

DEISE VIANA MASTELLA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE BLOCOS
CERÂMICOS E DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL, ATRAVÉS
DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA**

FLORIANÓPOLIS

2002

DEISE VIANA MASTELLA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE BLOCOS
CERÂMICOS E DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL, ATRAVÉS
DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Philippe Gleize

Co-orientador: Prof. Dr. Sebastião Soares

FLORIANÓPOLIS

2002

MASTELLA, Deise Viana. *Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da análise do ciclo de vida*. Florianópolis, 2002. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Philippe Jean Paul Gleize
Defesa: 11/10/02

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 11/10/2002 pela comissão examinadora:

Prof. Dr. Philippe Jean Paul Gleize – Orientador – Moderador

Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares – Co-orientador

Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna

Prof. Ricardo Rüter, PhD

*“Seja bendito o nome do Senhor Deus para todo sempre,
porque Dele é a sabedoria e a força; Ele muda os tempos e as horas,
remove e estabelece os reis; Ele dá sabedoria aos sábios e ciência
aos inteligentes.*

*Ele revela o profundo e o escondido e conhece o que está em
trevas, pois com Ele mora a luz.*

*Óh Deus de meus pais, eu te louvo e celebro porque me deste
sabedoria e força; e agora, me fizeste saber o que te pedi, porque me
fizeste saber este assunto.”*

Daniel cap.2 vers. 20 a 23

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu Deus que tem me sustentado, não me fazendo exigências absurdas, mas sim carregou-me no colo quando não pude andar, deu-me consolo nos momentos difíceis, nos momentos de felicidade colocou pessoas certas para regozijar comigo, e a única exigência que me foi feita, é de confiar que Ele pode fazer coisas maravilhosas por mim.

Aos meus familiares que me entenderam nos momentos de ausência, e torceram pelas minhas conquistas, minha virtuosa mãe Gertrudes, minha irmã primogênita Patrícia, meu querido irmão Moisés e meu irmãozinho Jonas.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Philippe Gleize, por sua compreensão e disposição em ajudar em todos os momentos. Também ao professor Dr. Sebastião Soares pela sua indispensável ajuda.

As Industrias de blocos que ajudaram com dados e informações sobre os processos de produção, em especial a Blocaus, na pessoa do engenheiro Gerson Lindner, e a Cerâmica Bosse, na pessoa do Sr. Werner Bosse, que muito contribuírem para o êxito desta pesquisa.

E não poderia deixar de mencionar a MEUNI – missão de evangelismo universitário – que apesar de não citar aqui o nome de todos os componentes, pois poderia me esquecer de algum sendo que todos foram maravilhosos, mas representando este grupo agradeço a Aninha, Elisa, Evelyn, Fran, Gisela, Lídia, Patty e Rafael, que contribuíram muito para a realização deste trabalho, talvez sem saber o quanto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE TABELAS | viii |
| LISTA DE FOTOS | ix |
| LISTA DE GRÁFICOS | x |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES | xi |
| RESUMO | xii |
| ABSTRACT | xii |
| 1.INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Importância e justificativa da pesquisa..... | 2 |
| 1.2. Objetivos..... | 2 |
| 1.2.1. Objetivo geral..... | 2 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.3. Limitação do trabalho..... | 4 |
| 1.4. Estrutura do trabalho..... | 6 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 7 |
| 2.1. Desenvolvimento sustentável..... | 8 |
| 2.1.1. Sustentabilidade na construção civil..... | 9 |
| 2.2. Marketing ambiental..... | 12 |
| 2.3. Normas ISO 14000 - Gestão Ambiental..... | 14 |
| 2.4. Ciclo de vida de edificações..... | 17 |
| 2.5. Análise do ciclo de vida de produtos..... | 19 |
| 2.5.1 Definição..... | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.2. O uso da ACV para gerenciamento ambiental..... | 22 |
| 2.5.3. Dificuldades com a ACV..... | 26 |
| 2.6. Processos de produção de materiais..... | 30 |
| 2.6.1. Consumo de energia..... | 31 |
| 2.6.2. Consumo de minerais não combustíveis..... | 31 |
| 3. MÉTODO PROPOSTO..... | 35 |
| 3.1. Método de estabelecimento dos balanços ecológicos..... | 35 |
| 3.1.1. Estruturação do ciclo de vida de um produto..... | 35 |
| 3.1.2. Escolha da unidade funcional..... | 36 |
| 3.1.3. Regulamento de realização do balanço matéria-energia..... | 37 |
| 3.1.4. Elaboração do balanço das conseqüências ecológicas..... | 41 |
| 3.1.4.1. Perdas de matérias-primas..... | 42 |
| 3.1.4.2. Conseqüências ecológicas dos efluentes..... | 42 |
| 3.1.4.2.1. Impactos tóxicos..... | 43 |
| 3.1.4.3. Impactos do confinamento de dejetos..... | 45 |
| 3.2. Procedimento de comparação dos produtos para análises multicritério dos balanços ecológicos..... | 46 |
| 3.2.1. Apresentação das diferentes metodologias de análise multicritério..... | 46 |
| 3.2.2. Conceitos básicos da análise multicritério..... | 48 |
| 3.2.3. Escolha de um método de análise multicritério..... | 52 |
| 3.2.3.1. Métodos de análise multicritério..... | 52 |
| 3.2.3.2. Critérios de escolha de um método de análise multicritério..... | 58 |
| 3.2.3.3. Método Electre IS..... | 60 |
| 3.3. Esquematização do método de avaliação comparativa dos impactos ambientais | |

| | |
|---|------------|
| do ciclo de vida de produtos..... | 77 |
| 4. APLICAÇÃO DO MÉTODO..... | 79 |
| 4.1. Considerações iniciais..... | 79 |
| 4.1.1. Coleta de dados..... | 80 |
| 4.2. Determinação da unidade funcional..... | 81 |
| 4.3. Balanço de matéria-energia..... | 82 |
| 4.3.1. Sistemas energéticos..... | 82 |
| 4.3.2. Balanço matéria-energia da produção dos blocos..... | 83 |
| 4.3.2.1. Blocos de concreto..... | 83 |
| 4.3.2.2. Blocos cerâmicos..... | 87 |
| 4.4. Balanços das consequências ecológicas e resultados da análise multicritério – Electre IS..... | 94 |
| 4.5. Apresentação dos resultados..... | 97 |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 98 |
| 5.1. Conclusões..... | 98 |
| 5.2. Recomendações..... | 100 |
| 5.2.1. Para trabalhos futuros..... | 100 |
| 5.2.2. Para interpretação e uso deste trabalho..... | 101 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 103 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 01: Limites da pesquisa..... | 5 |
| Figura 02: Estratégias e ações para construção sustentável..... | 12 |
| Figura 03: Mudanças empresariais através da conscientização ambiental..... | 14 |
| Figura 04: Subcomitês e grupos de trabalho TC 207 da ISO..... | 15 |
| Figura 05: Série de Normas ISO 14000..... | 16 |
| Figura 06: Estágios do ciclo de vida de uma edificação..... | 18 |
| Figura 07: Análise do inventário..... | 18 |
| Figura 08: Inventário do Ciclo de Vida..... | 20 |
| Figura 09: Matriz de Avaliação do Produto..... | 25 |
| Figura 10: Abrangência do ciclo de vida..... | 28 |
| Figura 11: O conhecimento científico e o julgamento de valores..... | 29 |
| Figura 12: Qualidade na aquisição de materiais..... | 34 |
| Figura 13: Sub-sistemas..... | 39 |
| Figura 14: Noções de indiferença, preferência e incompatibilidade..... | 47 |
| Figura 15: Variações de $C_j(a, b)$ e de $C_j(b, a)$ em função de $g_j(b)$ | 64 |
| Figura 16: $C_3(a_4, x)$ em função de $g_3(a_4)$ | 66 |
| Figura 17: Matrizes de concordância..... | 67 |
| Figura 18: Tabela de concordância..... | 68 |
| Figura 19: Variação do reforço do limite crítico (w_j) em função do índice global de concordância $C(a, b)$ | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 20: Matrizes de concordância..... | 72 |
| Figura 21: Tabela de discordância..... | 73 |
| Figura 22: Tabela de superação..... | 75 |
| Figura 23: Diagrama dos resultados..... | 75 |
| Figura 24: Diagrama do exemplo..... | 76 |
| Figura 25: Layout de uma indústria de blocos de concreto..... | 83 |
| Figura 26: Fluxograma do processo de produção de blocos de concreto..... | 86 |
| Figura 27: Layout de uma indústria de blocos cerâmicos..... | 88 |
| Figura 28: Fluxograma do processo de produção de blocos cerâmicos..... | 90 |
| Figura 29: Diagrama de representação do resultado final..... | 97 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01: Tipos de antropossistemas..... | 35 |
| Tabela 02: Modelagem das quatro situações fundamentais de preferência..... | 46 |
| Tabela 03: Conseqüências ecológicas das ações do ciclo de vida de um produto..... | 48 |
| Tabela 04: Tipologia dos métodos de análise multicritério..... | 53 |
| Tabela 05: Características de alguns métodos de análise multicritério..... | 57 |
| Tabela 06: Matriz de avaliação..... | 62 |
| Tabela 07: Limites associados aos critérios..... | 63 |
| Tabela 08: Índices de concordância para seus respectivos intervalos..... | 64 |
| Tabela 09: Dados comparativos entre os produtos de estudo..... | 79 |
| Tabela 10: Unidade funcional..... | 81 |
| Tabela 11: Balanço da produção de blocos de concreto..... | 87 |
| Tabela 12: Balanço da produção de blocos cerâmicos..... | 91 |
| Tabela 13: Balanço global de matéria do ciclo de vida dos blocos..... | 92 |
| Tabela 14: Matriz de avaliação..... | 94 |
| Tabela 15: Matriz simplificada de avaliação..... | 94 |
| Tabela 16: Limites e pesos dos critérios..... | 95 |
| Tabela 17: Matrizes de concordância para os respectivos critérios..... | 95 |
| Tabela 18: Matriz de concordância..... | 96 |
| Tabela 19: Matrizes de discordância para os respectivos critérios..... | 96 |
| Tabela 20: Matriz de discordância..... | 96 |
| Tabela 21: Matriz de superação..... | 97 |

LISTA DE FOTOS

| | |
|--|----|
| Foto 01: Baias de agregados..... | 84 |
| Foto 02: Corrêa transportadora..... | 85 |
| Foto 03: Pátio para armazenagem paletizada dos blocos..... | 85 |
| Foto 04: Baias de argilas..... | 89 |
| Foto 05: Esteira para transporte interno dos blocos cerâmicos..... | 89 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 01: Consumo de matérias-primas..... | 92 |
| Gráfico 02: Consumo de água..... | 92 |
| Gráfico 03: Consumo de energia elétrica..... | 93 |
| Gráfico 04: Emissões gasosas..... | 93 |
| Gráfico 05: Rejeitos sólidos..... | 93 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ACV – Análise do Ciclo de Vida

CIB – Conseil International du Bâtiment

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry

RESUMO

Nos últimos anos a preocupação com as intervenções negativas das atividades humanas no meio ambiente têm aumentado. Exigências legais e de mercado têm impulsionado o desenvolvimento de ferramentas de gerenciamento ambiental em busca de um melhor controle do processo de produção de produtos e materiais.

O presente trabalho aplica os conceitos de Análise do Ciclo de Vida de produtos para blocos cerâmicos e de concreto usados em alvenaria estrutural, com a finalidade de melhor entender as inter-relações da cadeia produtiva, identificando o material mais compatível com o meio ambiente quanto ao seu processo de produção. Para a análise dos processos, tomou-se por base a série ISO 14040 - Gerenciamento Ambiental: Análise do Ciclo de Vida; tal procedimento permite avaliar o desempenho ambiental de ambos os processos.

