo da fotossíntese, da respiração, do crescimento, da mineralização e da decomposição, é substituído por uma quantidade idêntica (BENYUS, 2006).

Os gases da atmosfera são mantidos numa situação de equilíbrio dinâmico. Na fotossíntese, as plantas absorvem dióxido de carbono e liberam oxigênio que os seres aeróbicos absorvem liberando dióxido de carbono. No entanto, a emissão de carbono das indústrias na atmosfera é em quantidade muito maior do que a capacidade natural de absorção (CAPRA, 2007).

9) Vida Movida à Informação

Comunidades maduras, assim como empresas inovadoras e produtivas, têm eficazes canais de comunicação que transmitem informações de *feedback* a todos os membros, influenciando-lhes a marcha na direção da sustentabilidade. A quantidade de excesso e resíduos é controlada por mecanismos que recompensam atitudes eficientes. Qualquer organismo rodeado e dependente de muitas outras ligações tem de desenvolver formas inequívocas de sinalização de suas intenções e de relacionar-se com os vizinhos. Um sistema de *feedback* eficaz permite que mudanças ocorridas num indivíduo da comunidade reflitam-se no todo, o que lhe faculta a adaptação quando o meio sofre alteração. As comunidades maduras têm como objetivo preservar a própria identidade ao enfrentar tempestades e dificuldades, de modo que consigam permanecer e evoluir, no mesmo lugar. É isso que os

buscadores da sustentabilidade estão começando a querer também para as comunidades humanas (BENYUS, 2006).

Benyus (2006) sinaliza que todas as empresas de determinada economia têm de estar intimamente coligadas entre si e conscientes de suas relações com o meio ambiente, tal como ocorre com os animais. A ideia é estabelecer canais de informação entre as empresas e dentro delas, bem como um meio de canalizar para elas as informações resultantes das suas relações com o meio ambiente.

10) Consumo de Recursos Locais

Já que os animais não podem importar produtos, eles consomem os recursos de seu habitat e tornam-se especialistas do próprio local. Os pumas co-evoluem com os cabritos monteses americanos, por exemplo, desenvolvendo uma imagem de busca da presa e o complemento perfeito de características físicas e de dentes necessários para capturá-los e digeri-los. Por sua vez, os cabritos são muito hábeis em seu território, no qual desenvolveram defesas inteligentes contra um inimigo que eles conhecem. Portanto, manter-se próximo do próprio território é uma vantagem, visto que ajuda a economizar energia e permite o melhor uso das habilidades do animal (BENYUS, 2006).

Comunidades biológicas, de um modo geral, permanecem próximas ou coligadas entre si em relativa intimidade no espaço e no tempo. Assim, por exemplo, os nutrientes de um tronco de árvore em decomposição são levados para o solo pela água da chuva, usando energia solar captada quando a água se evaporava, o fluxo de energia é baixo e as distâncias são pequenas. Em outras palavras, com exceção de algumas espécies de aves migratórias, a natureza não percorre longas distâncias (BENYUS, 2006).

Da mesma forma, para Graedel e Allenby (1995), Lowe (1996) e Yeang (2006)², algumas características dos ecossistemas/sistemas naturais que podem ser reproduzidas e aplicadas na indústria são:

- Nos sistemas naturais não existem resíduos. De várias formas todos os materiais são reutilizados, geralmente com grande eficiência. Os resíduos de uma espécie são o alimento de outra.
- Os materiais e nutrientes circulam e transformam-se continuamente. O sistema funciona inteiramente com base em energia solar e armazena, ao longo do tempo, a energia sob a forma de combustíveis fósseis.

² Autores citados por Soares (2008).

- Grande parte dos fluxos de energia nos ecossistemas é consumida nos processos de decomposição, de forma a reciclar resíduos para a sua reutilização.
- As toxinas concentradas não são armazenadas e transportadas em grandes quantidades ao nível do sistema, mas são sintetizadas e usadas quando necessárias apenas por certos organismos.
- Um organismo biológico responde aos estímulos externos, como temperatura, umidade, disponibilidade de recursos, entre outros.
- Os sistemas naturais são dinâmicos e orientados pela informação. A flexibilidade dos ecossistemas e uma consequência de múltiplos ciclos de *feedback* (ciclos retroativos) que mantém esses sistemas num estado de balanço dinâmico.
- Um organismo biológico é capaz de atividade independente. No entanto, todos os sistemas vivos comunicam e partilham recursos entre si.
- Cada membro de um ecossistema realiza várias funções, interligando-se com outros membros. A cooperação e a competitividade estão interligadas. As trocas de energia e recursos que ocorrem nos ecossistemas são sustentadas pela cooperação.

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. A análise dos métodos e ferramentas de gestão ambiental permitiu identificar a evolução do comportamento do setor industrial na busca do uso mais eficiente dos recursos, da menor geração de resíduos e de efluentes, da utilização de fontes alternativas de energia e, principalmente, da introdução de novos métodos de gestão. Cabe mencionar que muitos deles surgiram a partir de abordagens conceituais e práticas em torno da eco-eficiência.

O estudo dos Sistemas de Avaliação do Desempenho Ambiental propiciou identificar os processos de avaliação, existentes na indústria, basicamente fundamentados no sistema planejar, executar, checar e agir, mostrou os níveis hierárquicos da informação e, por fim, possibilitou sintetizar os indicadores desenvolvidos pelos principais organismos nacionais e internacionais, que serão escolhidos para traduzir as estratégias constantes nos Princípios dos Sistemas do Tipo III.

A apresentação da Biomimética teve como ênfase mostrar que, apesar de existirem situações de desequilíbrio na natureza, existem sistemas maduros em equilíbrio dinâmico e os seus princípios regerão o conjunto de indicadores propostos neste trabalho.

No sequência, apresentar-se-á a proposição de indicadores, objeto deste trabalho.

4 PROPOSIÇÃO DO CONJUNTO DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS PROCESSOS PRODUTIVOS INDUSTRIAIS

Este capítulo apresenta a construção da proposta de Indicadores Biomiméticos para a avaliação do desempenho dos processos produtivos industriais. Inicialmente, apresenta-se uma análise ampla da relação entre os diferentes aspectos da atividade industrial, que promovem sobre o meio ambiente e os Princípios que regem os Sistemas Naturais Maduros.

Posteriormente, é apresentada a forma de mensuração de cada indicador, a fim de contemplar a transposição do conteúdo estratégico contido no Princípio para avaliar o desempenho dos aspectos da atividade industrial. Utilizando o método escolhido para a construção dos indicadores, foi possível apresentar o conjunto de doze indicadores constantes neste trabalho.

4.1 RELAÇÃO ENTRE OS ASPECTOS DA ATIVIDADE INDUSTRIAL COM OS SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS E OS PRINCÍPIOS DOS SISTEMAS NATURAIS TIPO III

Para a construção da proposta de um conjunto de indicadores, foi identificado que a atividade industrial, tal como mencionado anteriormente, contém aspectos que atuam promovendo impactos de forma diferenciada sobre os elementos que compõem o meio ambiente. Ou seja, as emissões de gás carbônico atuam com maior ênfase sobre a qualidade do ar, por outro lado, a geração de efluentes líquidos e a captação de água interferem na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Ao examinar os Princípios dos Sistemas do Tipo III, foram identificados os elementos da natureza constantes em cada um deles e foi determinado o aspecto industrial que os impactava.

No que se refere aos aspectos da atividade industrial, foram identificadas suas relações com os Princípios da seguinte forma:

- Princípio 1: Usam resíduos como recursos. Esse Princípio foca a questão da geração de resíduos, ou seja, na natureza há um completo reaproveitamento de tudo o que é descartado ou que morre. O aspecto industrial relacionado é o da geração de resíduos, mensurando a sua reutilização através da reciclagem.

- Princípio 2: Diversificam-se e cooperam para o uso completo do habitat. A cooperação e a diversificação entre os seres que compõem a natureza imprimem uma grande eficiência individual e coletiva, com resultados no uso parcimonioso dos recursos. Na atividade industrial, obtêm-se resultados semelhantes com a cooperação e a diversificação. Para caracterizar esse aspecto, identificou-se a participação da indústria em bancos de resíduos, em redes de pesquisa e em sistemas de governança públicos/privados, como, por exemplo, os Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas.

- Princípio 3: Assimilam e usam energia eficientemente. A principal fonte de energia utilizada na natureza é o sol e as plantas usam a luz solar com alta eficiência no seu processo de fotossíntese. O aspecto da atividade industrial identificado neste Princípio é a energia com foco no consumo eficiente e no uso de fontes de energia renováveis.

- Princípio 4: Aperfeiçoam, em vez de explorar ao máximo. Nesse Princípio, é identificada a utilização dos materiais, no sistema natural, de forma gradual e equilibrada, sem desequilibrar a biodiversidade e os estoques dos recursos naturais. O aspecto industrial vinculado a esse elemento foi o produto final com foco no reaproveitamento dos materiais que o compõem considerando seu descarte ao final de sua vida útil.

- Princípio 5: Usam materiais e recursos parcimoniosamente. O uso parcimonioso dos materiais é comportamento identificado na natureza que traz a grande virtude de preservar os recursos naturais. O aspecto da atividade industrial vinculado a esse Princípio são os materiais renováveis e não renováveis.

- Princípio 6: Não sujam sua morada. A contaminação do meio ambiente por substâncias tóxicas é o conceito contido nesse Princípio. Os aspectos da atividade industrial visualizados foram os materiais tóxicos utilizados na produção.

- Princípio 7: Não esgotam recursos. Nesse Princípio, é apontado o cuidado com que os recursos são preservados pela natureza, mantendo-os disponíveis, tanto sob os aspectos qualitativos, como quantitativos. Para esse elemento, em função da sua importância para o equilíbrio do planeta, foi identificada como aspecto da atividade industrial a água, considerando a sua reutilização e as suas fontes.

- Princípio 8: Mantêm-se em equilíbrio com a biosfera. A questão da qualidade do ar surge como elemento principal dentro desse Princípio. O aspecto da atividade industrial apontado vincula-se às emissões atmosféricas, a partir de gases de efeito estufa, em função dos impactos que produzem na qualidade do ar.

- Princípio 9: Operam com base em informações. Nos Sistemas Naturais Maduros do Tipo III, os seres geram e recebem informações constantemente de forma a poderem atuar na

busca do equilíbrio. Assim, a transparência produz efeito positivo no posicionamento adequado de cada um para o bem do conjunto. Para esse Princípio, identificou-se a geração e a disseminação de informações como aspecto da atividade industrial mais relevante.

- Princípio 10: Consomem recursos do próprio habitat. A eficiência nos deslocamentos dos seres e dos materiais na natureza é o conceito contido nesse Princípio. O aspecto industrial determinado está vinculado ao eficiente uso de modais de transporte utilizados para trazer matérias-primas e levar produtos finais até os mercados de consumo.

Quando não foi encontrada uma relação direta entre Princípio, elemento e aspecto, foram propostas, para este último, alternativas que viessem a suprir essas lacunas. Tudo isso foi possível a partir da interpretação da estratégia contida nos Princípios e aplicação na gestão dos aspectos industriais associados aos elementos da natureza.

Na sequência, procurou-se entender, a partir do comportamento observado nos organismos que compõem a natureza, no tocante ao seu crescimento e sobrevivência, as estratégias inerentes a sua atuação para aplicá-las na gestão dos processos produtivos industriais. Isso levou à determinação de indicadores que representassem o comportamento dos aspectos industriais alinhados aos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros. Para tanto, foi proposta uma classificação que conciliou o objetivo estratégico constante do Princípio com o comportamento do aspecto da atividade industrial e do impacto sobre o elemento natural. Para a construção dos indicadores, utilizou-se a classificação proposta pela OECD que os caracteriza, segundo modelo de estruturação, da seguinte forma: pressão, estado e resposta.

Conforme o referencial teórico constante neste trabalho, os indicadores de pressão medem os aspectos das atividades industriais que geram impactos sobre a qualidade ambiental. Os indicadores de resposta medem os aspectos a partir de ações voltadas a minimizar os impactos ambientais. Os indicadores de estado medem a qualidade dos elementos que compõem a natureza, ar, água, solo, biodiversidade e outros. Esse tipo de indicador não foi utilizado, pois o acompanhamento e controle da qualidade desses elementos é papel do Estado, legalmente constituído para isso. Por outro lado, não foram encontrados na literatura indicadores utilizados pelo setor industrial medindo as questões envolvendo a qualidade dos elementos componentes na natureza.

Os Quadros 31 e 32 sintetizam as relações que embasaram a escolha dos indicadores, nos quais estão demonstrados os Princípios relacionados com os aspectos da atividade industrial e com as características definidas para os indicadores, bem como a fonte que os

originou, entre parênteses. Isso permitiu definir os aspectos e as suas formas de mensuração que melhor traduzissem os Princípios.

Princípios do Sistema Tipo III	P1	P2	P3	P4	P5
Aspectos da atividade industrial	Resíduos	Cooperação	Energia	Materiais	Produto
Característica do indicador	Indicadores encontrados na literatura				
Pressão		Não encontrado	Consumo eficiente de energia (ONU e ISO)		Consumo eficiente de materiais (EMAS e ISO)
Resposta	Reutilização dos resíduos (ONU, CNTL, GRI e ISO)		Uso de energia de fonte renovável (ONU, CNTL, GRI EMAS e ISO)	Reaproveitamento do produto após uso (CNTL e GRI)	Uso de materiais de fonte renovável (ONU, CNTL, GRI, EMAS e ISO)

Quadro 31: Relação entre os Princípios dos Sistemas Tipo III com os aspectos da atividade industrial e com as características dos indicadores selecionados

Fonte: Elaboração da autora

Princípios do Sistema Tipo III	P6	P7	P8	P9	P10
Aspectos da atividade industrial	Substâncias Tóxicas	Água	Emissões atmosféricas	Informação	Transporte
Característica do indicador	Indicadores encontrados na literatura				
Pressão	Consumo eficiente de substâncias tóxicas (ONU, CNTL, GRI, EMAS e ISO)		Não encontrado	Não encontrado	Não encontrado
Resposta		Reutilização da água do processo (CNTL, GRI e ISO)			

Quadro 32: Relação entre os Princípios dos Sistemas Tipo III com os aspectos da atividade industrial e com as características dos indicadores selecionados

Fonte: Elaboração da autora

A seguir, são descritos os relacionamentos contidos nos Quadros 31 e 32, Princípio por Princípio:

- O Princípio 1 (P1) identifica o aspecto resíduo e tem como principal fundamento a sua reutilização. A pressão ocasionada pelos impactos decorrentes da geração de resíduos moveu a indústria para a busca da redução na sua geração e para o desenvolvimento de co-produtos. Considerando a estratégia contida no Princípio, escolheu-se o indicador de reutilização dos resíduos como o melhor caminho para o atingimento da redução do impacto desse aspecto sobre o meio ambiente, apresentado, no Quadro 31, como indicador de resposta.

- O Princípio 2 (P2) identifica a cooperação como atitude estratégica dos organismos que compõem a natureza para obter o equilíbrio na qualidade ambiental. Foram identificados indicadores quantitativos que representavam a atuação do setor industrial especialmente com atividades de ensino e pesquisa, que não atendiam os fundamentos contidos nesse Princípio. Optou-se por sugerir um indicador de caráter qualitativo, a fim de identificar a existência dos relacionamentos da empresa em redes de cooperação para atuar na reutilização de resíduos, no desenvolvimento tecnológico e na participação da gestão de movimentos coletivos voltados à preservação de recursos naturais.

- O Princípio 3 (P3) tem como fundamento o comportamento dos seres vivos no tocante à eficiência no uso da energia e na sua fonte que basicamente provem do sol, ou seja, altamente sustentável. A geração de energia para utilização pela sociedade, inclusive pelas indústrias, tem forte dependência em recursos naturais não renováveis, especialmente carvão e petróleo e produz efeitos negativos em termos de qualidade do ar e clima. A impossibilidade de mudanças profundas na matriz energética leva o setor industrial a buscar melhorar o nível de eficiência no consumo de energia de forma a diminuir a intensidade dos impactos. São, também, implantados programas voltados ao consumo de fontes de energias renováveis como biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e assim por diante. Conforme apresentado no Quadro 31, foram escolhidos dois indicadores que melhor traduziram esse Princípio.

- O Princípio 4 (P4) coloca a questão do uso de recursos e materiais sem desperdício pela natureza, ou seja, sempre buscando o equilíbrio nos estoques dos materiais. O consumo crescente de produtos industriais duráveis que, ao término do seu período, transformam-se em resíduos gerou pressões para sua reutilização. A resposta da indústria tem sido aumentar a vida útil dos produtos, bem como a sua reutilização quando do seu descarte, sempre procurando agregar valor.

- O Princípio 5 (P5) identifica que na natureza existe a busca pela eficiência no uso dos materiais. Os principais produtos duráveis (automóveis e eletrodomésticos e vestuário) provem de materiais não renováveis (ferro e petróleo). Conseqüentemente, o uso intensivo desses materiais leva à redução do estoque natural. A proposição para esse indicador, com

foco na resposta, é estimular a busca da substituição dos materiais de fontes não renováveis pelos de fontes renováveis. Considerando a impossibilidade do alcance integral desse objetivo, substituição de materiais não renováveis por renováveis, é apresentado também, no Quadro 31, um indicador de eficiência no uso dos materiais e para o atendimento desse Princípio.

- O Princípio 6 (P6) estabelece que o uso de substâncias tóxicas deve se dar de uma forma não concentrada, em quantidades limitadas, para que seu uso pelos seres vivos não agrida o meio ambiente. A toxicidade agride de forma direta o homem e a natureza. Desse modo, tão logo sejam sentidos os seus efeitos, há uma ação de pressão focada na especificidade e agressividade do material. A resposta se dá pela sua substituição e redução no uso do material tóxico, além do aumento do rigor no seu tratamento e disposição, no Quadro 32, apresentou-se indicador de eficiência que traduz a busca da redução no uso de substâncias tóxicas.

- O Princípio 7 (P7) mostra o comportamento observado na natureza no tocante à preservação dos recursos. De forma ampla, o recurso que a sociedade sente comprometido e que é fundamental para sua sobrevivência é a água, por causa da sua contaminação e em algumas regiões por situações de escassez. Por outro lado, os recursos referentes aos demais materiais utilizados pela indústria estão contemplados nos Princípios P1, P3, P4, P5, P6, P8 e P10. A pressão exercida para esse aspecto objetiva a eficiência no seu uso com redução de consumo e as respostas têm se dado pelo tratamento e reutilização.

- No Princípio 8 (P8), é colocada a forma equilibrada com que os organismos na natureza produzem suas trocas objetivando o seu crescimento e sobrevivência sem comprometer a qualidade do ar. A sociedade tem sentido as mudanças na qualidade do ar e do clima em decorrência das emissões de gases, promovidas pelas atividades industriais, ou pelo uso de seus produtos finais, reagindo pela diminuição das emissões quantitativa e qualitativamente (CFCs, proibido e CO₂, controlado). A resposta tem ocorrido pelo controle das emissões e pela introdução de materiais alternativos especialmente originados de matérias renováveis, por exemplo, etanol, biodiesel substituindo gasolina e óleo diesel. Observa-se, também, melhoria técnica em sistemas de filtragem e no sistema de comercialização de crédito de carbono. Não foi encontrado indicador que melhor traduzisse o conteúdo desse Princípio, por isso foi proposto um indicador que pudesse mensurar tanto as quantidades de emissões como as ações para neutralizá-las.

- O Princípio 9 (P9) apresenta a importância dos sistemas de informação e comunicação com *feedback*, para que os organismos vivos possam compreender mudanças

moldando suas ações de forma a manter o equilíbrio. Identificou-se como oportuno para esse trabalho propor um indicador qualitativo que demonstre como resposta a importância na geração, difusão e resposta de informações voltadas ao controle dos aspectos da atividade industrial, no que tange à qualidade ambiental.

- O Princípio 10 (P10) aborda a importância do consumo de recursos locais, para diminuir a pressão das emissões especialmente. Para o alinhamento com o fundamento desse Princípio, entendeu-se como oportuno relacioná-lo à questão do transporte de materiais e de produtos. A pressão exercida move para uma maior eficiência no consumo de combustível por produto ou material transportado e a resposta ocorre pela redução das emissões decorrentes do consumo de combustíveis. Tendo em vista essas características, optou-se por sugerir um indicador qualitativo que traduza a melhor escolha do modal de transporte disponível.

Resumidamente, apresentou-se a estratégia utilizada para embasar a construção dos indicadores Biomiméticos, relacionando as variáveis das atividades industriais, identificadas como aspectos, e suas implicações com os fundamentos dos Princípios dos Sistemas Naturais do Tipo III.

4.2 APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES BIOMIMÉTICOS

A seguir, é apresentado o desenvolvimento de cada indicador escolhido, com a forma de cálculo e os padrões de referência pautados nos Princípios dos Sistemas do Tipo III. É sugerido para cada Princípio um indicador, exceto aos Princípios 3 e 4, para os quais se identificou a importância da utilização de indicador que mensurasse pressão e resposta, considerando a atual impossibilidade de alterações estruturais na matriz energética mundial e no uso de materiais.

4.2.1 Indicador 1: Reutilização dos resíduos – REUR (Princípio 1: Utilizam resíduos como recursos)

Como visto no referencial teórico deste trabalho, diversos autores preocuparam-se com a redução da geração de resíduos. Entretanto, tal como sugere Costa (2002), a palavra

resíduo deve ser transmutada para co-produto (ou matéria-prima para outros produtos). Também Pauli (2001) propõe a utilização integral dos resíduos e a agregação de valor.

Para atingir os objetivos citados acima, é importante num primeiro momento agregar a abordagem chamada 3Rs, redução, reuso e reciclagem. Para essa abordagem, deve-se inicialmente diminuir a geração de resíduos ao máximo; em segundo, procurar reutilizá-lo sem necessidade de reprocesso; e, por último, em não sendo possível as duas primeiras, fazer uso da reciclagem. Portanto a nomenclatura reutilização sugerida para este indicador inclui a reciclagem como forma de reuso.

Para os autores Benyus (2006), Costa (2002) e Pauli (2001), uma indústria que não dá aproveitamento total a seus resíduos, agregando valor a eles, tem a oportunidade de melhorar a sua produtividade e a do sistema industrial na qual ela está inserida. Uma maneira de mensurar a eficiência do reaproveitamento dos resíduos é através do percentual de reutilização, dado pela Equação 1, medida pelo percentual obtido pelas quantidades calculadas em toneladas ou quilogramas.

$$REUR = \frac{\sum_{i=1}^n resu_i}{\sum_{i=1}^n resp_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

REUR: percentual de resíduos reutilizados

resu_i: resíduo *i* gerados na empresa e reutilizado

resp_i: resíduo *i* gerado

Para a obtenção desse indicador, seguem as Tabelas 4 e 5, adaptadas da Metodologia Zerri e que listam e quantificam todos os materiais que entram (eixo vertical) e todos os materiais e produtos que saem (eixo horizontal) do processo produtivo, aproveitando para classificar o que é material renovável e não renovável. A construção da Tabela 4 proporciona, também, à empresa saber o percentual de matéria-prima que está sendo utilizado para a obtenção do produto final.