Dentro das condições expostas neste estudo de caso, o material mais compatível com o meio ambiente na fase de produção, é o bloco de concreto. Mas vale lembrar que o resultado não considera outras etapas do ciclo de vida além da produção, pois a intenção do trabalho é verificar a aplicabilidade do método.

O estudo proporciona resultados úteis em subsidiar escolhas por materiais mais compatíveis com o meio ambiente, valorizando aquelas indústrias que se preocupam em empregar tecnologias que favoreçam o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: análise do ciclo de vida, gerenciamento ambiental, ISO 14000, alvenaria estrutural, processo de produção, blocos cerâmicos, blocos de concreto.

ABSTRACT

In the last years the concern with the negative interventions of the human activities in the environment has been increasing. Legal and market requirements stimulate the development of environmental management tools seeking a better control of the production process of materials.

The present work applies the concepts of Life Cycle Analysis of products for structural clay and concrete blocks for masonry, with the purpose to better understand the interrelations of the productive chain, identifying the material which is most compatible with the environment, through the production process.

For the analysis of the processes, it was used the recommendations of the series ISO 14040 - Environmental Administration: Life Cycle Assessment. Such procedure allows to evaluate the environmental acting of both processes.

With the conditions exposed in this case study, the material more compatible with the environment in the production phase is the concrete block. But it is important to remember that the result doesn't consider other stages of the life cycle besides the production, because the intention of the work is to verify the application of the method.

The study provides useful results in subsidizing choices for materials more compatible with the environment, valuing those industries that worry in using technologies that favor a sustainable development.

Key-Word: life cycle analysis, environmental management, ISO 14000, ISO 14040, structural masonry, production process, clay blocks, concrete blocks.

1. INTRODUÇÃO

O tema meio ambiente assume uma posição de destaque entre as preocupações que afligem a sociedade, e vem sendo objeto de um processo de gradativa reavaliação. Atitudes isoladas em prol da preservação do meio em que vivemos, algumas radicais, outras até românticas, vão aos poucos cedendo espaço para abordagens mais racionais, objetivas e sistêmicas dos reais problemas causados pela poluição e pelos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente.

Segundo ATHENA - Instituto Canadense de Materiais Sustentáveis (2000), o setor da construção civil:

- é responsável por 10% da atividade econômica mundial;
- consome 40% da produção de materiais e energia do mundo;
- utiliza 17% da água potável disponível;
- consome 25% da produção mundial de madeira;
- é responsável, somente na União Européia, por aproximadamente 40% de todo

o desperdício gerado;

A busca pelo desenvolvimento sustentável coloca a indústria da construção em uma posição de vital importância para a sociedade. A edificação em si com suas respectivas necessidades de infra-estrutura como transporte, comunicação, abastecimento de água, saneamento básico, energia, atividades comerciais e industriais, são indispensáveis para atender o crescimento da população mundial.

A Agenda 21 on Sustainable Construction, publicada pelo CIB - Conseil International du Bâtiment, em julho de 1999, diz que este é o maior desafio para a indústria da construção e para a sociedade como um todo, e defende que a indústria da construção é o maior contribuinte para o desenvolvimento socio-econômico em cada país.

1.1. Importância e justificativa da pesquisa

Com a crescente preocupação com as questões ambientais, e em consequência o aumento das exigências legais atuais e futuras, o setor da construção civil deve estar preparado para enfrentar um mercado cada vez mais competitivo. Para isto as empresas do setor deverão ter a qualidade ambiental como diferencial na concorrência, tendo a conscientização de que a qualidade ambiental é parte da qualidade total, produzindo desenvolvimento econômico e mantendo o meio ambiente limpo e seguro.

Dada a inexistência de métodos que possibilitem a análise do ciclo de vida de blocos cerâmicos e de concreto usados em alvenaria estrutural, este trabalho torna-se útil em dar subsídios para a escolha do material menos agressivo ao meio ambiente quanto ao seu processo de produção.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo analisar a aplicabilidade de um método que possibilite a comparação de diferentes produtos com a mesma função, utilizando-se dos conceitos de análise do ciclo de vida de materiais para avaliar o processo de produção de blocos para alvenaria estrutural, bem como identificar e quantificar as emissões de

poluição tanto para blocos cerâmicos como para de concreto. Serão comparados seus resultados finais a fim de dar suporte aos usuários, sob o aspecto ambiental, para a opção por materiais que empreguem processos de produção que menos agridam o meio ambiente, buscando compor a edificação com materiais que desenvolvam práticas tecnológicas mais compatíveis com o meio ambiente.

1.2.2. Objetivos Específicos

No sentido de alcançar o objetivo geral, alguns pontos específicos serão analisados, tais como:

- conhecer e aplicar os conceitos do método de Análise do Ciclo de Vida de produtos;
- analisar o processo de produção utilizado pelas empresas selecionadas para o estudo de caso, tanto para blocos cerâmicos como para de concreto;
- identificar e quantificar insumos e matérias-primas necessários para a produção dos blocos;
- identificar, classificar e quantificar os indicadores de poluição ambiental produzidos pelos processos em estudo;
- estabelecer critérios de comparação e suas respectivas ponderações, considerando as peculiaridades do setor;
- comparar e avaliar os resultados obtidos;
- apresentar recomendações técnicas sobre a utilização dos conceitos da Análise do Ciclo de Vida para materiais de construção civil.

1.3. Limitação do trabalho

O presente trabalho restringe-se a aplicação dos conceitos de Análise do Ciclo de Vida como uma ferramenta comparativa das questões ambientais envolvidas no processo de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural.

Na medida em que para os materiais objeto deste estudo os impactos sobre o meio ambiente podem ser considerados como essencialmente ligados a sua fabricação, este estudo limita-se somente à fase de transformação das diferentes matérias-primas. Assim sendo, o ciclo de vida considerado se restringe a fase de produção.

Como entradas do processo de produção serão considerados apenas o consumo de energia, água e matérias-primas necessários para a produção do produto conforme a unidade funcional definida, não levando em conta para efeitos deste trabalho as possíveis emissões na fase de extração da matéria-prima, produção dos insumos ou no transporte e distribuição destes.

Como saídas consideraremos apenas as emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. Existem muitos outros indicadores que a análise do ciclo de vida pode considerar, como por exemplo, a saúde e o bem-estar dos operários e da comunidade vizinha (que são fatores indiretos de impactos ambientais), emissão de gases quando do transporte e distribuição do material da indústria para a obra, ruídos e resíduos pulverizados na fase de produção do material, que não serão considerados no presente estudo devido às limitações impostas quanto ao acesso às informações para obtenção de dados e dificuldades quanto a mensuração de valores ambientais.

Os limites do trabalho estão apresentados na Figura 01.

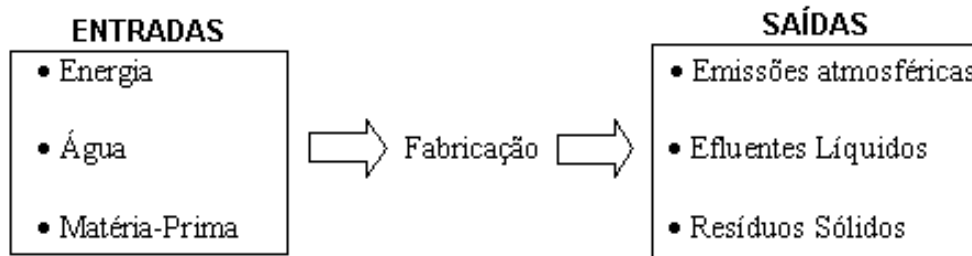


Figura 01: Limites da Pesquisa.

Quanto aos limites espaciais do tema, o trabalho apresenta-se na forma de um estudo de caso, onde serão analisados os processos de produção empregados por indústrias previamente selecionadas. Trabalhar-se-á com apenas uma indústria de blocos cerâmicos e uma de blocos de concreto, sendo as mais representativas da região de Florianópolis / SC, e sabendo-se que na região existem apenas duas indústrias que produzem blocos estruturais de concreto e uma que produz blocos cerâmicos para alvenaria estrutural.

A pesquisa apresenta limites temporais, revelando apenas a situação atual, por estar contextualizada na legislação vigente quanto às exigências legais de proteção ambiental, nível de conscientização dos usuários de materiais de construção civil e a tecnologia de produção disponível e empregada atualmente pelas indústrias do setor.

Enfim deve-se observar que o estudo é realizado considerando-se o funcionamento normal das instalações industriais, independentemente dos riscos de acidentes, devido à dificuldade de se quantificar sua probabilidade de ocorrência.

1.4. Estrutura do trabalho

Para atingir os objetivos apresentados, esta dissertação está dividida nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Introdução – apresenta aspectos gerais sobre as questões ambientais e a construção civil, a justificativa da pesquisa, limites do trabalho e organização da dissertação;
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica – abrange todo o embasamento teórico da pesquisa, como conceitos de desenvolvimento sustentável e gerenciamento ambiental;
- Capítulo 3: Método Proposto – apresenta o método utilizado para a comparação final e suas devidas adaptações para a realidade do trabalho;
- Capítulo 4: Aplicação do Método – é uma demonstração prática do método proposto, onde exemplificamos o uso dos conceitos apresentados, em um estudo de caso e apresentamos o resultado final;
- Capítulo 5: Conclusões e Recomendações – são tecidas algumas considerações e conclusões e apresenta-se recomendações tanto para trabalhos futuros como para o uso e interpretação deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O comprometimento das empresas com a questão ambiental acompanha o processo de globalização das relações econômicas, impulsionado a partir da década de 70. Faz parte da construção de uma ética global, partindo das sociedades mais prósperas, pois os fenômenos de poluição transcendem as fronteiras nacionais e afetam grandes extensões regionais e mesmo o planeta como um todo.

Com o fim da Guerra Fria e das disputas entre Ocidente e Oriente, o meio ambiente passou a ter grande destaque como tema de pressão internacional da parte de governos, de organizações não-governamentais, sindicatos e associações científicas. Pressões econômicas condicionam hoje financiamentos internacionais de projetos a seu potencial de impacto ambiental e o valor do seguro ao passivo ambiental e aos possíveis riscos ao meio ambiente. (GAZETA MERCANTIL, 20/03/96)

A difusão da consciência ambiental em todo o mundo resultou em uma maior cobrança da sociedade sobre o setor produtivo. Segundo FRONDIZI (1996), no ano 2000 o BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - completou 24 anos de incorporação da variável ambiental em suas análises de crédito. Ao aderir à Declaração dos Bancos sobre o Meio Ambiente e ao desenvolvimento sustentável, patrocinado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), da ONU, ratificou em nível internacional os esforços empreendidos na busca da internacionalização da variável ambiental em seus procedimentos.

O BNDES entende que poluição é sinônimo de desperdício e ineficiência produtiva, inaceitável numa economia aberta e competitiva. Neste sentido busca valorizar a

capacidade de uso racional e adequadamente planejado dos recursos naturais, bem como valorizar o capital genético que representa a biodiversidade brasileira, com investimentos em biotecnologia e fontes de energia renováveis. (FRONDIZI, 1996).

2.1. Desenvolvimento sustentável

Conforme o Relatório de Brundtland de 1987, apud CIB (1999), desenvolvimento sustentável significa "atender às necessidades da geração atual sem comprometer o direito das gerações futuras em atenderem suas próprias necessidades". Conforme VALLE (1996), nessa definição estão embutidos dois conceitos: o primeiro é o das necessidades, que podem variar de sociedade para sociedade, mas que devem ser satisfeitas para assegurar as condições essenciais de vida a todos; o segundo conceito é o de limitação, que reconhece a necessidade da tecnologia desenvolver soluções que conservem os recursos limitados atualmente disponíveis e que permita renová-los na medida em que eles sejam necessários às futuras gerações.