Tabela 4: Input-output

	Unidade t ou kg	Produto A	Resíduo 1	Resíduo 2	Totais
Materiais Renováveis (MR)					
Material A	Saída	10	20	70	100
	Entrada	100			100
Material B	Saída	30	60	10	100
	Entrada	100			100
Total MR					200
Materiais Não Renováveis (MNR)					
Material C	Saída	30		70	100
	Entrada	100			100
Material D	Saída	50	50		100
	Entrada	100			100
Total Geral					400

Fonte: Adaptada pela autora a partir de Pauli (2001)

Tabela 5: Output Input

	Destino (D)	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	Totais
1. (Resíduo 1)	Saídas	2	80	10	8	0	0	100
	Entradas	100						100
2. (Resíduo 2)	Saídas	0	0	0	0	30	40	70
	Entradas	100						100
Total	Reutilizado							170
	Entradas							200

Fonte: Adaptada pela autora a partir de Pauli (2001)

Pauli (2001) complementa que as saídas a serem consideradas devem ser quantificadas em termos construtivos, ou seja, serão necessárias informações detalhadas sobre o resíduo, para que se possa imaginar como ele pode ser reutilizado, ou que parte deste tem valor para outro processo. Quanto melhor o conhecimento da composição e da viabilidade de separá-los do resíduo, melhor ele poderá ser utilizado na forma de valor agregado. Salienta ainda que a construção da tabela *Output-input* requer uma abordagem multidisciplinar, que busque opções

não consideradas dentro do negócio e, também, nunca consideradas em nenhum outro negócio.

Muitas empresas comercializam seus resíduos e já possuem os dados necessários para a construção da tabela *Output-input*.

Padrões de referência para o indicador reutilização dos resíduos

A nota máxima será obtida quando a empresa promover acima de 90% de utilização de seus resíduos como insumo, agregando valor a eles. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado por 0% a 20% de reutilização dos resíduos gerados.

Nível 2 – determinado pela reutilização de mais de 20% a menos de 50% dos resíduos gerados.

Nível 3 – determinado pela reutilização de mais de 50% e menos de 90% dos resíduos gerados.

Nível 4 – determinado pela reutilização de mais 90% dos resíduos gerados.

4.2.2 Indicador 2: Inserção em redes de cooperação – IRC (Princípio 2: Diversificam-se e cooperam para o uso completo do habitat)

Conforme o Princípio 2 - Diversificam e cooperam para o uso completo do habitat - sistemas industriais inteligentes estruturam-se em cadeias e redes organizadas, objetivando a cooperação na busca da eficiência (BENYUS, 2006). Nesse aspecto, a autora inclusive nomeia os bancos de resíduos, as redes de pesquisa para o desenvolvimento tecnológico de processos e produtos, bem como os comitês de gerenciamento ambiental.

A OECD procura desenvolver métricas sobre o fluxo de pessoal técnico; as ligações entre instituições; a formação de pólos industriais; as fontes do comportamento inovador nas empresas; e o monitoramento do fluxo de conhecimento, para contribuir com a estruturação de redes de conhecimento.

A cooperação entre empresas visa, inclusive, combinar competências, utilizar o *knowhow* de outras empresas, dividir os custos de pesquisas tecnológicas e compartilhar riscos ao realizar experiências em conjunto para explorar novas oportunidades (AMATO, 2000). Para Benyus (2006), as empresas não precisam estar geograficamente próximas para

operar numa rede, desde que estejam interligadas por canais de informação e pelo desejo mútuo de aproveitarem as sinergias.

Atualmente, a gestão, especialmente estratégica, de atividades econômicas, humanas e ambientais, é realizada através de comitês de gerenciamento ambientais que permitem a participação dos principais atores públicos e privados, como se observa no funcionamento dos Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, Conselhos Nacional e Estaduais de Meio Ambiente, entre outros. Isso objetiva a promoção e a construção conjunta de estratégias e propostas com objetivo de gerenciar projetos ou operações que contenham interesse público.

Segundo Cortes (2001), uma rede ideal que pode adequar-se para qualquer tipo de atividade industrial envolverá: centros de pesquisa e conhecimento, fornecedores e clientes, governo e entidades de classe associativas e sindicais. Segundo Gerolamo (2008), os instrumentos para atingir uma rede de cooperação são: o suporte para tecnologia e inovação, o estímulo para negócios e um conjunto de recursos e atividades.

A partir da constatação da importância que tem, na atualidade, as redes de cooperação, os comitês de gerenciamento ambiental e as redes de pesquisa, para promover uma atuação empresarial mais eficiente, com estratégias mais focadas no desenvolvimento sustentável, propõe-se a construção de indicador que identifique a participação e integração da indústria nesse tipo de rede e comitê. Esse indicador será calculado conforme a Equação 2:

$$IRC = \frac{\sum_{i=1}^3 p_i}{3} \quad (2)$$

Onde:

IRC: inserção em rede de cooperação

p_i: pontuação do parâmetro *i* (a obtenção da pontuação é explicada a seguir)

3: é a quantidade total de parâmetros

A partir das afirmações de Benyus (2006), quanto à atuação das indústrias em sistemas de rede ou arranjos que operam para a dimensão ambiental da sustentabilidade, montou-se o Quadro 33 de Padrões de Referência que norteará uma avaliação similar ao método de análise de adequação ao padrão (YIN, 2001). Dessa forma, é possível comparar os resultados obtidos pela observação da realidade da Organização com o padrão construído, a partir do Princípio 2 de Benyus (2006), que determina a “Diversificação e Cooperação para o Uso Completo do Habitat”.

É valorizada nesse Princípio a adesão e cooperação das empresas com outras organizações públicas e privadas, na busca e construção de informações, tecnologias e integração dos sistemas de produção, com foco, especialmente, no melhor desempenho ambiental.

Parâmetros			
Bancos de resíduos			
Nível 1 – pontuação 1	Nível 2 – pontuação 2	Nível 3 – pontuação 3	Nível 4 – pontuação 4
A empresa não participa.	A empresa participa, mas não desenvolve negócios.	A empresa participa e opera moderadamente na compra e venda de resíduos.	A empresa está inserida e participa ativamente.
Redes de pesquisa tecnológicas			
Nível 1 – pontuação 1	Nível 2 – pontuação 2	Nível 3 – pontuação 3	Nível 4 – pontuação 4
A empresa não está inserida em redes e projetos de pesquisa.	Participa de redes de pesquisa, mas sem projetos.	Participa de redes de pesquisa e eventualmente, desenvolve projetos.	Participa de redes de pesquisa e do desenvolvimento de novos produtos e novos processos.
Comitês de gerenciamento ambiental			
Nível 1 – pontuação 1	Nível 2 – pontuação 2	Nível 3 – pontuação 3	Nível 4 – pontuação 4
A empresa não está inserida em uma parceria público-privada.	Participa mas não atua.	Participa e atua moderadamente.	Participa ativamente.

Quadro 33: Parâmetros
Fonte: Elaborado pela autora

Para a consolidação dos resultados, montou-se a Tabela 6, que serve como exemplo, na qual deve ser assinalada a posição em que a organização se encontra nos níveis descritos nos Parâmetros e que recebem pontuação de 1 a 4 no tocante a cada um. A partir da pontuação, será efetuado o cálculo do valor a ser atribuído a esse indicador que corresponderá à média decorrente das avaliações de cada Parâmetro.

Tabela 6: Consolidação dos resultados

Parâmetro	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Pontuação (P)
1. Banco de resíduos	x				1
2. Redes de pesquisa			x		3
3. Comitê de gerenciamento ambiental		x			2
				Total	10
				Média	2

Fonte: Elaborada pela autora

Padrões de referência para o indicador inserção em redes de cooperação

A nota máxima será obtida quando a empresa obtiver a pontuação média de 4. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pela obtenção de uma média entre 1 e 1,50.

Nível 2 – determinado pela obtenção de uma média de mais 1,50 até 2,50.

Nível 3 – determinado pela obtenção de uma média de mais 2,50 até 3,50.

Nível 4 – determinado pela obtenção de uma média acima de 3,50.

4.2.3 Indicador 3A: Consumo eficiente de energia - CEE e Indicador 3B: Uso de energia de fontes renováveis – EFR (Princípio 3: Assimilam e usam energia eficientemente)

O Princípio 3 – Captação e consumo eficiente de energia considera que o ideal é usar diretamente a fonte de energia solar ou através da energia eólica, das marés e dos biocombustíveis. A atual impossibilidade de uma plena adoção desse caminho recomenda a busca pela maior eficiência no uso das fontes de energia não renováveis (combustíveis fósseis) no consumo industrial, visto que irão predominar por muito tempo (BENYUS, 2006).

Portanto, será mensurada a eficiência no consumo energia e o percentual de energias renováveis utilizadas, através das seguintes fórmulas, dadas através das Equações 3 e 4:

$$CEE = \frac{\sum_{i=1}^n cenr_i + \sum_{i=1}^n cer_i}{pt} \quad (3)$$

$$EFR = \frac{\sum_{i=1}^n cer_i}{\sum_{i=1}^n tec} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

CEE: consumo de energia pela produção e transporte

EFR: energia de fontes renováveis

cenr_i: consumo de energia obtida de fonte não renovável *i*

cer_i: consumo de energia obtida de fonte renovável *i*

tec: energia consumida pela produção e transporte

pt: produção total da empresa

Cabe mencionar que o objetivo é direcionar a empresa para o consumo de energia de forma eficiente e estimular o aumento do consumo de energia de fonte renovável.

No que tange à unidade de medida para a produção, cada setor de atividade industrial trabalha com determinado tipo de unidade de medida para definir a sua produção, assim, para o cálculo desse indicador, propõe-se que tais unidades sejam respeitadas. Por exemplo, a indústria automobilística, que é uma montadora de inúmeros componentes e que utiliza o número de unidades produzidas como indicador físico de produção, já um frigorífico de bovinos utiliza o peso dos produtos como indicador de produção.

Para a coleta dos dados referente à quantidade de energia e fonte, segue a Tabela 7, como exemplo.

Tabela 7: Tabela para coleta de dados do consumo de energia

Energia/Tipo	Consumo de energia
Gerada por petróleo (diesel ou gasolina)	
Gerada por carvão	
Gerada por gás natural	
Total Não Renovável	
Gerada por vapor do processo	
Gerada por oxigênio	
Gerada por hidrelétrica	
Gerada por biomassa	
Eólica	
Solar	
Total Renovável	
Total Geral	

Fonte: Elaborado pela autora

Para medição da eficiência energética, existem no mercado *benchmarkings* que deverão ser utilizados como referenciais para a construção do critério de avaliação desse indicador.

Padrões de referência para o indicador consumo eficiente de energia

Considerando a eficiência no consumo de energia (equação 3), a nota máxima será obtida quando o valor resultante desse indicador for no mínimo igual ao melhor índice encontrado como *benchmark*. Portanto, para cada setor industrial serão identificados competidores com melhor índice de eficiência, na produção específica (por exemplo, uma empresa de suco de frutas, deve procurar a melhor eficiência energética no seu segmento para

produzir uma determinada quantidade de produto). Para a menor nota, será considerado o índice que apresentar o mais elevado valor de consumo de energia por produto. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pelo índice que representar o menor desempenho.

Nível 2 – determinado pela obtenção de desempenho inferior à média aritmética dos dois *benchmarks* escolhidos.

Nível 3 – determinado pela obtenção de desempenho superior à média aritmética dos dois *benchmarks* escolhidos.

Nível 4 – determinado pela obtenção do melhor índice encontrado como *benchmark*.

Padrões de referência para o indicador uso de fontes renováveis

Considerando o uso de energia renovável (equação 4), a nota máxima será obtida quando o valor resultante desse indicador for entre 90 e 100%, o que equivale dizer que o processo produtivo consome energia somente de fontes renováveis. Propõe-se, então, uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pela obtenção do resultado entre zero e 20%.

Nível 2 – determinado pela obtenção do resultado maior que 20 até 50%.

Nível 3 – determinado pela obtenção do resultado maior que 50% e inferior a 90%.

Nível 4 – determinado pela obtenção de resultado superior a 90%.

4.2.4 Indicador 4: Reaproveitamento do produto final descartado pelo consumidor – RPDC (Princípio 4: Aperfeiçoam, em vez de explorar ao máximo)

Segundo Benyus (2006), elevado índice de produtos manufaturados tornam-se resíduo. Cabe lembrar, entretanto, que o resíduo domiciliar provém dos produtos industrializados em sua grande maioria.