Na realidade a poluição industrial é uma forma de desperdício e um indício da ineficiência dos processos produtivos até agora utilizados. Resíduos industriais representam na maioria dos casos, perdas de matérias-primas e insumos. Na medida em que as empresas forem aderindo aos conceitos da Qualidade Total e se preocuparem mais com a eficiência de interesses técnicos, econômicos e comerciais, tenderão a reduzir a geração de seus poluentes. (VALLE, 1996).

Deve-se levar em conta que muitas das necessidades humanas atuais somente podem ser atendidas devido à industrialização de bens e serviços. Uma das razões disto é o elevado volume consumido. Durante muito tempo deu-se importância maior ao crescimento econômico do que à saúde e a qualidade de vida. E os prejuízos quanto ao meio ambiente,

quase sempre, eram transferidos para terceiros sem que houvesse compensação dos custos das ações corretivas necessárias. E não tendo motivação para alterar sua atitude, o poluidor mantinha sua conduta, cujos custos teriam que ser assumidos pela sociedade e pelas gerações futuras. Porém para se alcançar um real desenvolvimento econômico, a qualidade dos produtos e serviços deve ser compatível com o meio ambiente, proporcionando assim saúde, segurança e bem-estar social e econômico, que são indicadores da qualidade de vida, para conseqüentemente desenvolver o país, como um todo, de modo sustentável.

2.1.1. Sustentabilidade na construção civil

Construção Sustentável é visto como o modo que a indústria da construção responde em relação à prática do desenvolvimento sustentável, em seus vários aspectos como cultural e socio-econômico. (CIB, 1999). A busca pelo desenvolvimento sustentável impõe melhorias no desempenho ambiental da indústria da construção. Aprimoramentos nos padrões ambientais no setor da construção civil são mais difíceis do que em outros setores econômicos, devido ao fato, em quase todos os países, existir uma alta variação do nível técnico e do porte das empresas que constituem este setor.

Gerenciamento e organização

Segundo o CIB - Agenda 21 (1999), gerenciamento é o aspecto chave para a construção sustentável, não apenas como um termo técnico, mas também social, legal, econômico e político. Isto então o torna um tema complexo e de difícil abordagem devido à quantidade de inter-relações abrangidas, que é a principal característica do setor da construção civil, o número notável de atores envolvidos nas várias atividades do processo, desde a fase de extração da matéria-prima até a fase de desconstrução, reuso e reaproveitamento ou

demolição, descarte final e reciclagem, passando pelas fases de produção e operação de cada componente de uma edificação.

Produtos e materiais

A preocupação em otimizar as características de uma edificação depende, dentre outros fatores, de melhorias no desempenho sustentável dos produtos e materiais que a compõem. Considerando aspectos como cultura, tradição e estágio do desenvolvimento industrial local, a fabricação de produtos e materiais é preocupante, tanto pelo consumo de matérias-primas e energia incorporadas, pela emissão de poluentes, como pela capacidade de reciclabilidade do produto.

Consumo de recursos naturais

Água, energia e recursos minerais são bens preciosos e essenciais para o desenvolvimento econômico e para a sobrevivência humana. Não é em vão que governantes, nas últimas décadas, têm demonstrado preocupação e estimulado pesquisas para que se encontrem soluções de médio e longo prazo, capazes de contemplar as demandas que se apresentam e, provavelmente, se agravarão nos próximos anos.

A água é um bem econômico e um recurso finito e vulnerável, essencial para a sustentação da vida. Por isso requer uma gestão efetiva através de ações integradas e participativas que protejam os ecossistemas naturais, e ao mesmo tempo propiciem o desenvolvimento social e econômico. Segundo a FATMA - Fundação do Meio Ambiente do estado de Santa Catarina - 97% da água existente na terra é salgada, da água restante somente 1% está ao nosso alcance (na atmosfera, rios, lagos e depósitos subterrâneos).

O aumento no consumo de energia devido ao crescimento natural das cidades e ao incremento cada vez maior das atividades industriais, além da extensão das redes de

energia para o campo, exige ações emergenciais e a execução de obras planejadas para atender crescente demanda.

O uso de recursos minerais e a necessidade de transportes constituem-se fortes desafios para a racionalização do sistema. Critérios para a seleção de materiais recicláveis ou renováveis, deverão ser desenvolvidos.

Impactos positivos da construção civil no desenvolvimento urbano sustentável

As interferências do setor da construção civil no desenvolvimento urbano são de suprema importância, a fim de se garantir a qualidade de vida, apesar da intensificação urbana.

A provisão de infra-estrutura relacionada à qualidade do meio ambiente, qualidade de vida nos centros urbanos, qualidade da habitação e o crescimento urbano são determinantes na busca da sustentabilidade.

Desafios para a construção sustentável

O desafio da indústria da construção está em transformar a demanda pelo desenvolvimento sustentável em oportunidades de criar acessos a novos mercados, com respostas inovadoras que satisfaçam o novo perfil da sociedade.

Identificar novas práticas tecnológicas que satisfaçam as necessidades para a uma indústria moderna, competitiva, eficiente e socialmente comprometida, isto representa um enorme desafio, entretanto, a realização da construção sustentável irá depender da habilidade do setor em dirigir mudanças. (CIB, 1999).

Outros setores econômicos que já empregam técnicas compatíveis com o meio ambiente divulgam relatórios com resultados otimistas, devido às mudanças que vão desde o planejamento do projeto até a aplicação de melhores práticas de trabalho.

A Figura 02 mostra as inter-relações estratégicas para a obtenção da sustentabilidade no setor da construção civil.

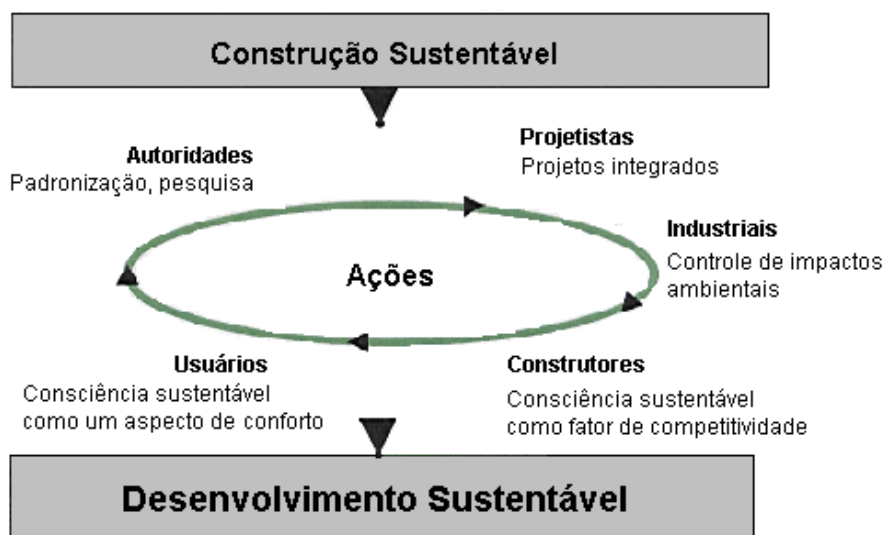


Figura 02: Estratégias e ações para construção sustentável (traduzido e adaptado CIB 1999)

2.2. Marketing ambiental

Tal como o resto do mundo, o *ecobusiness* brasileiro está em expansão, ainda que em menor intensidade, face a significativa parcela de consumidores de baixa renda, a relação preço/qualidade oferece aqui resultados diversos dos obtidos em países de economia avançada. Segundo publicado pela Gazeta Mercantil (Março/Abril, 1996), cerca de 40% da população pesquisada não possui um entendimento satisfatório sobre o significado de termos relacionados ao meio ambiente.

Os ecoprodutos ou produtos verdes sinalizam e refletem um novo paradigma de consumo, contrário à mentalidade de uso e descarte de produtos. O aumento da consciência ambiental da população é o vetor de crescimento deste mercado, além de uma extensa lista de produtos vendidos em função de sua imagem ambiental, o *ecobusiness* abrange, sob a mesma designação, a indústria de equipamento de controle de poluição, empresas de

serviços de despoluição e reciclagem, serviços de consultoria na área ambiental, ecoturismo, ramo imobiliário, entre tantos outros.

Segundo a GAZETA MERCANTIL, (08/05/96) as principais características de um produto ecologicamente correto são:

- consumo reduzido de matérias-primas e elevado índice de conteúdo reciclável;
- produção não poluidora e materiais não-tóxicos;
- não produz impacto negativo ou danos a espécies em extinção;
- baixo consumo de energia durante a produção/distribuição/uso/disposição final;
- embalagem mínima ou nula;
- possibilita reuso, reciclagem ou reabastecimento;
- período longo de uso, permitindo atualizações;
- permite coleta ou desmontagem após uso.

As empresas que pretendem manter-se competitivas e assegurar sua posição em um mercado cada vez, mas globalizado e exigente e que almejam ser líderes nos segmentos da economia em que atuam, não podem prescindir da Qualidade Ambiental como parte de sua imagem.

Segundo VALLE (1996), a conscientização ambiental dos dirigentes de uma empresa pode provocar alterações profundas em suas prioridades estratégicas que vão modificar o comportamento de todos os seus funcionários. A Figura 03 mostra, de forma esquemática, essas mudanças de abordagens motivadas pela conscientização ambiental.

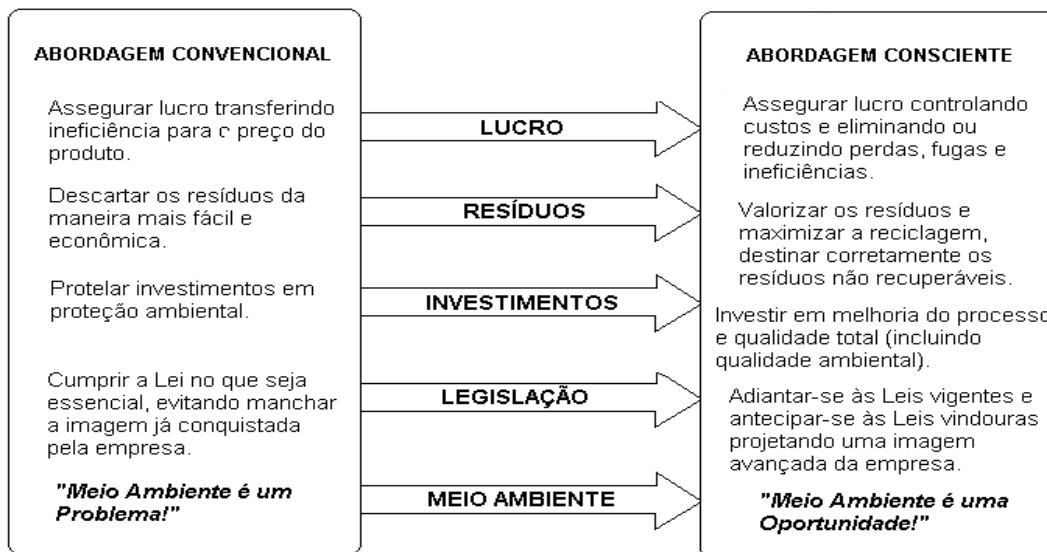


Figura 03: Mudanças empresariais através da conscientização ambiental. (VALLE, 1996).

2.3. Normas ISO 14000 - Gestão Ambiental

Durante a maior parte de sua história, a ISO (International Standard Organization) focalizou-se em normas técnicas de produtos. Em 1979, entretanto, ela voltou-se para a área de normas gerenciais, quando constituiu o Comitê Técnico 176 (ISO TC 176) para desenvolver normas globais para a gestão da qualidade. A intenção foi de harmonizar diferentes exigências conflitantes em sistemas de qualidade. O trabalho do TC 176 culminou em 1987 com a publicação das normas de qualidade ISO 9000, sendo que esta norma é, em grande parte, a precursora da ISO 14000. (TIBOR e FELDMAN, 1996).