Segundo Benyus (2006), o design ecológico prevê a reintegração do material ou produto ao meio natural no final de sua vida útil. Essa afirmativa está pautada no fundamento do princípio que valoriza a manutenção do equilíbrio dos materiais na natureza, privilegiando o consumo de materiais renováveis. Como esse atributo não é encontrado em uma grande quantidade dos materiais utilizados na fabricação de produtos duráveis, é necessário que se adote a prática do consumo eficiente de materiais.

Para o cálculo desse indicador, segue a Equação 5:

$$RPDC = \frac{\sum_{i=1}^n mdc_i}{\sum_{i=1}^n mr_i} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

RPDC: reaproveitamentos dos produtos

mdc_i: material *i* descartado pelos consumidores

mr_i: material *i* reaproveitado

Considerando que o recolhimento dos produtos pela indústria no final de sua vida útil é um objetivo ainda a ser alcançado, propõe-se para o alcance da meta constante neste princípio que a empresa reutilize como matéria-prima, materiais recuperados de produtos com as mesmas características dos seus. Assim, se o descarte de seus produtos finais contém determinada quantidade de aço, ela utilizará essa mesma quantidade proveniente de aço reciclado no seu processo de fabricação. Assim, reduz-se a dependência da necessidade de rastrear e recolher os seus produtos. Na medida em que esse Princípio passe a ser utilizado por todos, constituir-se-á uma grande rede que reciclará a totalidade dos produtos não renováveis. A empresa precisa implantar os seguintes passos para o cálculo desse indicador:

- 1º) Quantidade de produto vendida por ano.
- 2º) Número de anos de vida útil do seu produto. Assim, dado um tempo, a empresa terá uma estimativa da quantidade de produto que será descartada pelo consumidor por ano.
- 3º) A partir das formulações de seus produtos, a empresa tem conhecimento de quanto usa de material por ano. Portanto, basta saber a quantidade de produto descartada por ano (Segundo Passo), para saber quanto de matéria-prima foi para o lixo e utilizar essa mesma quantidade em material reciclado.

Por exemplo, para a produção de uma geladeira, são utilizados vários materiais tais como metais, plásticos e borrachas. Supõe-se, hipoteticamente, que são utilizados 10 kg de aço para a fabricação de uma geladeira e que são descartados pelo consumidor cerca de 50 geladeiras por ano. Para o cumprimento desse indicador, a empresa precisaria consumir 500 kg por ano de aço proveniente de material reciclado.

Padrões de referência para o indicador reaproveitamento do produto final descartado pelo consumidor

A nota máxima será obtida quando a empresa conseguir de 90% a 100% de retorno dos produtos após o uso do consumidor. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pela obtenção de 0% a 20% de retorno dos produtos após a utilização pelo consumidor.

Nível 2 – determinado pela obtenção 20% a 50% de retorno dos produtos após a utilização pelo consumidor.

Nível 3 – determinado pela obtenção de 50% a 90% de retorno dos produtos após a utilização pelo consumidor.

Nível 4 – determinado pela obtenção de 90% a 100% de retorno dos produtos após a utilização pelo consumidor.

4.2.5 Indicador 5A: Consumo eficiente de materiais - CEM e Indicador 5B: Utilização de materiais de fonte renovável - UMFR (Princípio 5: Usam materiais e recursos parcimoniosamente)

Os seres vivos criam estruturas duradouras, ajustam forma à função, criando exatamente o que precisam com o uso mínimo de materiais sem excesso. Para Benyus (2006), a tendência atual em direção à desmaterialização faculta às empresas o uso de menos material para fabricar produtos mais leves, menores, menos complexos, com menos componentes e mais inteligentes capazes de realizar muitas funções. Tudo que signifique aumentar a utilidade e a vida útil do produto além de diminuir o consumo de água e energia durante esta fase de uso. Assim, os especialistas do design ecológico preveem produtos multifuncionais, multiconfiguráveis, duráveis, econômicos, que possam ser de fácil manutenção, ser substituídos por serviços, servir a vários usuários (uso compartilhado), que tenham interface ergonômica e agreguem valor estético, fortalecendo sua relação com o usuário.

Portanto, Benyus (2006) sugere uma situação que pode ser chamada de *leasing* como estilo de vida. Para a autora, as pessoas não querem possuir um aquecedor, uma geladeira, ou um aparelho de TV e sim aquecimento, refrigeração e diversão. Esse estilo sugere que as empresas sejam responsáveis pelo fornecimento ininterrupto do serviço, e que seus produtos

sejam mais confiáveis, próprios para tarefas pesadas, fáceis de consertar e atualizar ou modernizar.

Portanto, será mensurada a eficiência no consumo de materiais e o percentual de materiais renováveis utilizados, através das seguintes fórmulas, dadas através das Equações 6 e 7:

$$CEM = \frac{mt}{pt} \quad (6)$$

$$UMFR = \frac{\sum_{i=1}^n mr_i}{\sum_{i=1}^n mt} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

CEM: consumo eficiente de materiais

UMFR: utilização de materiais de fonte renovável

mr_i: quantidade utilizada do material da fonte renovável *i*

mt = quantidade utilizada de materiais totais ($\sum mr_i + \sum mnr_i + \sum mre_i$)

mnr_i: quantidade utilizada do materiais de fonte não renovável *i*

mre_i: quantidade utilizada do material de fonte reciclada *i*

pt: total de produtos

As quantidades de materiais de fontes renováveis e não renováveis utilizadas serão obtidas a partir da Tabela 1, sugerida para cálculo do primeiro indicador, que quantifica e classifica as entradas de materiais na empresa.

Padrões de referência para o indicador consumo eficiente de materiais

Considerando a eficiência no consumo de materiais, a nota máxima será obtida quando o valor resultante desse indicador for no mínimo igual ao melhor índice encontrado como *benchmark*. O pior desempenho será obtido pelo maior nível de consumo de materiais por produto, encontrado no levantamento do *benchmark*. Portanto, para cada setor industrial, serão identificados competidores com melhor e pior índice de eficiência, na produção específica. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pelo índice de menor desempenho a ser levantado no mercado.

Nível 2 – determinado pela obtenção de desempenho inferior à média aritmética dos dois *benchmarks* escolhidos.

Nível 3 – determinado pela obtenção de desempenho superior à média aritmética dos dois *benchmarks* escolhidos.

Nível 4 – determinado pela obtenção do melhor índice encontrado como *benchmark*.

Padrões de referência para o indicador utilização de materiais renováveis pelo total de materiais utilizados

A nota máxima será obtida quando a empresa promover entre 90% e 100% de utilização de materiais renováveis. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado por 0% a 20% de utilização de materiais renováveis ([0,20[).

Nível 2 – determinado pela utilização de mais de 20% e menos de 50% de materiais renováveis (] 20, 50 [).

Nível 3 – determinado pela utilização de mais de 50% e menos de 90% de materiais renováveis ([50, 90[).

Nível 4 – determinado pela utilização de 90% a 100% de materiais renováveis ([90, 100]).

4.2.6 Indicador 6: Substância tóxica por produto - STP (Princípio 6: Não sujam sua morada)

Para Fenzl (1998), o problema crucial das sociedades industriais modernas é o input de substâncias que não derivam do ciclo biológico recente, senão de processos industriais e de reservas geológicas (carvão, petróleo, gás natural, minérios, etc.). Essas substâncias produzem emissões e tipos de rejeitos com grande potencial tóxico e muito difíceis de eliminar.

Segundo Benyus (2006), na natureza não há acúmulo de substâncias tóxicas, ao contrário, estas são produzidas em pequenas doses e somente quando necessário. Tal qual a natureza, a autora recomenda que, enquanto não se consiga eliminar totalmente ou achar substitutos para os produtos tóxicos, estes sejam produzidos em pequenas quantidades onde e quando for preciso. De modo que se reduza a preocupação com o armazenamento de grandes volumes e, conseqüentemente, riscos de vazamento, podendo isso ser chamado de químicos sob demanda. Ou seja, deve-se continuar a busca pela redução do uso das substâncias tóxicas

como insumos e também a geração de resíduos tóxicos provenientes do processo. Isso pode ser obtido através da substituição de produtos ou mudanças de processos.

O indicador proposto para esta questão irá medir a quantidade de substâncias tóxicas utilizadas para a fabricação do produto final, na busca da diminuição gradativa do uso das mesmas. Pretende-se com esse indicador buscar substituição das substâncias tóxicas, além da redução dos seus estoques.

A fórmula para o cálculo da quantidade de uso é demonstrada na Equação 8:

$$STP = \frac{\sum_{i=1}^n stu_i}{p} \quad (8)$$

Onde:

STP: substância tóxica por produto

stu_i : substância tóxica i utilizada

p = produto

Como método para a obtenção desse indicador, sugere-se que a empresa consulte o Regulamento sobre o Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos – REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*), disponível em http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/index_en.htm.

Padrões de referência para o indicador substância tóxica por produto

A nota máxima será obtida quando o valor resultante desse indicador for igual zero, o que equivale dizer que não foi utilizada substância tóxica na fabricação do produto. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pela obtenção do resultado obtido a partir do atendimento de padrões legais (ABNT, IBAMA, FEPAN, etc).

Nível 2 – determinado pela obtenção do resultado de uma redução de 1/3 do valor estipulado nos padrões legais.

Nível 3 – determinado pela obtenção do resultado de uma redução de 2/3 do valor estipulado nos padrões legais.

Nível 4 – determinado pela obtenção do resultado igual a zero.

4.2.7 Indicador 7: Reuso da água – RA (Princípio 7: Não esgotam recursos)

O fundamento do Princípio que gerou esse indicador expõe a importância da preservação dos recursos naturais, estabelecendo que não se deve utilizar os não renováveis de forma mais rápida do que a Terra pode produzi-los. E, para os renováveis, não usá-los mais rápido do que ela pode recompô-los (BENYUS, 2006).

O aspecto da atividade industrial que será medido nesse indicador é a água, por ser na natureza um bem essencial à vida em todas as suas formas. Segundo Hawken (1999), apesar de três quartos do planeta Terra estar coberto por água, a água doce e limpa vem escasseando por causa da grande poluição causada pelas atividades humanas. Para o autor, as economias globais cometem com a água o mesmo erro que cometem com a energia, esgotam os estoques não renováveis e insistem em procurar mais água em vez de utilizar fontes de modo mais produtivo.

A água, um recurso natural, apesar de renovável, é muito explorada na maioria dos países industriais. A intensidade do consumo de água se deve principalmente ao uso para refrigeração na produção de energia elétrica térmica, como meio de transporte para todas as formas de emissões e dejetos, irrigação em países com intensa agroindústria, e como solvente nos mais diversos processos industriais (FENZEL, 1998).

O reuso da água é uma oportunidade para combinar redução de custos, melhoria do gerenciamento e redução de consumo (LEMOS, 1999). O reuso e a conservação da água deve ser estimulada nas indústrias, através da utilização de processos industriais e de sistemas com baixo consumo, e que possibilitem a recuperação e o reuso.

O consumo industrial é bastante expressivo e, até alguns anos atrás, as indústrias respondiam pelo maior teor de contaminação em termos de carga orgânica e inorgânica. Quanto à contaminação, esse quadro se amenizou pelos esforços implementados pelo setor industrial em estações de tratamento de efluentes líquidos. Quanto aos volumes consumidos, os processos de recuperação e de reutilização da água alteraram também o impacto da indústria sobre esse recurso (HAWKEN, 1999).

Essas pautas determinaram a escolha do indicador quantidade de água reutilizada como elemento a ser monitorado pelo indicador aqui proposto, ou seja, toda a água que sai do processo é reutilizada na própria empresa após o seu tratamento. Com isso, não há emissões de efluentes líquidos. Portanto, a fórmula para o cálculo desse indicador é demonstrada através da Equação 9:

$$RA = \frac{Q_{agreu}}{\sum_{n=1}^n Q_{agt_i} - Q_{ap}} \quad (9)$$

em que:

RA: Reuso da água

Q_{agreu}: quantidade de água reutilizada e reciclada;

Q_{agt_i}: consumo total de água de cada proveniência *i* (superficial, subterrânea ou rede pública) expresso;

Q_{ap}: quantidade de água retida no produto.

Para efeito deste indicador não foi considerada a perda por evaporação, que não representaria necessariamente uma ineficiência da empresa. Pode ser proposto um índice de evaporação para as etapas do processo. Perdas, por exemplo, por infiltração que decorrem de ineficiência de processo, são visualizadas através do indicador.

Padrões de referência para o indicador reuso da água

A nota máxima será obtida quando a empresa promover de 90% a 100% de reutilização da água. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pela obtenção de um resultado de zero a 0,2 no indicador de reutilização da água.

Nível 2 – determinado pela obtenção de resultado entre 0,2 e 0,5.

Nível 3 – determinado pela obtenção do resultado maior que 0,5 e menor que 0,9.

Nível 4 – determinado pela obtenção do resultado maior que 0,9 e 1 ou seja, quase toda a água que saiu do processo e que não ficou no produto, foi reutilizada .

4.2.8 Indicador 8: Carbono sequestrado pela quantidade de gases de efeito estufa emitidos – CSGEE (Princípio 8: Mantêm-se em equilíbrio com a biosfera)

Na descrição do Princípio 8, Benyus (2006) trata do equilíbrio dinâmico que deve ser mantido nas emissões atmosféricas e ressalta a impossibilidade atual no sequestro da grande quantidade de gás carbônico que está sendo emitida e na questão do aumento da temperatura global.

Os principais gases do efeito estufa são o dióxido de carbono, o vapor d'água, o ozônio, o metano e o óxido nitroso. Esses gases surgem naturalmente e retêm parte do calor do Sol, causando um aquecimento, sem o qual não haveria vida no Planeta. A ausência desse fenômeno natural deixaria a Terra com uma temperatura de menos 20°C (GUESNERIE, 2003 *apud* COSTA, 2009).

Entretanto, aumentos substanciais dos gases do efeito estufa na atmosfera, especialmente do gás carbônico, resultaram no fenômeno chamado aquecimento global. O foco tem sido sobre tudo o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (NO₂), o ozônio (O₃) e os clorofluorcarbonetos (CFCs). Essas concentrações maiores de gases ocorrem como resultado da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento e elevam a temperatura da Terra e o nível dos mares (GUESNERIE, 2003 *apud* COSTA, 2009).

A importância dos gases do efeito estufa está em suas propriedades de absorção e emissão de radiação, que criam um escudo protetor na atmosfera. A potência de aquecimento global, que em inglês é o *Global Warming Potential* (GWP), é um índice proposto pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), que descreve as características radiativas dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e compara os gases entre si e seus diferentes impactos sobre o clima. Esse parâmetro representa o efeito combinado dos diferentes tempos que esses gases permanecem suspensos na atmosfera, além de sua eficiência relativa na absorção de radiação solar (radiação infravermelha).

Dessa forma, o GWP é um fator que mede as propriedades de eficiência radiativas (capacidade de absorver calor) de qualquer gás, no qual o CO₂ é a referência, portanto recebe o valor 1. Os gases comuns do efeito estufa têm GWPs maiores que o do CO₂. Uma molécula de CO₂ não tem a mesma capacidade de aquecer a atmosfera que uma molécula de outro gás do efeito estufa, visto que sua potência radiativa deriva de sua abundância e longevidade na atmosfera que varia entre 50 e 200 anos (IPCC, 2001 *apud* COSTA, 2009).

Depois do dióxido de carbono, é o metano que fornece a maior contribuição para o aquecimento global. Embora sua vida atmosférica seja de 12 anos, seu potencial de aquecimento é cerca de 20 vezes maior que o CO₂.

A proposição desse indicador é essencial na busca de um melhor desempenho ambiental, pois promove a mudança para o uso de energias renováveis. Segundo Benyus (2006), apesar de muitos alegarem que a energia renovável é mais cara e que sua expansão tem despendido de subsídios e de metas estabelecidas pelos governos, o fato é que a indústria dos combustíveis fósseis não está pagando o preço pela poluição que produz. Acredita-se que uma vez que os esquemas de comercialização de crédito de carbono estiverem estabelecidos

de forma global, as indústrias de energia renovável ficarão cada vez mais competitivas e atrairão capital para pesquisas que, posteriormente, promoverão reduções de custo.

Atualmente, as quantidades de gases emitidas pelas empresas são obtidas com base em medições diretas de sistemas de monitoramento colocados nas saídas dos gases ou através de balanços de massa ou na literatura sobre casos análogos.

O cálculo desse indicador será o somatório da quantidade de carbono sequestrado, dividido pelo somatório dos gases de efeito estufa emitidos, dada pela equação 10.

$$GSGEE = \frac{cs}{0,2727 \sum_{i=1}^n (gee_i \times GWP_i)} \quad (10)$$

Em que:

CSGEE: carbono sequestrado por gás de efeito estufa;

cs: quantidade de carbono sequestrado em kg de carbono;

gee_i: quantidade de gases de estufa *i* emitido em kg de carbono equivalente (eqC);

GWP_i: potencial de aquecimento do gás efeito estufa *i* obtido pela metodologia IPCC;

0,2727: índice obtido da metodologia IPCC que transforma a unidade dos gases em eqC.

A Tabela 8 apresenta o GWP de alguns gases do efeito estufa, em 100 anos, comparado com a mesma quantidade de CO₂ emitida ao mesmo tempo. Isso equivale a dizer que o metano (CH₄) tem um potencial 21 vezes maior que o CO₂ de causar dano ao ambiente, ou seja, emitir 1kg de metano tem o mesmo efeito que emitir 21 kg de CO₂. O óxido nitroso (N₂O) tem um potencial de dano 310 vezes maior que o CO₂, e assim por diante.

Tabela 8: Cálculo do GWP equivalente em CO₂ em 100 anos

Gás	Tempo de vida na atmosfera (anos)	GWP relativo/ CO ₂ (100 anos)
Dióxido e Monóxido de Carbono	50 a 200	1
Metano	9 a 15	21
Óxido nitroso	120	310
Perfluorcarbonetos	102	6.200 – 7.100
Hidrofluorcarbonetos	12	1.300-1.400
Hexafluoreto de enxofre	3.200	23.900

Fonte: IPCC (1996 *apud* COSTA, 2009, p. 47)

A unidade estipulada pelo IPCC para comunicar as quantidades dos GEE é o carbono equivalente, por ser o CO₂ o gás de referência. Por definição, 1kg de CO₂ possui 0,2727 kg de

carbono equivalente, já que considera apenas a massa das moléculas de carbono em um quilo de dióxido de carbono. Para os outros gases, o carbono equivalente é igual ao GWP relativo multiplicado por 0,2727 (COSTA, 2009).

Este indicador pretende avaliar o desempenho da empresa, tão somente. Na hipótese de se pretender ampliar esta análise para a cadeia produtiva como um todo, deveríamos utilizar o método da Análise do Ciclo de Vida do Produto.

Padrões de referência para o indicador gases de efeito estufa emitidos pela quantidade de carbono sequestrado

A nota máxima será obtida quando o valor resultante desse indicador for maior que 1, o que equivale dizer que a empresa está sequestrando mais carbono do que emitindo. Propõe-se uma classificação em quatro níveis da seguinte forma:

Nível 1 – determinado pela obtenção do resultado igual a zero, ou seja, não sequestra carbono.

Nível 2 – determinado pela obtenção do resultado num valor entre zero e um.

Nível 3 – determinado pela obtenção do resultado igual a 1, ou seja, a empresa está sequestrando exatamente o que está emitindo.

Nível 4 – determinado pela obtenção do resultado maior que 1.

4.2.9 Indicador 9: Informações intra e extra organização – IIEO (Princípio 9: Operam com base em informações)

Segundo Benyus (2006), comunidades maduras, assim como empresas inovadoras e produtivas, têm canais de comunicação eficazes, que transmitem informações e geram *feedback* a todos os membros, influenciando-lhes à marcha na direção da sustentabilidade. Ou seja, a indústria deve gerar informações voltadas a medir os seus impactos no meio ambiente, de forma a perseguir a sustentabilidade ambiental.

Conforme Benyus (2006), a disseminação ampla das informações e a estruturação de um sistema de *feedback* eficaz permitem que mudanças ocorridas ou promovidas por um indivíduo da comunidade reflitam no todo, o que facilita adaptação quando o meio sofre alteração.

Para medir a aderência a esse Princípio, foi convencionado que será identificada a atuação da empresa no tocante à geração de informações que demonstrem o desempenho ambiental por ela promovido, assim como o seu envolvimento na disseminação e *feedback*.

Informações sobre desempenho ambiental, disseminadas através da produção de relatórios, jornais, revistas, sites e mídia, a estruturação de programas de treinamento para funcionários e *stakeholders*, a obtenção de selos ambientais, são alguns exemplos de como a empresa pode abrir canais de comunicação com os públicos interno e externo. O meio em si não é o fator mais importante, porque o que importa na verdade é que a empresa chegue com informações aos públicos relevantes. O *feedback* ocorre por uma atitude da empresa aberta para receber críticas, contribuições e prestar informações de forma transparente; podendo utilizar, para tanto, os canais de comunicação mais apropriados para ela e para seu público alvo.

PÚBLICOS	RESPONSÁVEL	O QUE COMUNICAR	VEÍCULOS DE COMUNICAÇÃO
Órgão de Controle Ambiental	Setor de Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Política do Meio Ambiente. ✓ Licenciamento ambiental ✓ Eventos em que haja impactos ambientais significativos de escala global. Excesso do padrão de emissão estabelecido por legislação ambiental (obtido através de monitoramento). ✓ Mudanças nas atividades, produtos e serviços que impliquem em alteração nas condicionantes do meio ambiente, novas licenças. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Correspondência ✓ E-mail ✓ Website ✓ Relatório Anual
Colaboradores	Setor de Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Política do Meio Ambiente. ✓ Aspectos Ambientais Significativos de suas atividades. ✓ Plano de Atuação de Emergência. ✓ Sistema de Comunicação Ambiental. ✓ Coleta Seletiva. ✓ Principais ações de proteção ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Intranet ✓ Revista Corporativa ✓ Jornal de parede ✓ E-mail
Prestadores de Serviços /Terceiros	Setor de Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Política do Meio Ambiente. ✓ Requisitos de Qualificação ambiental (exigências atuais e futuras), quando aplicável. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reuniões ✓ Treinamentos ✓ Palestras ✓ Jornal de parede
Fornecedores	Suprimentos Local	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Política do Meio Ambiente. ✓ Requisitos de Qualificação ambiental (exigências atuais e futuras), quando aplicável. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Visitas dos compradores ✓ Website
Mercado de Capitais	Meio Ambiente Comunicação Social Relações com Investidores	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Política do Meio Ambiente. ✓ Requisitos de Qualificação ambiental (exigências atuais e futuras), quando aplicável. ✓ Principais ações de proteção ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Website ✓ Relatório Anual

continua

continuação

PÚBLICOS	RESPONSÁVEL	O QUE COMUNICAR	VEÍCULOS DE COMUNICAÇÃO
Clientes / Consumidores	Comunicação Social /Marketing	✓Política do Meio Ambiente.	✓Website
Órgão Certificador	Setor de Meio Ambiente	✓Política do Meio Ambiente. ✓Pendência administrativa, ação judicial ou condenação, inquérito civil, inquérito policial ou procedimento penal relacionados a questões ambientais pertinentes a suas atividades, produtos ou serviços.	✓Correspondência ✓Website ✓Correspondências ✓Documentos
Comunidade Local	Setor de Meio Ambiente	✓Política do Meio Ambiente. ✓Eventos em que haja impactos ambientais significativos de escala global.	✓Website ✓Relatório Anual
Público em geral	Comunicação Social	✓Política do Meio Ambiente	✓Website

Quadro 34: Matriz de comunicação**Fonte:** Cardoso *et al.* (2007, p.43)

Propõe-se os indicadores constantes neste trabalho, por sua relevância, como base das informações a serem geradas e disseminadas pela empresa, além de outras com caráter relevante, como atualizações tecnológicas. O Quadro 34 ilustra um exemplo de informações que podem ser disseminadas pela empresa, com o público a ser comunicado, o que comunicar e o meio de comunicação mais adequado.