Devido a aceitação da norma ISO 9000 de gestão e garantia da qualidade e pela proliferação de várias normas ambientais no mundo todo, a ISO despendeu atenção para a área de gestão ambiental.

A série ISO 14000, como a ISO 9000, focaliza-se nos processos necessários para alcançar resultados e não nos resultados em si. O objetivo, segundo TIBOR e FELDMAN (1996), é

umentar a confiança, de todos os interessados, em que a organização possui um sistema que provavelmente levará a um melhor desempenho ambiental.

A série ISO 14000, na organização do seu comitê técnico TC - 207 - Gestão Ambiental, encarregado da elaboração das normas e guias internacionais para o SGA - Sistema de Gerenciamento Ambiental, criou o subcomitê SC - 5 para a Avaliação do Ciclo de Vida que encontra-se sediado na França. (TAVARES, 1997). Como mostrado na Figura 04, vários dos subcomitês são ainda subdivididos em grupos de trabalho, dependendo do número de normas planejadas no escopo de trabalho de cada subcomitê.

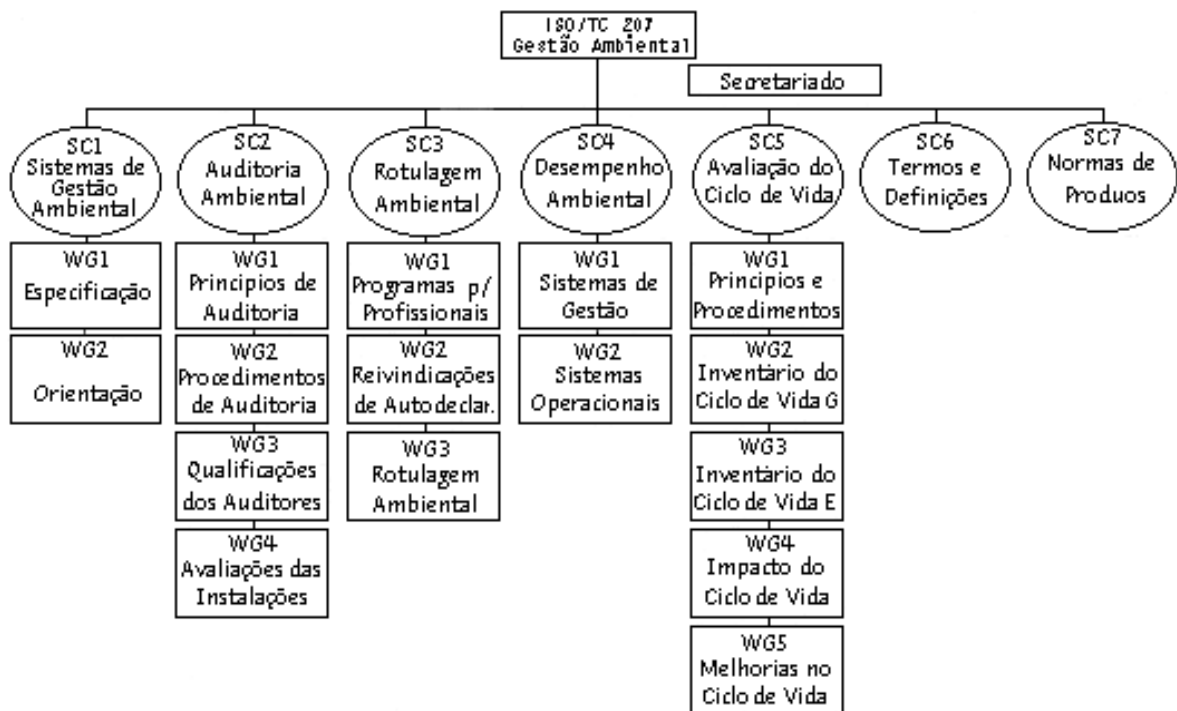


Figura 04: Subcomitês e grupos de trabalho TC 207 da ISO. (TIBOR e FELDMAN, 1996).

Deve-se ter sempre em conta que a série ISO 14000 não é uma coletânea de normas técnicas, mas sim um sistema de normas gerenciais e administrativas que contém um leque de alternativas, entre as quais se inclui a possibilidade de certificação dos produtos da

empresa. Para obter essa certificação de produtos existem, contudo, dois temas de grande importância a serem considerados: o Ciclo de Vida e a Rotulagem Ambiental.

Uma Análise do Ciclo de Vida¹ completa de um produto deve considerar todos os estágios de sua produção, identificando os efeitos sobre o meio ambiente de todos os componentes e processos envolvidos, a partir da extração das matérias-primas utilizadas, incluindo a energia consumida durante sua fabricação e em sua futura utilização.

A ACV, quando feita criteriosamente, pode constituir-se em um poderoso elemento de marketing para bons produtos e boas empresas. Pode, entretanto, se for utilizada com fins comerciais velados, constituir uma verdadeira barreira ambiental contra a utilização de certas matérias-primas e produtos intermediários. (VALLE, 1996).

A Figura 05 mostra, de forma esquemática, como está estruturada a série de normas ISO 14000, permitindo visualizar dois subgrupos básicos: normas que tratam da organização e do processo de produção e as normas que tratam dos produtos em si.

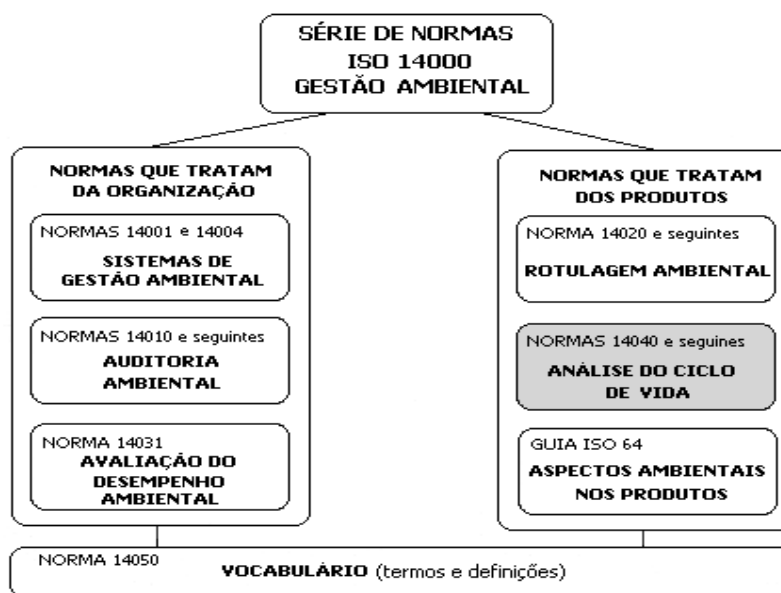


Figura 05: Série de Normas ISO 14000. (VALLE, 1996).

Para o estudo do ciclo de vida, a ISO 14000 apresenta a seguinte série de normas:

¹ Também designado pelas iniciais ACV ou, em inglês, LCA (Life Cycle Assessment).

- ISO 14040 - Análise do Ciclo de Vida: Princípios e Práticas Gerais;
- ISO 14041 - Análise do Ciclo de Vida: Análise do Inventário;
- ISO 14042 - Análise do Ciclo de Vida: Avaliação dos Impactos;
- ISO 14043 - Análise do Ciclo de Vida: Interpretação dos Resultados.

Conforme descrito por VALLE (1996), o intuito da série de normas ISO 14040 é estabelecer as interações entre as atividades produtivas e o meio ambiente, analisando o impacto causado pelos produtos, seus respectivos processos produtivos e serviços com eles relacionados, desde a extração dos recursos naturais até a disposição final. Trata-se, por conseguinte, de um enfoque sistêmico, em oposição à abordagem convencional da indústria que se restringe à análise dos atributos dos produtos que gera.

A metodologia proposta para Análise do Ciclo de Vida ainda não está plenamente consolidada, fato reconhecido pelos que elaboram as próprias normas.

O processo de ACV pode avaliar não somente os impactos causados ao meio ambiente como também identificar melhorias que deveriam ser introduzidas para reduzir esses impactos. (VALLE, 1996).

2.4. Ciclo de vida da edificação

A UIA (Union Internationale des Architectes) em seu congresso mundial de 1993, reconheceu que uma edificação representa impactos humanos ao meio ambiente e conseqüentemente na qualidade de vida de seus ocupantes. Se os princípios de sustentabilidade são incorporados aos projetos, dentre os benefícios decorrentes pode-se incluir a eficiência no uso de energia e matérias-primas, com o conseqüente fortalecimento da economia local. (ATHENA, 1996).

As figuras 06 e 07 mostram respectivamente, de forma esquemática, as etapas do ciclo de vida de uma edificação e as etapas da fase do inventário.

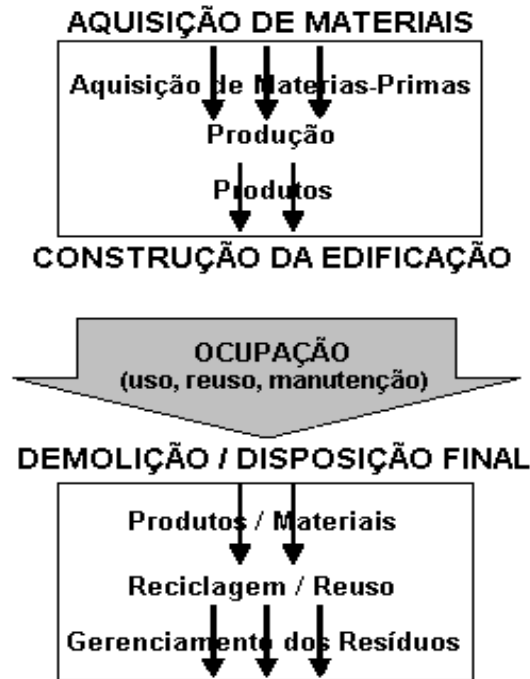


Figura 06: Estágios do ciclo de vida de uma edificação. (ATHENA, 2000).

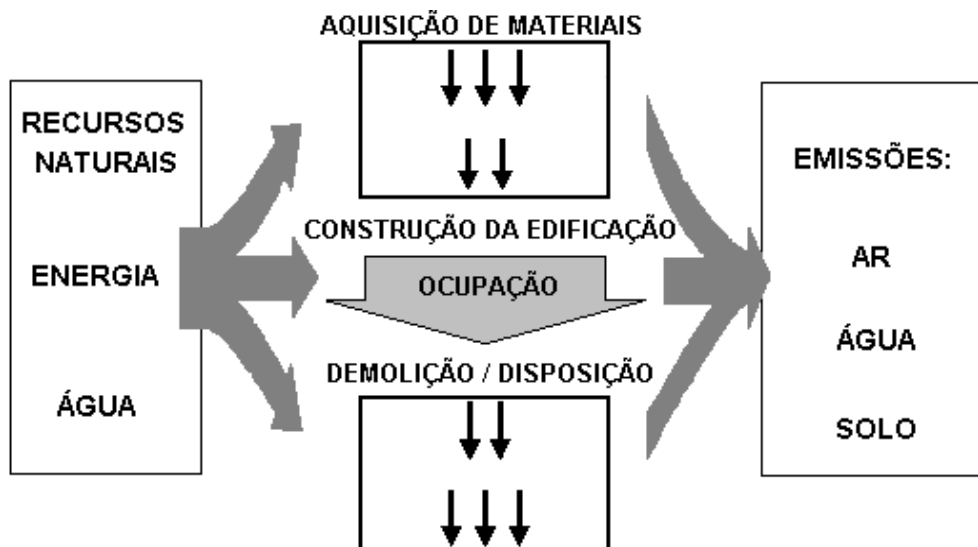


Figura 07: Análise do inventário. (ATHENA, 2000).