Avaliar a qualidade da informação gerada e disseminada pela empresa é alvo de interesse dos sistemas de governança corporativa e é fiscalizado pelas auditorias externas. Saliente-se que este tipo de informação é cada vez mais exigido pela sociedade

Padrões de referência para o indicador informações intra e extra organização

A empresa deverá proceder a verificação dos mecanismos utilizados para a sua comunicação promovendo a identificação do nível em que se encontra assinalando diretamente no Quadro 35.

Padrões de referência			
Geração e disseminação interna e externa da informação com <i>feedback</i>			
Nível 1 – pontuação 1	Nível 2 – pontuação 2	Nível 3 – pontuação 3	Nível 4 – pontuação 4
Não gera informação.	Gera e não dissemina as informações.	Gera e dissemina internamente as informações.	Gera e dissemina interna e externamente promovendo <i>feedback</i> .
		x	

Quadro 35: Critério de avaliação do indicador informações com *feedback***Fonte:** Elaborado pela autora

4.2.10 Indicador 10: Modais de transporte – MT (Princípio 10: Consomem recursos do próprio habitat)

Com esse indicador, pretende-se avaliar a eficácia no transporte dos produtos da indústria em decorrência da escolha do modal logístico utilizado. O objetivo indireto a ser perseguido é a redução do consumo de combustível e das emissões geradas. Nesse Princípio, Benyus (2006) explica que a natureza utiliza baixo consumo de energia, por exemplo, os nutrientes de um tronco de árvore, em decomposição, são levados para o solo pela água da chuva que, por sua vez, nasce pelo efeito da evaporação promovida pela energia solar. Pode-se concluir que a natureza usa sabiamente todo o sistema a sua disposição, sempre com o conceito de eficiência no uso do recurso natural presente. Assim, a eficiência no uso do recurso é bem mais importante que as distâncias a serem percorridas.

Exemplo se encontra nas aves migratórias ou peixes que chegam a percorrer distâncias continentais na busca de clima propício a sua reprodução e alimentação. Certamente, nessas viagens, preceitos de eficiência são praticados inclusive pelos grupos como um todo, tendo em vista o desafio pela sobrevivência contido em grandes deslocamentos. Nesse sentido, observa-se que, igualmente, a água da chuva percorre enormes distâncias como vapor de água, assim como a energia proveniente da luz do sol.

Transportando esse princípio da natureza para a atividade empresarial, apreende-se que as grandes distâncias não são por si só fator limitante, mas exigem soluções inteligentes no sentido de minimizar o consumo de energia. Portanto, no caso do transporte de materiais e produtos, é necessária a gestão eficaz da busca do modal mais adequado, com melhor índice de consumo de combustível, a exemplo dos modais marítimo e ferroviário. Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ (2008), o transporte hidroviário possui muitas vantagens em relação ao transporte rodoviário, tais como maior eficiência energética com menor consumo de combustível e menor emissão de gases poluentes, maior capacidade de concentração de cargas, maior vida útil da infraestrutura e equipamentos e menor impacto ambiental. A Figura 13 apresenta uma comparação, dos aspectos ambientais, entre os modais de transporte hidroviário, ferroviário e rodoviário.

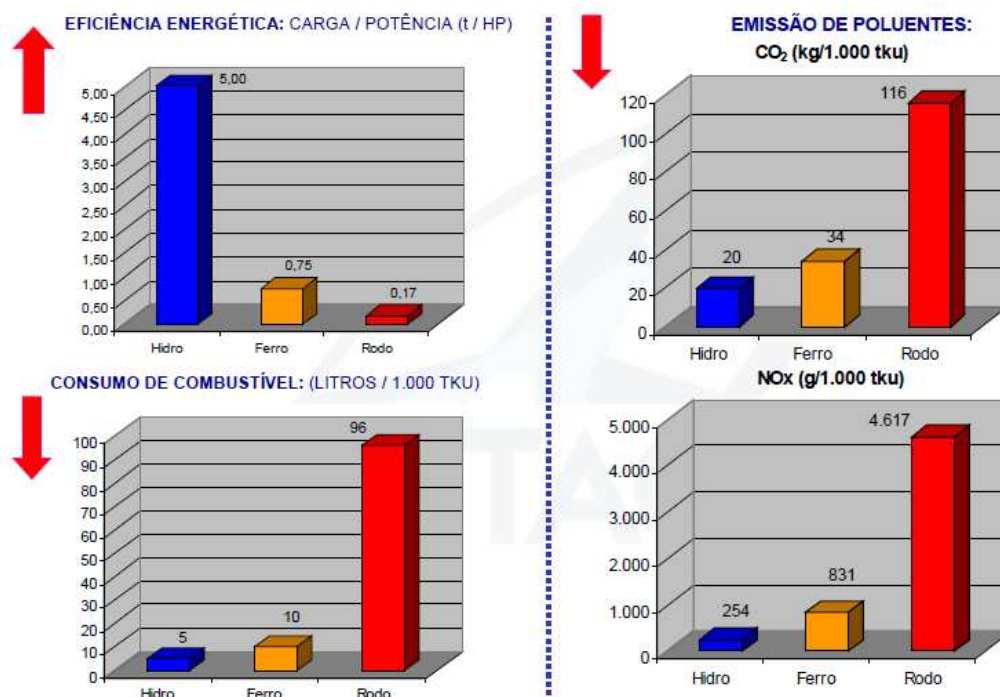


Figura 12: Comparação dos aspectos ambientais entre os modais de transporte
Fonte: ANTAQ (2008, p. 6)

Quanto ao aspecto econômico, Marino e Scare (1999) citam que, para longas distâncias, o frete unitário ferroviário (US\$ / t Km) apresenta-se 36% inferior ao rodoviário, e o hidroviário 58%. Ao se comparar o modal ferroviário com o hidroviário, observa-se uma economia de 35% favorável ao último. Para obtenção de eficiência no sistema de transportes, deve-se conjugar os vários modais, utilizando-se ao máximo as vantagens específicas de cada um, como a flexibilidade do rodoviário e a economia em longas distâncias do hidroviário.

Assim, a conveniência competitiva alinha-se com a necessária sustentabilidade ambiental. Quanto maior for a distância, os modais hidroviário e ferroviário apresentam melhor índice no consumo de combustíveis, bem como preços mais competitivos, comparados com o rodoviário. Assim, a busca de maior eficiência resulta em menores emissões atmosféricas.

Deve também ser considerado que a disponibilidade de modais está relacionada às condições naturais, proximidade de fluxos de água, por exemplo, assim como de investimentos públicos e privados em ferrovias e rodovias. Dessa forma, a situação de cada indústria é diferente, peculiar e necessita de um bom conhecimento no sentido de aproveitar ao máximo as condições do seu entorno.

Cabe explicar que, através desse indicador, pretende-se avaliar indiretamente o consumo de combustíveis pela escolha do modal de transporte mais eficiente.

Padrões de referência para o indicador modal de transporte utilizado

Considerando que o objetivo a ser perseguido é a adequada escolha do modal de transporte utilizado pela empresa, propõe-se que a empresa determine as distâncias médias percorridas por modal de transporte que utiliza, ou seja, calcule as distâncias médias percorridas pelas vias rodoviária, ferroviária e hidroviária. A proposta desse indicador é de que a empresa busque a utilização do modal mais eficiente, em termos de consumo de combustível, considerando as distâncias a serem percorridas pelos seus produtos e a disponibilidade de modal de transporte na sua região de influência, apesar de que o fator tempo tem relevância para a escolha do modal rodoviário. O modal hidroviário é aquele que apresenta maior nível de eficiência no consumo de combustível, seguido pelo modal ferroviário. O objetivo é que a empresa diversifique a utilização de modais optando pelo modal de maior eficiência no consumo de combustíveis. Assim, a proposta é fazer com que a empresa calcule, a partir de sistema de gestão, os níveis de eficiência que ela pode atingir a partir das quantidades de produtos transportados, distâncias a serem percorridas e ofertas de modais de transporte, tendo como meta o menor consumo de combustíveis por unidade de produto transportada. Este indicador poderá evoluir para uma medição que contemple o consumo de combustíveis, os tempos decorridos e outros impactos que possam estar inseridos dentro de cada modal de transporte.

Dessa forma, a empresa deverá assinalar diretamente no nível, conforme o Quadro 36, sua situação em relação ao modal de transporte utilizado.

Padrões de referência			
Modal de transporte utilizado			
Nível 1 – pontuação 1	Nível 2 – pontuação 2	Nível 3 – pontuação 3	Nível 4 – pontuação 4
Determinado pela utilização exclusiva do modal rodoviário.	Determinado pela utilização de mais de um modal de transporte disponível.	Determinado pela utilização de todos os modais disponíveis.	Determinado pela utilização eficiente dos modais disponíveis, a partir da implantação de sistema de gestão.
x			

Quadro 36: Critério de avaliação do indicador modal de transporte

Fonte: elaborado pela autora

Na seção seguinte, será possível identificar a consolidação do conjunto de indicadores.

4.3 CONSOLIDAÇÃO DO SISTEMA DE INDICADORES

Ao percorrer o caminho pautado pelos dez Princípios dos Sistemas Naturais Maduros, identificou-se, em cada um deles, as variáveis da atividade industrial que impactam o meio ambiente. A partir dos princípios que fundamentam o funcionamento da natureza, foram sugeridos indicadores capazes de orientar as decisões estratégicas da empresa na busca de um melhor desempenho ambiental.

Ao analisar os indicadores de desempenho ambiental produzidos pelos diversos organismos observou-se que há convergência no tocante à identificação dos aspectos da atividade industrial que produzem impactos no meio ambiente afetando a qualidade da água, do ar, biodiversidade e assim por diante. Nesse contexto, ficou demonstrado que a construção da maioria dos indicadores encontrados obedeceu ao modelo explicitado pela OECD que considera a relação de causa e efeito dada por: pressão, estado e resposta. Ao examinar as avaliações de Benyus (2006) no tocante aos Sistemas do Tipo III, tratando da contaminação da água, do ar e da perda da biodiversidade, foi possível notar que os conjuntos de indicadores propostos pelas organizações possuem identidade com essas questões e que são caracterizadas como de estado. Benyus (2006) analisa a pressão exercida pela atividade industrial e propõe como resposta a utilização das estratégias contidas nos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros.

Nesse ponto, pode-se caracterizar como respostas das indústrias aos efeitos dos impactos de suas atividades sobre o meio ambiente, é proposta por Benyus (2006) uma abordagem estratégica diferenciada daquelas utilizadas até então, centradas em princípios de redução, de aumento de eficiência, entre outras. Procurou-se entender, então, os conteúdos estratégicos contidos em cada um dos Princípios e, a partir da sua compreensão, construir uma proposta estratégica que alinhasse o comportamento da natureza com objetivos industriais.

Assim, foi possível propor indicadores para a atividade industrial, sempre considerando a metodologia e os conjuntos de indicadores analisados e apresentados neste trabalho. Essa lógica foi empregada em cada um dos Princípios de forma a identificar em cada um deles o aspecto a ser medido, o objetivo a ser atingido e as variáveis correspondentes, para então propor um indicador. Definidos os indicadores, foram, então, propostos padrões de referência para medir o seu comportamento atendendo os objetivos estratégicos inerentes aos Sistemas do Tipo III.

A construção dessa proposta de indicadores propiciou que fosse sinalizada a possibilidade de alinhamento do objetivo de buscar o aumento da eficiência e da competitividade com as reduções dos impactos ambientais. Valorizou-se a importância da avaliação do desempenho ambiental proposto por diferentes e importantes organizações de caráter mundial, para, a partir das estratégias dos Sistemas Naturais Maduros do tipo III, possibilitar a construção dessa proposta de Conjunto de Indicadores. A sua incorporação às estratégias empresariais, refletindo diretamente na elaboração das suas políticas e de seus objetivos contribuirão para o atingimento das metas ambientais almejadas pela sociedade, sem descuidar da competitividade.