Uma edificação ecologicamente correta requer:

- Minimizar o consumo de recursos (materiais e energia) ao longo do ciclo de vida total do edifício;
- Minimizar a emissão de poluentes no meio ambiente em todo o ciclo de vida;
- Criar um ambiente saudável, confortável e não perigoso;
- Incorporar qualidade e desempenho consistente aos objetivos da edificação;
- Equilibrar desempenho ambiental com desempenho econômico.

2.5. Análise do ciclo de vida de produtos

Segundo LEWIS e DEMMERS (1996), a Análise do Ciclo de Vida de Produtos é usada como uma ferramenta de análise dos impactos ambientais de produtos, processos ou atividades ao longo do seu ciclo de vida, considerando desde a extração de matérias-primas, passando pelo processamento, transporte, uso e disposição final. Apesar de se ter um vasto número de métodos ainda não bem definidos, a ACV é suficientemente desenvolvida para ser útil como uma ferramenta de gerenciamento ambiental.

A ACV é útil como um instrumento gerencial por fornecer informações compreensivas e apresentadas de forma científica não apenas quanto aos impactos ao meio ambiente, mas também pode ser útil em identificar oportunidades de melhorias. A ACV já é amplamente usada no mundo todo para melhorias no processo, no projeto do produto, como planejamento estratégico, marketing e como fundamentação para políticas governamentais. (ARNOLD, 1993).

Muitas críticas têm sido feitas em relação às dificuldades envolvidas na coleta dos dados, definição dos limites do sistema e nas tentativas em vincular processos físicos com impactos ambientais, porém são exatamente estes os desafios da ACV, e que podem proporcionar uma visão do sistema capaz de direcionar decisões quanto a melhorias do processo, e conseqüentemente do produto final. (LEWIS e DEMMERS, 1996).

Em alguns países a adoção da ACV é ainda bastante lenta, em comparação com a Europa e os Estados Unidos. Isto é em parte devido ao fato de que empresas situadas nestes países sofrem maior pressão do governo e de consumidores em fornecer informações quanto ao meio ambiente.

2.5.1 Definição

A SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993) define ACV como "um processo de avaliação do consumo de recursos e cargas ambientais associadas a produtos, processos, embalagens e atividades", conforme esquematizado na Figura 08.

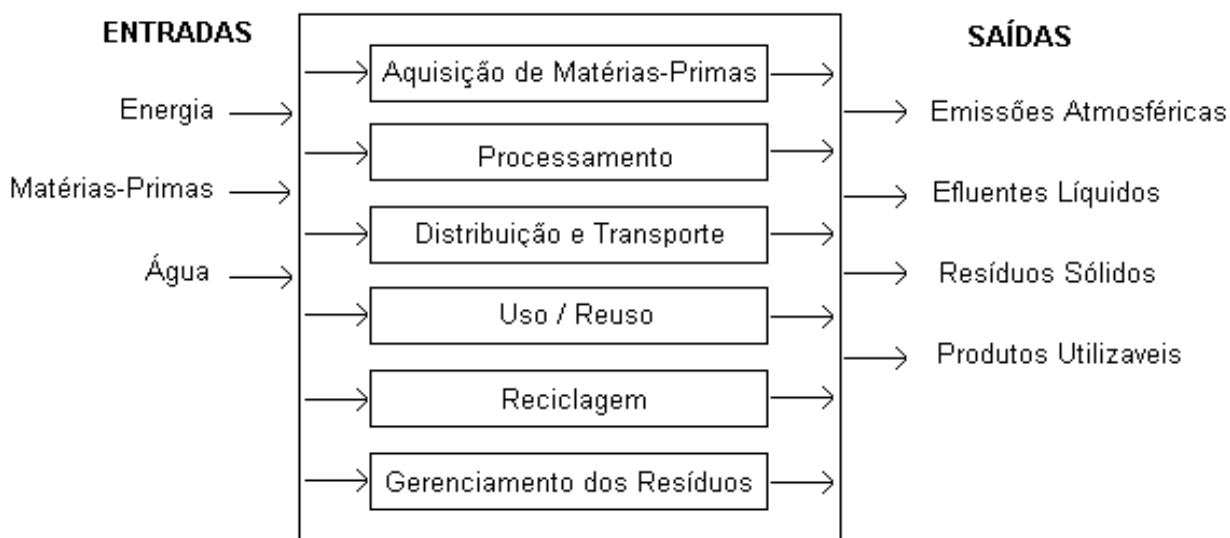


Figura 08: Inventário do ciclo de vida. (traduzido e adaptado: LEWIS e DEMMERS, 1996).

A SETAC (1993), também define quatro estágios distintos:

- definição dos objetivos e limites: nesta etapa os objetivos e limites propostos para o estudo devem ser descritos conforme o interesse de aplicação;
- inventário: as entradas e saídas do processo devem ser quantificados;
- análise dos impactos: refere-se a tentativa de vincular as entradas e saídas do meio ambiente a problemas ambientais reais;
- análise de melhorias: quando as conclusões são esboçadas e áreas potenciais de melhorias identificadas.

A etapa de inventário é frequentemente considerada a parte mais objetiva de uma ACV pois envolve a definição clara da quantificação dos parâmetros físicos. Dados de emissões e desperdícios são quase inexpressíveis se não forem vinculados a problemas ambientais como a poluição do ar, toxicidade, depleção da camada de ozônio ou aquecimento global. Por esta razão a etapa seguinte da ACV é a avaliação dos impactos.

A conceituação definida pela SETAC (1991), inclui as seguintes três etapas:

- classificação: os dados do inventário são agrupados e classificados em categorias baseados em seus respectivos impactos quanto a saúde humana, o ecossistema e os recursos naturais;
- caracterização: análise e quantificação dos riscos de cada categoria de impacto, considerando a contribuição relativa de cada item do inventário;
- avaliação: comparações são feitas entre as diferentes categorias de impactos, os dados produzidos na etapa de caracterização são sujeitos a ponderações.

A etapa de avaliação dá uma análise global dos produtos, baseada nos potenciais efeitos ao meio ambiente. Este estágio envolve uma série de suposições quanto à importância relativa dos diferentes efeitos.

O quarto estágio de uma ACV é conhecido como análise de melhorias. Esta é a fase de críticas ao produto ou processo, pois envolve a identificação de áreas potenciais de melhorias. Várias alternativas podem ser consideradas em resposta a esta etapa, como controle de desperdício, consumo de matéria-prima, reciclabilidade, entre outras.

2.5.2. O uso da ACV para gerenciamento ambiental

O enfoque gerencial da Análise do Ciclo de Vida de Produtos constitui-se em uma forte tentativa de integração da Qualidade Tecnológica do Produto, da Qualidade Ambiental e do Valor Agregado para o consumidor e para a sociedade. (CHEHEBE, 1998).

Indústrias, de diversos setores, estão sob crescente pressão para reduzirem o impacto ambiental de suas atividades. Governos também necessitam de informações adequadas para auxiliar os setores econômicos em desenvolver políticas efetivas de proteção ambiental. A ACV pode ser uma boa ferramenta em prover tais informações, por várias razões:

- utiliza métodos científicos para coleta e análise dos dados;
- oferece um modo racional de avaliação das alternativas; e
- ajuda-nos a entender nossas inter-relações com o meio ambiente.

Segundo LEWIS e DEMMERS (1996), a metodologia ACV tem sido usada internacionalmente há duas décadas e sua aplicação inclui melhorias no produto, engenharia do processo, planejamento estratégico e rotulagem ambiental.

Melhorias no produto

A indústria automobilística tem liderado o uso da metodologia para minimizar os impactos de seus produtos (FREEMANTLE, 1995). Identificadas as etapas do ciclo de vida potenciais para a aplicação de melhorias, dentre as prioridades está a redução do consumo de combustíveis durante o uso do produto.

O RMIT (Royal Melbourne Institute of Technology) está trabalhando com indústrias de eletro-eletrônicos, na Austrália para reduzir o impacto ambiental de seus produtos, isto envolve o uso da ACV para identificar oportunidades de melhorias.

Quanto a indústria da construção civil, segundo RICHER (1996), na Austrália estão sendo desenvolvidas ACVs para os principais materiais de construção, para se especificar nos projetos os materiais que apresentam maior responsabilidade ambiental.

Engenharia do processo

A ACV pode ser usada na engenharia do processo para reduzir perdas e melhorar a eficiência. Os dados coletados no inventário podem ser usados como indicadores de desempenho na cadeia do processo. Se os impactos por toneladas do produto aumentar, o processo torna-se menos eficiente, se os impactos são reduzidos, menos materiais ou substâncias são perdidos para o meio ambiente, menos água é usada, menos resíduos são gerados e menos energia é consumida. Frequentemente isto também representa vantagens financeiras, devido a economia quanto ao uso de materiais e energia e na disposição final dos resíduos. (LEWIS e DEMMERS, 1996).

Países como o Canadá e a Austrália, tem desenvolvido um amplo sistema de coleta de dados com programas para computador contendo bases de dados dos processos, os quais são atualizados regularmente. Isto irá auxiliar as indústrias a alcançarem processos de produção mais compatíveis com o meio ambiente, através da quantificação do fluxo de

materiais e energia, realçando as áreas propícias a melhorias. Isto não apenas proporciona aprimoramentos no processo de produção, mas também torna possível a comparação da eficiência de diferentes técnicas de processamento.

Planejamento estratégico

A ACV pode ser usada como parte do planejamento estratégico, particularmente como política do produto. Os setores econômicos devem analisar as tendências e os desenvolvimentos que possam afetar seus produtos no futuro. Em um futuro próximo imagina-se que a crescente regulamentação irá introduzir o desempenho ambiental como um fator crítico na competitividade internacional. Não apenas neste âmbito, mas a legislação local também tende a tornar-se cada vez mais exigente. Em antecipação a esta tendência, algumas companhias têm desenvolvido estratégias para reduzir impactos ambientais e melhorar a eficiência de seus produtos.

Segundo BRETZ (1994), através de resultados da ACV, em relação ao lucro, os produtos podem ser classificados, conforme demonstrado na Figura 09, em quatro grupos com diferentes estratégias:

- produtos ótimos: estes deverão formar a base dos esforços de marketing;
- candidatos a melhorias: apresentam alto lucro e alto impacto ambiental, deverão ser desenvolvidas atividades que irão exigir a redução dos impactos ambientais;
- casos problema: baixo lucro e alto impacto ambiental, tanto quanto esforços para melhorias, considerações deverão ser feitas para a remoção deste produto da linha de produção;

– produtos verdes: baixo lucro e baixo impacto ambiental. Estes deverão ser melhorados economicamente, por exemplo, publicando ativamente suas virtudes ecológicas.

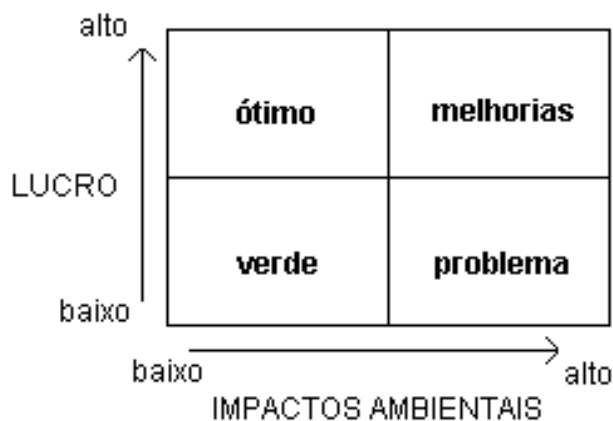


Figura 09: Matriz de avaliação do produto. (LEWIS e DEMMERS, 1996).

Rotulagem ambiental

A mais comum aplicação da ACV pelos governos tem sido a rotulagem ambiental. Identificando produtos e serviços menos prejudiciais ao meio ambiente do que produtos e serviços similares com a mesma função. (EPA, 1993).

Programas de rotulagem que conferem selos a fabricantes de produtos que causam menos danos ao ambiente têm por objetivo encorajar outras empresas a acompanhá-los e a melhorar seus produtos para ganhar o selo e o resultante aumento da participação no mercado.

Países em todo o mundo têm instituído programas de rotulagem que premiam esses fabricantes. A Alemanha começou em 1978, o Canadá e o Japão em 1988. Estão ativas hoje mais de duas dúzias desses programas, que variam em métodos e abordagens. A necessidade de uma norma internacional e confiável para harmonizar os programas nacionais de rotulagem e oferecer diretrizes para os fabricantes que queiram fazer

afirmações ambientais deu origem a ISO 14024 Rotulagem Ambiental - Programas para profissionais: Princípios para orientação, práticas e procedimentos de certificação de múltiplos critérios.

2.5.3 Dificuldades com a ACV

Apesar de sua utilidade notória, debates têm sido feitos quanto às dificuldades metodológicas da ACV; segundo LEWIS e DEMMERS (1996), isto inclui:

- coleta dos dados;
- definição dos limites do sistema;
- decisões subjetivas que podem influenciar os resultados;
- tempo e custos exigidos para uma ACV detalhada.

Coleta dos dados

A fase do inventário freqüentemente envolve problemas quanto a precisão e disponibilidade dos dados.

A cadeia do processo abrange no ciclo de vida de um produto a acessibilidade aos dados, que depende da vontade das indústrias em disponibilizá-los. Em algumas indústrias dados de materiais, energia e emissões são considerados comercialmente sensíveis e a indústria reluta em publicá-los. Além disso, algumas indústrias nunca mediram suas perdas ou emissões porque isto nem sempre é requerido pelos órgãos ambientais. Outras querem evitar o conhecimento público de seus impactos ao meio ambiente, por medo de que isto traga prejuízos à sua imagem, ou que lhes sejam exigidas soluções finais caras.

A falta de dados tem sido compensada de vários modos como, por exemplo, pelo uso de dados médios, limites máximos legais, ou por julgamento qualitativos onde os dados não estão disponíveis. (LEWIS e DEMMERS, 1996).

Dependendo da disponibilidade de recursos para o estudo, alguns dados podem ser coletados, enquanto outros poderão ser estimados. Dados também poderão ser buscados em fontes públicas que provêem cifras médias. A integridade dos dados implica no nível de precisão científica do trabalho; precauções, portanto são necessárias para a interpretação dos resultados de qualquer estudo.

Problemas relacionados à coleta de dados são razoavelmente bem resolvidos nos Estados Unidos e na Europa, onde bases de dados públicas estão sendo desenvolvidas e programas de registro de emissões exigem das indústrias informações ambientais. Alternativamente, muitos dados de organizações privadas são obtidos através da garantia de confidencialidade. Entretanto em muitos países, como na Austrália, isto ainda é um problema. A coleta de dados tem sido feita por instituições particulares que mantêm confidenciais as informações levantadas, e os poucos dados que são publicados muitas vezes não se apresentam de forma satisfatória para o uso em ACV. (HUNT e FRANKLIN, 1996).

Definição dos limites do sistema

Uma das etapas mais importantes é a definição dos objetivos e limites do trabalho com a delimitação do sistema a ser estudado. Esta é uma etapa crítica em assegurar que a ACV será controlável e significativa. Isto envolve muitas decisões sobre quais atividades deverão ser incluídas no sistema, e quais deverão ser consideradas como parte circunvizinha ao sistema.

Várias tentativas têm sido feitas para definir regras de decisão que poderão guiar na hora de fixar os limites. A ISO (International Standards Organization) diz que todas as decisões relacionadas aos limites do sistema deverão ser documentadas e justificadas. (ISO/CD 14040.3, 1996).

Segundo CHEHEBE (1998), o delineamento do contorno do sistema a ser estudado deve ser realizado com extremo cuidado, pois somos limitados pelos recursos financeiros e pelo tempo. À medida que adicionamos detalhes de profundidade e largura aos modelos, adicionamos ao mesmo tempo complexidade, despesas e utilidade reduzida. O sistema poderia, pouco a pouco, ser estendido até atingir todas as atividades humanas no globo inteiro, como esquematiza a Figura 10:

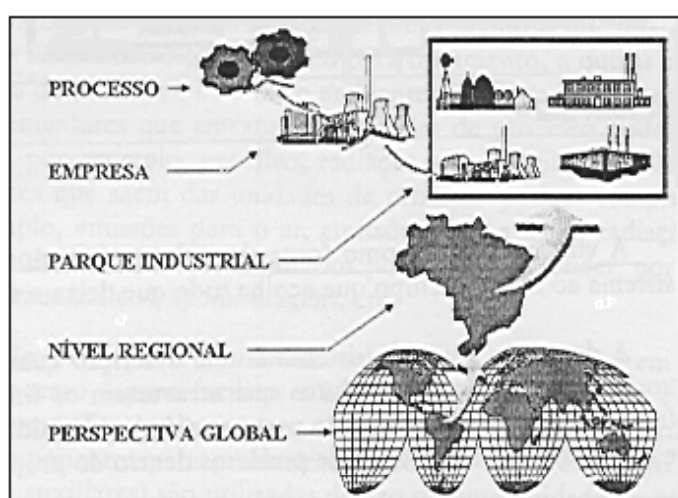


Figura 10: Abrangência do ciclo de vida. (CHEHEBE, 1998).

Análise dos impactos ambientais.

A avaliação dos impactos sobre o meio ambiente consiste em uma interpretação dos resultados do inventário do ciclo de vida em impactos quantificáveis sobre o meio ambiente. (AFNOR, 1994).

Na fase de interpretação e análise dos impactos ambientais, são feitas tentativas em vincular os itens do inventário a problemas ambientais. Isto necessariamente envolve um alto nível de julgamento profissional e, portanto é a etapa mais exposta a críticas.

O estágio de avaliação, em particular, envolve julgamentos sobre a importância relativa dos diferentes impactos como, de forma global, efeito estufa, devastação de recursos e

poluição da água. ARNOLD (1993), argumenta que nem sempre será dada a resposta correta e que este julgamento é temporal, a escolha entre dois produtos ou serviços está associada a localização geográfica e a mudanças com o passar do tempo.

DOVERS et al. (1993) dizem que não é possível estabelecer um ranking de produtos conforme seus impactos ambientais. Para isto deverão ser tomadas decisões quanto às prioridades ambientais, como por exemplo, se o consumo de energia é mais importante do que a poluição da água ou a produção de resíduos sólidos. Os autores argumentam que este tipo de decisão é uma das maiores preocupações, exceto em casos particulares onde se compara a produção de um determinado produto dentro de um contexto regional especificado. A ISO 14040 reconhece o grau de subjetividade que envolve as análises, que acabam refletindo aspectos como preferências e valores sociais, e sugere que o método de avaliação seja transparente, e suposições sejam justificadas.

Segundo CHEHEBE (1998), deve-se procurar alcançar o estabelecimento correto do equilíbrio entre o julgamento de valores e o conhecimento científico de forma a evitar o comprometimento da qualidade e da utilidade do indicador, como mostrado na Figura 11.

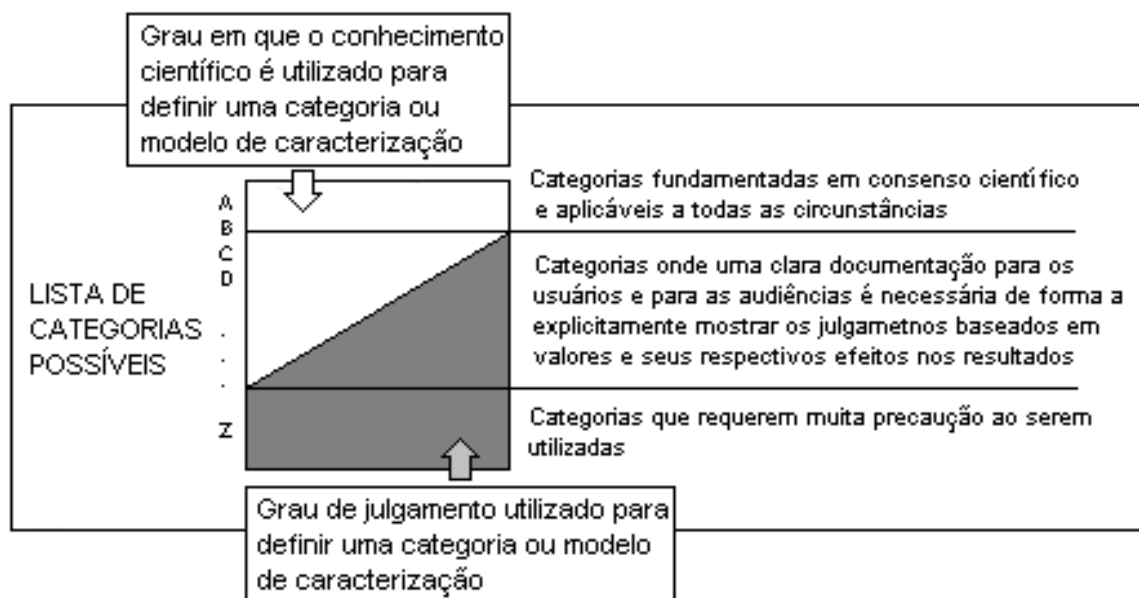


Figura 11: O conhecimento científico e o julgamento de valores. (CHEHEBE, 1998).

Tempo e custos

Segundo GRAEDEL et al (1995), tempo e custos são também preocupações que envolvem a relevância da ferramenta, que pode torná-la complexa, demorada e cara, se não for bem definida. Isto em parte é justificado pela coleta dos dados para o inventário da ACV, que muitas vezes exige medidas “in loco” dos indicadores de impactos.

Este problema pode ser resolvido reconhecendo as possibilidades de diminuição do desperdício, e do uso de recursos, e o conseqüente aumento no lucro, que são benefícios que justificam os investimentos de tempo e recursos financeiros. Os esforços alocados em uma ACV poderão ser necessários em nortear uma tomada de decisão. Em muitos casos uma abordagem simples e menos quantitativa pode ser suficiente para o propósito. (LEWIS e DEMMERS, 1996).

Os problemas ambientais são típicos de uma sociedade industrializada e contemporânea, as soluções exigem a participação de todos na sociedade, que deve estar buscando sistemas eficazes para o desenvolvimento de produtos aliados a técnicas mais compatíveis com a satisfação dos clientes e o crescimento organizacional. (PRATES, 1998).

Apesar dos sucessos já obtidos não se pode sombrear as dificuldades inerentes a um tema de visibilidade recente que, para os mais céticos, ainda é tido como um modismo.

2.6. Processos de produção de materiais

A indústria da construção civil consome intensamente recursos naturais para a fabricação de materiais e componentes, como o aço e o cimento, para elementos estruturais, materiais sintéticos, para impermeabilizações, e blocos cerâmicos e de concreto, para alvenarias. E

devido ao uso em larga escala, tem contribuído para a devastação dos recursos não-renováveis. (CIB, 1999).

No Brasil a industrialização se deu com tecnologia ultrapassada, altamente consumidora de recursos naturais, de energia e degradadora do meio ambiente.

2.6.1. Consumo de energia

Em vista das incertezas, custos e riscos associados à energia obtida do petróleo, gás, carvão e materiais nucleares, é essencial o aumento da eficiência energética, da conservação e do desenvolvimento de uma variedade de fontes renováveis.

Incentivos privados e do governo para conservar a energia e usá-la de modo mais eficiente podem reduzir, ou até mesmo reverter, o crescimento no consumo de energia, podendo resultar em importantes benefícios ambientais, econômicos e sociais. (CORSON, 1996).