Para a consolidação dos resultados e obtenção de uma visão geral da situação da empresa em relação aos Princípios dos Sistemas Tipo III, foi simulado um exemplo onde foram arbitrados aleatoriamente resultados para os indicadores e comparados com os padrões de referência definidos para cada indicador, gerando o Quadro 37.

Princípio	Indicadores Propostos	Resultado da aplicação do indicador	Nível Correspondente
1. Usam resíduos como recursos	1. Reutilização dos resíduos (%)	25	2
2. Diversificam-se e cooperam para o uso completo do habitat	2. Índice de inserção em redes de cooperação (qualitativo)	1,65	2
3. Assimilam e usam energia eficientemente	3A. Consumo eficiente de energia (GJ/t)	1,9	2
	3B. Consumo de energia de fontes renováveis (%)	60	3
4. Aperfeiçoam, em vez de explorar ao máximo gerar menos	4. Reaproveitamento do produto final descartado pelo consumidor (kg)	20	1
5. Usam materiais e recursos parcimoniosamente	5A. Consumo eficiente de materiais (kg)	1,5	2
	5B. Utilização de materiais renováveis pelo total de materiais utilizados (%)	25	2
6. Não sujam sua morada	6. Substâncias tóxicas consumidas por unidade de produto (%)	3	2
7. Não esgotam recursos	7. Reuso da água (m ³)	0,92	4

continua

continuação

Princípio	Indicadores Propostos	Resultado da aplicação do indicador	Nível Correspondente
8. Mantêm-se em equilíbrio com a biosfera	8. Quantidade de carbono sequestrado sobre a quantidade de gases de efeito estufa emitida (kg em EqC)	0,05	2
9. Operam com base em informações	9. Informações intra e extra organização (qualitativo)	1	1
10. Consomem recursos do próprio habitat	10. Modal de transporte utilizado (%)	2	2

Quadro 37: Exemplo para consolidação dos resultados dos indicadores

Fonte: Elaborado pela autora

A partir dessa simulação e para uma visualização do desempenho conjunto dos indicadores, foi estruturado um gráfico, Tipo Radar, representado na Figura 14. A proposta é que a empresa aplique os indicadores sistematicamente tendo como meta o atingimento do Nível 4, utilizando as estratégias contidas nos Princípios do Sistema do Tipo III.

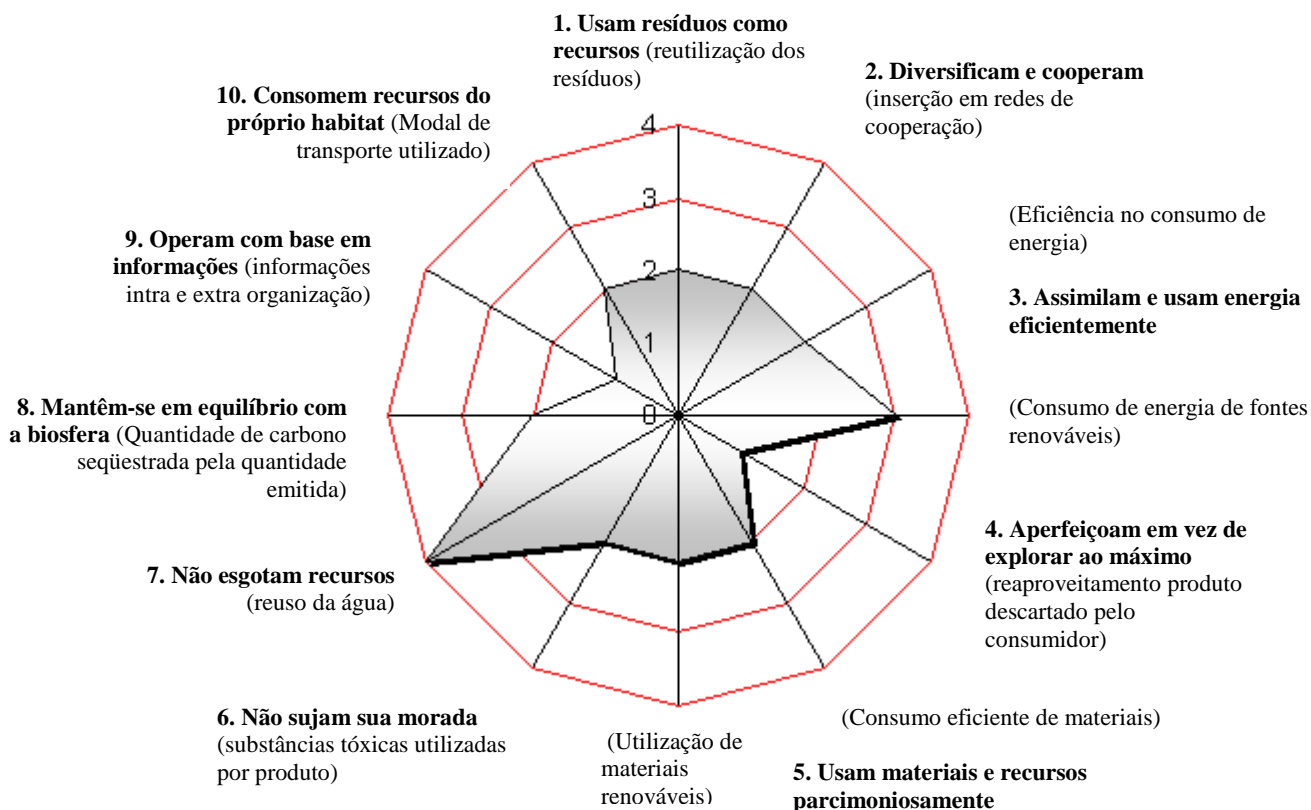


Figura 13: Exemplo ilustrativo da representação gráfica do resultado final

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Pantaleão (2003)

A partir do exemplo ilustrado neste gráfico, é possível identificar, de forma global, o comportamento da empresa relacionado com a qualidade do meio ambiente, possibilitando analisar a sua atuação para a proposição de mudanças, a partir do foco estratégico contido nos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros do Tipo III. Em função da dificuldade na obtenção de dados que possam servir de *benchmark* para avaliar o desempenho da empresa, propõe-se a análise comparativa interna a ser obtida após sucessivas aplicações do conjunto de indicadores.

Na sequência, apresentam-se as considerações finais deste estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao escolher o tema desta dissertação, tinha-se presente a sua importância e atualidade, em virtude das posições assumidas pelos Países propondo mudanças no comportamento da humanidade com relação ao meio ambiente. As mudanças climáticas, trazendo no seu bojo fortes reações da natureza, promovendo devastações, além da crescente escassez de recursos naturais, levaram cientistas a promoverem alertas sobre os cenários preocupantes que o homem terá que enfrentar.

Dentro dessas discussões, alguns autores são notados por trazerem um foco diferenciado na sua análise envolvendo as atividades humanas e o meio ambiente, destacando-se Capra (2007) e Benyus (2006). Especialmente estes dois autores mobilizaram a construção deste trabalho para tentar entender e analisar o comportamento do setor industrial sob a ótica estratégica dos Sistemas Naturais Maduros do Tipo III, objetivando propor um Conjunto de Indicadores para a sua avaliação. Ficou claro que esse objetivo só seria alcançado após analisar as propostas de indicadores existentes, assim como depois da análise da visão estratégica contida na obra desses dois autores.

Esta dissertação apresentou as abordagens da Eco-eficiência, da Produção Mais Limpa, da Produção Limpa, das Normas ISO, da Ecologia Industrial, da Metodologia Zeri e da Biomimética na gestão ambiental dos processos produtivos industriais. A análise comparativa entre elas permitiu que fossem percebidas algumas similaridades. Por exemplo, a Eco-eficiência busca compatibilidade entre a sustentabilidade e competitividade, assim como a Metodologia Zeri. A Produção Mais Limpa e as Normas ISO se apresentam necessárias para o alcance dos objetivos das demais abordagens, pois aplicam melhorias contínuas na busca da eficiência dos processos produtivos. Segundo Benyus (2006), a Biomimética é totalmente compatível com a Ecologia industrial, pois ambas pregam a utilização dos modelos dos sistemas naturais aplicados aos sistemas produtivos. A Produção Limpa, a Metodologia Zeri, a Ecologia Industrial e a Biomimética são semelhantes nas suas proposições na não geração de resíduos, no não uso de substâncias tóxicas e no uso de materiais e energias de fontes renováveis.

O desenvolvimento de indicadores baseados nos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros é uma proposta inicial que deve ser aprofundada por parte do meio acadêmico e industrial. A dificuldade no atingimento das metas previstas para esses indicadores pode representar um distanciamento das estratégias que embasam a operação do sistema industrial,

sempre buscando aumentar sua competitividade, daquelas que norteiam os Princípios dos Sistemas Naturais Maduros, o que poderá ser elemento de restrição, a ser afastado, para a aceitação da proposta contida nesta dissertação. Essa dificuldade levou a considerar de que a utilização dos indicadores já existentes pode não atender integralmente as estratégias dos Princípios Naturais Maduros, ou seja, faz-se necessário avaliar a necessidade da construção de novos indicadores.

Dessa forma, em função das limitações deste trabalho e para avaliação e consolidação desta proposta, sugere-se a realização de estudos complementares, como:

- Construção de uma proposta de indicadores específicos para atender aos Princípios dos Sistemas do Tipo III.

- Aplicação dos indicadores propostos em uma empresa, com objetivo de desenvolver procedimentos de aplicação, ampliar e adequar esses indicadores conforme a realidade da empresa.

- Levantamento de dados para estruturar um *benchmark* para ser utilizado por indústrias de uma determinada região, por setor de atividade industrial.

- Ampliação da proposta de indicadores para as dimensões social e econômica, de forma a avaliar o desempenho sustentável da atividade industrial.

As análises pesquisadas demonstraram uma preocupação em encontrar respostas para minimizar os impactos ambientais produzidos pelas atividades industriais lastreadas em estratégias tradicionais. Estratégias estas vinculadas aos objetivos de redução de geração de resíduos, de emissões e, assim por diante, através de aumentos na eficiência dos processos. Por outro lado, tradicionalmente, soluções foram buscadas na destinação, especialmente de resíduos sólidos, no tratamento e reutilização de água e em sistemas de filtros e de reduções de emissões. Esses movimentos estiveram sempre lastreados nas estratégias tradicionais, vinculadas à eficiência quantitativa a ser obtida através da mudança nos processos. Considera-se que a busca pelos indicadores que avaliassem o comportamento da atividade industrial em seu aspecto ambiental, traduziram uma mudança em relação ao foco das estratégias tradicionais e demandam um esforço no sentido da construção de indicadores específicos.

Esse desafio levou a uma necessária reavaliação dos resultados observados com os indicadores ambientais tradicionais e dos objetivos da atividade industrial, considerando os princípios estratégicos seguidos pelos seres que compõem a natureza. Assim, analisa-se o desempenho de aspectos da atividade industrial sob a ótica de um padrão de eficiência que contempla uma estratégia diferenciada contida nos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros, base de todo este trabalho. Certamente, essa concepção poderá contribuir de uma forma

eficaz, para o desenvolvimento da dimensão ambiental da sustentabilidade a partir da atividade industrial. A hipótese de estender a aplicação da estratégia dos Princípios a todo ciclo de vida dos produtos remete a necessidade de envolvimento de todos os elos da cadeia.

Portanto, considera-se que esse trabalho explicitou a demanda pela construção de indicadores que correspondam às estratégias contidas nos Princípios dos Sistemas Naturais Maduros e espera-se que esta dissertação possa motivar a ampliação dos estudos sobre a aplicação de modelos naturais propostos pela Biomimética.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. **NBR ISO 14000**: Sistemas da Gestão Ambiental - ISO 14031- Avaliação de desempenho Ambiental. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004.