2.6.2. Consumo de minerais não combustíveis

Sociedades industrializadas modernas não poderiam existir sem suprimentos adequados de uma grande variedade de materiais minerais. A formulação de decisões adequadas nas áreas sociais, econômicas, políticas e ambientais requer um conhecimento da dependência da sociedade pelos minerais, da distribuição desigual dos depósitos minerais mundiais, e da natureza finita de cada depósito. (CORSON, 1996).

Fornecimento futuro

A questão da disponibilidade futura dos minerais é freqüentemente posta sob dois pontos de vista: um dos geólogos e cientistas físicos, e outro dos economistas.

Os geólogos consideram que a disponibilidade dos minerais depende da natureza física da Terra: em primeiro lugar, a distribuição das concentrações de minerais, e em segundo

lugar, as leis físicas da natureza que impõem limites sobre nossas capacidades de explorar os depósitos, extrair os materiais desejados e processá-los. Um melhor entendimento dos processos geológicos torna mais fácil antecipar quando certos tipos de minerais foram formados. Técnicas modernas de exploração facilitaram, em muito, a procura pelos depósitos de superfície ou próximos desta.

Cada depósito mineral é finito, até mesmo os depósitos abundantes de areia, cascalho e pedra. É impossível saber quando, onde ou se os depósitos localizados abaixo da superfície serão descobertos, quais os seus tamanhos, em que camadas estarão, e se estarão aptos à mineração.

Os economistas, pelo contrário, tendem a ver os suprimentos de minerais como essencialmente infinitos, em virtude de toda a parte sólida do planeta ser composta por minerais. Os economistas pressupõem que os mecanismos de mercado se encarregarão do fornecimento e demanda, refletindo preços muito altos quando os suprimentos estiverem limitados, motivando, assim, a exploração e produção, bem como o desenvolvimento de novas técnicas que possibilitarão tanto a mineração como a extração das mercadorias desejadas, até mesmo dos minérios localizados nas camadas mais inferiores. Os economistas apontam que o custo das matérias-primas representa uma pequena fração do custo final dos produtos minerais, de modo que uma elevação dos preços de tais materiais causará pouca diferença.

É difícil prever a adequação a longo prazo de muitas mercadorias minerais. Estimativas dos recursos minerais em todo o mundo são grandes e parecem implicar uma segurança a um prazo de centenas de anos. Considerando seus índices acelerados de uso, contudo, as reservas de muitos minerais não são tão grandes assim e podem ser exauridas dentro de algumas décadas. Baseado em mudanças nos índices anuais de produção as expectativas de

vida de algumas reservas minerais atualmente exploradas variam de quase infinita a menos de 50 anos. (CORSON, 1996).

À medida que os suprimentos disponíveis de muitas mercadorias minerais, das quais as sociedades dependem atualmente, são destruídos, a competição internacional pelos mananciais remanescentes aumentará. Mudanças no uso desses materiais serão essenciais e muito provavelmente causarão mudanças nos estilos de vida. Devemos antecipar tais desenvolvimentos inevitáveis e planejá-los a tempo para estender os suprimentos dos materiais críticos, além de provermos uma transição gradual para qualquer que sejam os produtos que irão substituí-los. Na construção civil como os minerais são necessários em grandes quantidades, dificilmente haverá importações e exportações destes minerais, porém as técnicas construtivas e os componentes utilizados deverão aos poucos se adaptar a escassez de matérias-primas.

De acordo com CORSON (1996), muitas incertezas tornam difícil a previsão de quanto tempo teremos para planejar as mudanças viáveis no uso dos recursos minerais. Essas incluem:

- aumentos na demanda por recursos minerais;
- probabilidade de aumento nos preços, o que estimulará a exploração e utilização dos depósitos das camadas inferiores;
- desenvolvimento de novas técnicas que tornarão tanto a produção como o uso de materiais minerais mais eficientes;
- novas técnicas que poderão requerer materiais que não antecipamos uma necessidade;
- descoberta e desenvolvimento de substitutos adequados aos materiais escassos em fornecimento; e
- proporção na qual a reciclagem pode reduzir a demanda por matérias-primas.

O que se espera, da parte dos fabricantes, é um aumento da responsabilidade de seus produtos do berço-ao-túmulo, pressionado-os a aplicarem em seus processos de produção princípios como:

- desenvolvimento de novos materiais, recicláveis ou feitos a partir de recursos renováveis;
- facilidade de desmontagem e reutilização;
- aplicação em seus componentes conceitos de padronização e modulação.

Quanto às empresas construtoras que utilizam estes materiais, para o desenvolvimento de suas atividades, espera-se uma maior conscientização, especificando, desde a fase de projeto, materiais que melhor atendam às exigências ambientais. Estabelecendo especificações mais precisas e detectando no mercado, fornecedores melhores preparados. Como resultado, a adoção de procedimentos para garantir a qualidade nas aquisições deve levar à redução de custos devido à má qualidade dos materiais e, ao mesmo tempo à satisfação dos clientes, conforme apresentado na Figura 12. (SOUZA et al, 1994).

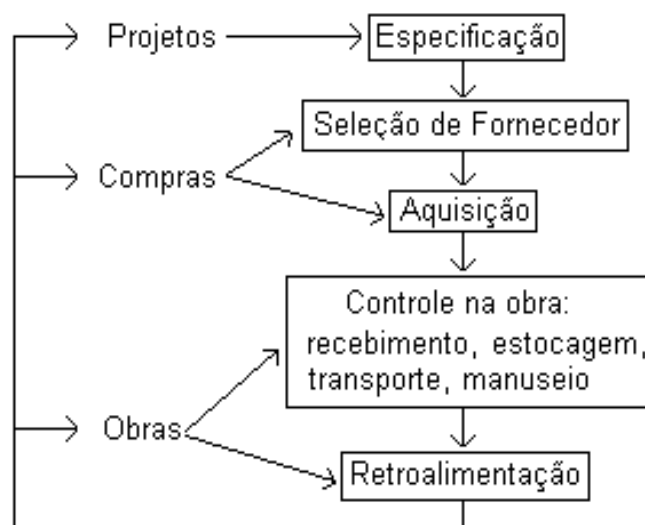


Figura 12: Qualidade na aquisição de materiais. (adaptado de SOUZA et al, 1994).

3. MÉTODO PROPOSTO

O método aqui proposto baseia-se na tese de doutorado de ROUSSEAU, (1993), desenvolvida no Instituto Nacional de Ciências Aplicadas de Lyon, na França. Usamos este trabalho para nortear nossa pesquisa.

3.1. Método de estabelecimento dos balanços ecológicos

O método que nós propomos visa, dentro de um primeiro momento, um regulamento de realização do balanço de matérias e energia, e em um segundo momento, o balanço das conseqüências ecológicas destas matérias e energias.

3.1.1. Estruturação do ciclo de vida de um produto

O ciclo de vida de um produto apoia-se em três antropossistemas nos quais são vinculadas três atividades principais. Como ilustra a Tabela 01.

Tabela 01: Tipos de antropossistemas.

| Antropossistema | Atividade |
|------------------------|--------------------------------------|
| Produtor | Processo de fabricação |
| Consumidor | Consumo |
| Transformador | Tratamento primário do produto usado |

O conjunto de atividade-tratamento dos resíduos pode consumir energia e matérias-primas que são fornecidas respectivamente por um produtor de energia e um produtor de matérias-primas. De qualquer forma, este último igualmente consumidor de energia. Deve-se relatar que todos estes sistemas geram dejetos que, após um eventual tratamento são emitidos. O aterro sanitário é então considerado como um sistema cuja função é estocar as matérias indesejáveis.

O ciclo de vida de um produto está dividido em três antropossistemas constituídos cada um de cinco sub-sistemas:

- atividade principal do antropossistema;
- tratamento dos resíduos emitidos da atividade principal;
- exploração das matérias-primas não energéticas consumidas para o antropossistema;
- produção de energia necessária aos três sub-sistemas precedentes;
- estocagem dos dejetos gerados para os quatro sub-sistemas precedentes.

Um balanço ecológico matéria-energia é realizado para cada um dos quatro primeiros sub-sistemas dentro dos quais pode integrar o transporte de diferentes matérias e dejetos.

Nosso balanço não leva em conta as energias e as matérias que são utilizadas dentro da construção destes sub-sistemas.

3.1.2. Escolha da unidade funcional

O objetivo do balanço ecológico é comparar o ciclo de vida de vários produtos que são destinados ao mesmo uso, isto implica definir previamente uma unidade funcional dos produtos testados. Entretanto o primeiro antropossistema consumidor é que nos permite definir esta unidade.

Uma das mais importantes considerações ao definir-se o escopo de um estudo de análise do ciclo de vida é a definição das características de desempenho do produto a ser modelado (função). Um sistema pode ter várias funções possíveis. A função selecionada para um determinado estudo depende do objetivo do estudo. (CHEHEBE, 1998).

3.1.3. Regulamento de realização do balanço matéria-energia

Esta fase consiste em fazer um balanço sobre as matérias e energias utilizadas e rejeitadas pelo sistema previamente delimitado.

Deve-se fixar os valores para entradas (quantidades de matéria-prima e energia consumida) e saídas (rejeitos no ar, na água, e assim como os volumes de dejetos sólidos) para cada parte do sistema estudado. Posteriormente estes valores deverão ser transformados em dados relacionados à unidade funcional definida.

A realização do balanço de massas deve levar em consideração observações com relação ao número de entradas e saídas a serem computadas, para fim de simplificação, HEINTZ e BAISNEE (1991), propõem desprezar o consumo de matérias-primas e emissões quando sua quantidade for inferior a certa porcentagem, ou seja, insignificante para o sistema. Porém deve-se ter cuidado com substâncias altamente tóxicas que apesar de apresentarem-se em pequenas quantidades, seus efeitos podem ser graves.

No caso de processos que geram mais de um produto, deve ser feita a alocação dos impactos destes produtos, atribuindo de forma proporcional às entradas e saídas do sistema, e conseqüentemente aos impactos ecológicos, os impactos resultantes de cada produto. Esta atribuição é geralmente determinada em relação às massas ou aos valores econômicos dos diferentes produtos gerados, como sugerido por HUPPES (1991).

Este processo de alocação é comumente criticado porque ele nem sempre reflete a realidade concernente à atribuição dos impactos ecológicos.

Outra questão a ser considerada é quanto ao fato da deficiência de bancos de dados. Com efeito, a aplicação da metodologia do balanço de massas atualmente é restringida pela insuficiência de informações disponíveis. Além disso, quanto aos poucos dados existentes, ainda tem-se o problema de sua validade, com relação a sua origem e exatidão.

Os sub-sistemas que deveriam ser estudados são freqüentemente complexos. Isto faz útil dividir-los em pequenas unidades, que permitem uma apreciação mais clara e mais exploratória dos diferentes processos geralmente envolvidos uns dentro dos outros. Além desta localização e desta delimitação serem indispensáveis para visualizar os gastos de materiais e do fluxo de energia. Os limites dos sub-sistemas são definidos para a descrição de entradas e saídas (forma físico-química das substâncias e o tipo de energia utilizada). A este nível é sensato reagrupar, dentro das categorias globais do balanço, as matérias cujos efeitos sobre o ambiente são similares para tornar menos complexa a exploração dos resultados e reduzir eventualmente os custos da análise.

Os dados deverão ser convertidos em grandezas susceptíveis de figurar no balanço (massa ou volume). Os produtos em todos os pontos de saída são então computados para cada meio considerado – água, ar e solo. Para estes dejetos emitidos, são determinados seus volumes.