_____. **NBR ISO 14040**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 10 p.

ABREU, Monica C. **Modelo de avaliação da estratégia ambiental**: uma ferramenta para tomada de decisão. 2001. 217 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

ACEVEDO, C. R; NOHARA J. J. **Monografia no curso de administração**. São Paulo: Atlas, 2004.

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA/SP. Rio de Janeiro, 1992.

AMATO, J. N. **Redes de Cooperação Produtiva e Clusters Regionais**. Oportunidades para as pequenas e médias empresas. São Paulo: Atlas, 2000.

ANDRADE, Aurélio L. *et al.* **Pensamento sistêmico**: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ANTAG. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. Cenário Atual do Transporte Hidroviário Brasileiro. São Paulo: [s.n.], 2008.

ARAUJO, E. *et al.* **Ecologia industrial**: um pouco de história. São Paulo: Universidade Paulista LaFTA – Laboratório de Físico-Química Teórica e Aplicada, 2008.

BARRERA-ROLDAN, A.; SALDÍVAR-VALDES, A. Proposal and Application of a Sustainable Development Index. **Ecological Indicators**, v. 2, p. 251-256, 2002.

BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade**: Uma análise comparativa. 2002. 220f. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

BENYUS, Janine. **Biomimética, inovação inspirada pela natureza**. São Paulo: Cultrix, 2006.

BOBSIN, Marco Aurélio. **Gestão de segurança, meio ambiente e saúde**: proposta de estrutura de sistema e metodologia de avaliação de desempenho. 2005. 154f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Gestão, UFF, Niterói, 2005.

BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> . Acesso em: 20 maio 2009.

CAIXETA. **A Questão do Transporte em um Contexto Logístico in**: Competitividade no Agribusiness Brasileiro. Programa de Estudos dos Negócios do Sistema Agroindustrial (PENSA). FEA/USP. 1998.

CALIA, C.; MÜLLER, G. Estrutura organizacional para a difusão da produção mais limpa: uma contribuição da metodologia seis sigma na constituição de redes intra-organizacionais. **Gestão & Produção**. v.13, n.3, p.531-543, set.-dez. 2006.

CAMPOS, L. M. S.; MELO, D. A.; MEURER, S.A. A Importância dos indicadores de desempenho ambiental nos sistemas de gestão ambiental. **Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente** – ENGEMA, 2007.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova concepção científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 1996.

_____. **O ponto de mutação**: a ciência, a sociedade e a cultura emergente. São Paulo: Cultrix, 2007.

CARDOSO, C.; KOCH C. JAWORSKI L.; PASSOS M. CASCAES S. **Efetividade da ISO 14001 em uma indústria siderúrgica de grande porte**. Trabalho de Conclusão (MBA em GESTÃO AMBIENTAL) – Pós-Graduação Lato Sensu, Programa Fundação Getúlio Vargas Management, Porto alegre, RS, 2007.

CARDOSO, L. M. F. **Indicadores de produção limpa**: uma proposta para análise de relatórios ambientais nas empresas. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) – Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, UFB, Salvador, 2004.

CECCHIN, C. **Reuso de água**: Um modelo proposto para a redução de consumo de água industrial através da metodologia do gerenciamento de processos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

CERVO, A.L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997. 104 p.

CHIAVENATO, I. **Administração de Empresas**: uma Abordagem Contingencial. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

CNTL. CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS. **Manual 7**: indicadores ambientais e plano de monitoramento. Porto Alegre: [s.n.], 2001.

COSTA, Márcio M. **Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço**. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2002.

COSTA, Thelmo V. A. M. **AGRIPEC**: Um modelo para estimar custos economicos e emissões de gases de efeito - estufa para a pecuária bovina brasileira. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, CDS. Brasília, 2009.

DAROIT, D.; NASCIMENTO, L. F. **A Busca da Qualidade Ambiental como Incentivo à Produção de Inovações**. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

DRACK, M. **Bionics and Ecodesign**: how are materials used in nature, and what can thus be applied to sustainable product design. in: Brebbia, C., Sucharov, L., Pascolo, P., Design and Nature: Comparing Design in Nature with Science and Engineering (Design and Nature). Computational Mechanics, Inc. 2002.

ELKINGTON, John. **Canibais com Garfo e Faca**. São Paulo: Makron Books, 2001.

FENZL, N. O Conceito de Desenvolvimento Sustentável em Sistemas Abertos. **Poematropic**, v.1, n.1, 1998.

FIRJAN. **Manual de Indicadores Ambientais** – Instrumentos de Gestão Ambiental. RJ, 2008. Disponível em:
<<http://www.firjan.org.br/data/pages/2C908CE9234D9BDA01235323AED4570A.htm>>.
Acesso em: 15 jan. 2010.

GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. **Environmental Modelling & Assessment**, p.101-117, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

GLOBAL REPORTING INICAITIVE. Disponível em: <<http://www.globalreporting.org>>. Acesso em: 16 nov. 2009.

GRAEDEL, T.; ALLENBY, B. **Design for Environment**. Prentice Hall, 1995.

_____; _____. **Industrial Ecology**. 2. ed. Prentice Hall, 2003.

HAMMOND, A. *et al.* **Environmental indicators**. World Resources Institute. Washington D.C, 1995. Disponível em: <http://www.wri.org/pubs/pubs_description.cfm?pid=2516>. Acesso em: 15 maio 2009.

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L.H. **Capitalismo Natural**. São Paulo: Cultrix e Amana-Key, 1996.

HENKEL, Carina. **A identificação de aspectos e impactos ambientais**: proposta de um método de aplicação. 2002. 139f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

INSEMANN, Ralf. Industrial ecology: shedding more light on its perspective of understanding nature as model. USA: **Sustainable Development**, v.11, n.3, p.143-158, 2003.

KIPERSTOK, Asher. Sustentabilidade Ambiental: Produção e Consumo. **Revista ciências exatas**. Taubaté, v. 12, n. 2, p. 141-150, 2006.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1995.

LEMOS, A. D.; NASCIMENTO, Luis Felipe Machado do. A Produção Mais Limpa Como Geradora de Inovação e Competitividade. **RAC - Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro/RJ, v. 3, n. 1, p. 23-46, 1999.

LODATO, F. The nature of design. **Design Management Review**. 16, 56 – 61, 2005.

LUZ, S. O. C.; SELBITTO, M. A.; GOMES, L. P. Medição de desempenho ambiental baseada em método multicriterial de apoio à decisão: estudo de caso na indústria automotiva. **Gestão e Produção**. v. 3, n. 13, p. 557-570, 2006.

MACIEL, C. B. **Avaliação da Geração do Resíduo Sólido Areia de Fundição Visando sua Minimização na Empresa Metalcorte Metalúrgica – Fundição**. 2005 104f. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

MAGALHÃES, M. T. Q. **Metodologia para desenvolvimento de sistema de indicadores: uma aplicação no planejamento da política nacional de transportes**. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UB, Brasília, 2004.

MARINO, M.; SCARE, R. Logística de distribuição de suco de laranja concentrado como fator de vantagem competitiva. **IV SEMEAD**, São Paulo, 1999.

MEDEIROS, J. B. **Redação Científica**. 11 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MELLO, M.; NASCIMENTO, L. F. Produção mais limpa: um impulso para a inovação e a obtenção de vantagens competitivas. **ENEGEP**, Porto Alegre, 2002.

MELO, D. A. **Indicadores de desempenho ambiental: um estudo sobre a utilização dos indicadores nos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) em empresas catarinenses certificadas pela NBR ISO 14001**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, UVI, Biguaçu, 2006.

MORAES, C. A. M. *et al.* Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice husk ash in mortar coating. **Resources, Conservation and Recycling**, 2010.

NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – **Avaliação do Impacto Ambiental – Princípios e Aplicações**, nov./2002.

OECD - Organization For Economic Co-operation and Development. **Indicators for environmental performance reviews**. Paris. OECD, 1994. Disponível em: <<http://www.oecdwash.org>>. Acesso em: 15 jun. 2009.

_____. **Key Environmental Indicators**. Paris. OECD. 2001. Disponível em: <<http://www.oecd.org>>. Acesso em: 05 jan. 2010.

PANTALEÃO, L. H. **Desenvolvimento de um modelo de diagnóstico do nível de aprendizagem organizacional do sistema Toyota de Produção (Lean Production System): um estudo de caso em uma empresa metal-mecânica do Rio Grande do Sul**. 2003. Dissertação (Mestrado em Administração) - Programa de Pós Graduação em Administração, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2003.

PAULI, Günter. **Emissão Zero: A Busca de Novos Paradigmas**. Porto Alegre: PUCRS, 1996.

_____. **Upsizing**: Como gerar mais renda, criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição. Porto Alegre: L&PM Editores S/A, 2001.

PEGADO, C.; MELO, J. Avaliação do Desempenho Ambiental Mediante Transferência de Informação pelo “Rótulo Ecoblock”. **VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente**. Lisboa, 2003.

PIANKA, E. **Ecologia Evolutiva**. Barcelona: Ediciones Omega, 1982.

PIOTTO, Z. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel** - Estudo de Caso. 2003. 357 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SALABERRY, Rogério. **Emprego da Avaliação da Análise do Ciclo de Vida para levantamento dos desempenhos ambientais do biodiesel de girassol e do óleo diesel**. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SALDANHA, E. E. **Modelo de Avaliação da Sustentabilidade Socioambiental**. 2007. 122f. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SEI. **Indicadores de Sustentabilidade Ambiental**. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia e Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2006

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SOARES, M. A. R. **Biomimetismo e Ecodesign**: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis. 2008. 83f. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia, FCT-UNL, Lisboa, 2008.

STEEL INDUSTRY AND THE ENVIRONMENT. Technical and Management Issues. Technical Report No. 38, **International Iron and Steel Institute**, Bélgica, 1997. 155 pp.

TEIXEIRA, M. **Aplicação de Conceitos da Ecologia Industrial para Produção de Materiais Ecológicos**: O exemplo do Resíduo de Madeira. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, DEA-UFBA, Bahia, 2005.

TOCCHETTO, M. *et al.*. Estratégias para Redução de Consumo de Água nas Grandes Empresas com Atividades Galvânicas no Rio Grande do Sul. **Tecno-Lógica** (UNISC), v. 8, p. 29-42, 2004.

UNITED NATIONS. **Commission of Sustainable Development –CSD**. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isd.htm>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

_____. Environment Programme –UNEP. **Development of environmental indicators**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

_____. **Indicators of sustainable development: framework and methodologies**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

_____. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/indicadores/>>. Acesso em: 03 abr. 2009.

VALLE, J. A. *et al.* **Sistemas de Produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookmann, 2008.

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of Sustainable Production: Framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, n. 9, p. 519-549, 2001. Disponível em: <[HTTP://sciencedirect.com/science](http://sciencedirect.com/science)>. Acesso em: 4 mar. 2010.

WORLD BANK. **World Development Indicators**. Disponível em: <<http://devdata.worldbank.org/wdi2006/contents/Section3.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2009.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS

NÍVEL MESTRADO

AUTORIZAÇÃO

Eu Tânia Cristina Campanhol Sette CPF 59205792004 autorizo o Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas da UNISINOS, a disponibilizar a Dissertação de minha autoria sob o título Desenvolvimento de uma Proposta de Indicadores para Avaliação do Desempenho Ambiental dos Processos Produtivos Industriais sob a Ótica da Biomimética, orientada pelo professor doutor Luis Henrique Rodrigues, para:

Consulta Sim Não

Empréstimo Sim Não

Reprodução:

Parcial Sim Não

Total Sim Não

Divulgar e disponibilizar na Internet gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, o texto integral da minha Dissertação citada acima, no *site* do Programa, para fins de leitura e/ou impressão pela Internet.

Parcial Sim Não

Total Sim Não

Em caso afirmativo, especifique:

Sumário: Sim Não

Resumo: Sim Não

Capítulos: Sim Não Quais _____

Bibliografia: Sim Não

Anexos: Sim Não

São Leopoldo, 27/09/2010

Assinatura do Autor

Visto do Orientador