A fim de poder fechar o balanço, é necessário conhecer o nível de precisão dos dados recenseados. A verificação do princípio da conservação de matéria é utilizada para a validação:

$$\text{Entrada} = \text{Produção} + \text{Saídas} \quad (3.1)$$

Sendo:

Entrada: entradas do sub-sistema;

Produção: produtos manufaturados saídos do sub-sistema;

Saídas: saídas não manufaturadas do sub-sistema.

A aplicação de um tal balanço é exposta à existência de erros, isto pode ser formulado da seguinte forma:

$$\Delta \text{ balanço} = \Delta \text{ entrada} + \Delta \text{ produção} + \Delta \text{ saídas} \quad (3.2)$$

Os balanços matéria-energia de diferentes instalações podem apresentar diferentes significados. A fim de evitar esta generalização freqüentemente falsa dos resultados, deve-se mencionar o nome do processo, a data de construção e o local de instalação do estudo.

Para cada sub-sistema, deve-se computar as quantidades do fluxo de entradas e saídas:

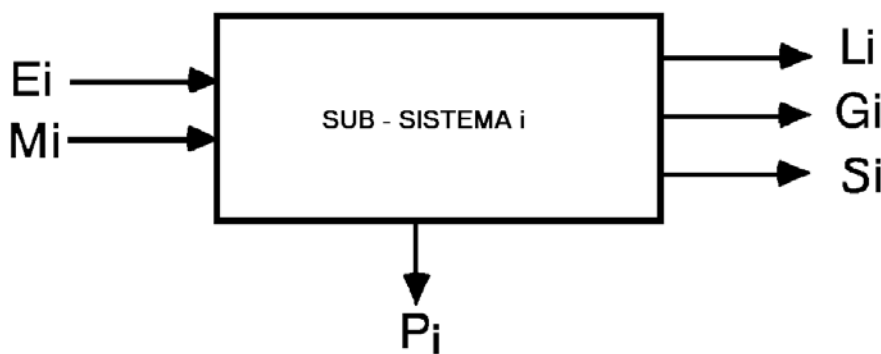


Figura 13: Sub-sistemas. (ROUSSEAU, 1993).

Sendo:

Ei: energia que entra no sub-sistema i;

Mi: matérias que entram no sub-sistema i;

Pi: produtos do sub-sistema i;

Li: efluentes líquidos do sub-sistema i;

Gi: efluentes gasosos do sub-sistema i;

Si: rejeitos sólidos do sub-sistema i.

Verifica-se então o princípio da conservação de matéria:

$$M_i = L_i + G_i + P_i + S_i \quad (3.3)$$

Conhecendo a precisão destes dados, deve-se avaliar os erros colocados sobre o balanço:

$$\Delta \text{Balanço} = \Delta L_i + \Delta G_i + \Delta M_i + \Delta P_i + \Delta S_i \quad (3.4)$$

Considerações sobre o balanço:

- somente as matérias trocadas entre o antropossistema e o meio natural figuram dentro do balanço. Todas as outras matérias e energias recuperáveis não são contabilizadas porque elas não afetam o meio natural;
- a particularidade essencial do modo apresentado do balanço sustenta o fato que, em fim, nenhum dado energético (kWh, Joules) figura dentro do balanço global. Estes dados são de fato substituídos pelas quantidades de matérias-primas e de resíduos, que contribuem para a simplificação do balanço e melhora a avaliação considerada pelos impactos de energia. Entretanto, como os recursos energéticos constituem um fator limitante do antropossistema, a avaliação de sua eficiência energética será levada em conta dentro do balanço ecológico a partir de seu rendimento global. Este rendimento é avaliado diferentemente de acordo com o tipo de sistema.

Observa-se que η_i é o rendimento energético global do sistema i , onde:

Para um sistema não produtor de energia:

$$\eta_i = (E'_i - Q'_i) / E'_i \quad (3.5)$$

Sendo:

E'_i = energia de entrada dentro do sistema i ;

Q'_i = energia perdida para o sistema i .

Para um sistema produtor de energia:

$$\eta_i = P'_i / E'_i \quad (3.6)$$

Sendo:

E'_i = energia contida dentro das matérias-primas de entrada no sistema i ;

P'_i = energia produzida pelo sistema i .

3.1.4. Elaboração do balanço das conseqüências ecológicas

O balanço ecológico realizado a partir do balanço de matérias dos antropossistemas do ciclo de vida de um produto consiste em avaliar as conseqüências ecológicas da transferência de matérias entre os antropossistemas e o meio natural.

Foram citadas três classes de conseqüências ecológicas do ciclo de vida de um produto:

- perdas de matérias-primas;
- impactos dos efluentes líquidos e gasosos;
- impactos do confinamento dos dejetos.

3.1.4.1. Perdas de matérias-primas

Aqui serão examinados os impactos das matérias virgens consumidas pelo antropossistema do ciclo de vida de um produto. Este impacto pode ser caracterizado pelo consumo de matérias-primas.

Este parâmetro corresponde à soma de todas as matérias-primas consumidas pelo antropossistema, e será expresso em unidade de massa pela unidade funcional.

$$M'_i = \sum_j m'_{ij} \quad (3.7)$$

Onde:

M'_i = consumo por unidade funcional das matérias-primas do antropossistema i;

m'_{ij} = massa por unidade funcional de matérias-primas j consumidas pelo antropossistema i.

Um antropossistema será julgado tanto mais eco-compatível quanto ao seu consumo de matérias-primas (M'), que está relacionado com a sua contribuição à devastação das reservas naturais e a não renovabilidade das matérias-primas consumidas.

3.1.4.2. Conseqüências ecológicas dos efluentes

Levando em conta o estado do conhecimento, os efeitos indiretos não são considerados dentro do balanço ecológico. Isto prova ser, com efeito, que a cadeia de mecanismos que transforma e transporta as substâncias, são freqüentemente não reconhecidas. Do mesmo modo, a interdependência dos efeitos é freqüentemente complexa para ser considerada.

Em consequência, a eutroficação², a formação de foto-oxidantes e outros impactos vinculados aos efeitos indiretos, não são considerados neste método.

3.1.4.2.1. Impactos tóxicos

A fim de poder associar e comparar sobre uma mesma base, os dados dos impactos tóxicos devem ser transformados em grandezas adimensionais. Reunir todos os valores em um índice sintético e associar a uma escala linear pode não corresponder, dentro do absoluto, a realidade. (ROUSSEAU, 1993). Entretanto, o objetivo é particularmente de comparar e avaliar, tem-se tentado definir este índice sintético da seguinte maneira:

a) Definição do potencial ecotóxico de uma substância

No modo fundamental ao plano da toxicologia, o impacto de um rejeito sobre a fauna e a flora do meio receptor é função da dose e do efeito deste rejeito.

Dentro do balanço ecológico, o impacto tóxico será então compreendido como o índice de impacto chamado de potencial ecotóxico que é função:

- da exposição: ela caracteriza o fluxo tóxico da substância dentro do meio natural. Os parâmetros de exposição são as propriedades bio-geo-químicas das substâncias, que nos permite conhecer: quais são as quantidades de rejeitos e se elas serão facilmente degradadas ou, ao contrário, se elas se orientam em direção a uma bio-acumulação;

² da Ecologia – Aumento excessivo de nutrientes na água, especialmente fosfato e nitrato, o que provoca crescimento exagerado de outros organismos - comumente algas – e efeitos secundários daninhos sobre outros. (A decomposição microbiana das algas mortas causa esgotamento do oxigênio dissolvido na água e asfixia dos peixes. A eutroficação pode ser natural ou provocada, por efluentes urbanos, industriais ou agrícolas).

- do efeito: se representa a intoxicação ligada à exposição e a velocidade de intoxicação. O efeito será avaliado a partir de parâmetros biológicos que permitem apreender os fenômenos tóxicos.

Os diferentes parâmetros de exposição e de efeitos não têm todos a mesma importância relativa e devem ser ponderados.

b) Avaliação do potencial ecotóxico de uma substância

Existem diversos métodos de avaliação dos potenciais ecotóxico de substâncias químicas.

Pode-se distinguir dois tipos de métodos:

- as abordagens realistas: elas repousam sobre o fato que a maioria dos problemas de poluição do meio natural são locais, então tenta-se calcular a presença potencial da substância a partir dos dados de exposição, para mais tarde estimar o caso que será pior, dentro das condições reais; esta abordagem não corresponde à nossa problemática;
- os métodos de pontuação: eles apoiam-se sobre mecanismos que permitem classificar substâncias em função de seus potenciais em provocar impactos indesejáveis sobre o meio natural. O impacto é função dos parâmetros de exposição e de efeito. Um atributo a cada parâmetro é função da pontuação destas potencialidades. A importância relativa de um parâmetro é função de sua pontuação máxima. Este tipo de método é, a priori, uma ferramenta de classificação ideal para o balanço ecológico.

c) Avaliação do potencial ecotóxico de um efluente

A avaliação do potencial ecotóxico dos efluentes líquidos e gasosos é realizada a partir dos potenciais ecotóxicos das substâncias que compõem estes efluentes.

A primeira abordagem para avaliar o potencial ecotóxico de um efluente será somar o potencial ecotóxico das substâncias que o compõem. Esta abordagem é fortemente criticável, porque ela permite que um potencial ecotóxico elevado de uma substância seja compensado por um potencial ecotóxico baixo de uma outra substância que componha o efluente.

Para minimizar o fenômeno de compensação na caracterização do potencial ecotóxico de um efluente, aplica-se parâmetros de compensação.

A ponderação dos parâmetros é de forma intuitiva em função de sua importância relativa.

3.1.4.3. Impactos do confinamento de dejetos

O impacto global de emissões pode ser descrito a partir de dois parâmetros:

- ocupação do solo;
- impactos de lixivantes.

1) Ocupação do solo

Isto pode ser avaliado somando-se todos os volumes de dejetos emitidos do antropossistema e será expresso em unidade de volume por unidade funcional.

2) Impacto de lixivantes

A maioria dos materiais empregados na construção civil apresenta resíduos sólidos inertes ao contato com o solo.

3.2. Procedimento de comparação dos produtos para análises multicritério dos balanços ecológicos

Um dos pontos mais importantes dentro da comparação de produtos é a escolha de um método de análise de multicritério. Temos como objetivo então escolher um método de análise que bem se adapte a utilização em comparar os balanços ecológicos aplicados nos ciclos de vida.

3.2.1. Apresentação dos diferentes métodos de análise multicritério

Conforme indicado por ROUSSEAU (1993), foi adotada uma terminologia semântica a fim de desenvolver o método.

O processo de decisão utiliza-se das ações (a, b, e c) que podem ser dos objetos, das decisões e dos candidatos. O conjunto destas ações será chamado A.

A comparação de duas ações a e b, coloca o decisor em face de quatro situações elementares fundamentais, conforme indicado na Tabela 02 e ilustrado na Figura 14.

Tabela 02: Modelagem das quatro situações fundamentais de preferência.

| SITUAÇÃO | DEFINIÇÃO |
|--|---|
| INDIFERANÇA (I): <ul style="list-style-type: none">- a e b são equivalentes. | Corresponde à existência de razões claras que justifiquem uma equivalência entre as duas ações a e b. |
| PREFERENCIA ESTRITA (P): <ul style="list-style-type: none">- a estritamente preferível à b; ou- b estritamente preferível à a. | Corresponde à existência de razões claras que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma das duas ações. |

| | |
|---|--|
| <p>PREFERENCIA FRACA (Q):</p> <ul style="list-style-type: none"> - a fracamente preferível à b; ou - b fracamente preferível à a. | <p>Corresponde à existência de razões claras que eliminem a preferência em favor de uma das duas ações, mas estas razões são insuficientes para se dizer que é uma preferência estrita, existem coisas em comum entre as duas ações.</p> |
| <p>INCOMPARABILIDADE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - a e b não podem ser comparadas. | <p>Corresponde à inexistência de razões claras que justifiquem uma das três situações precedentes.</p> |

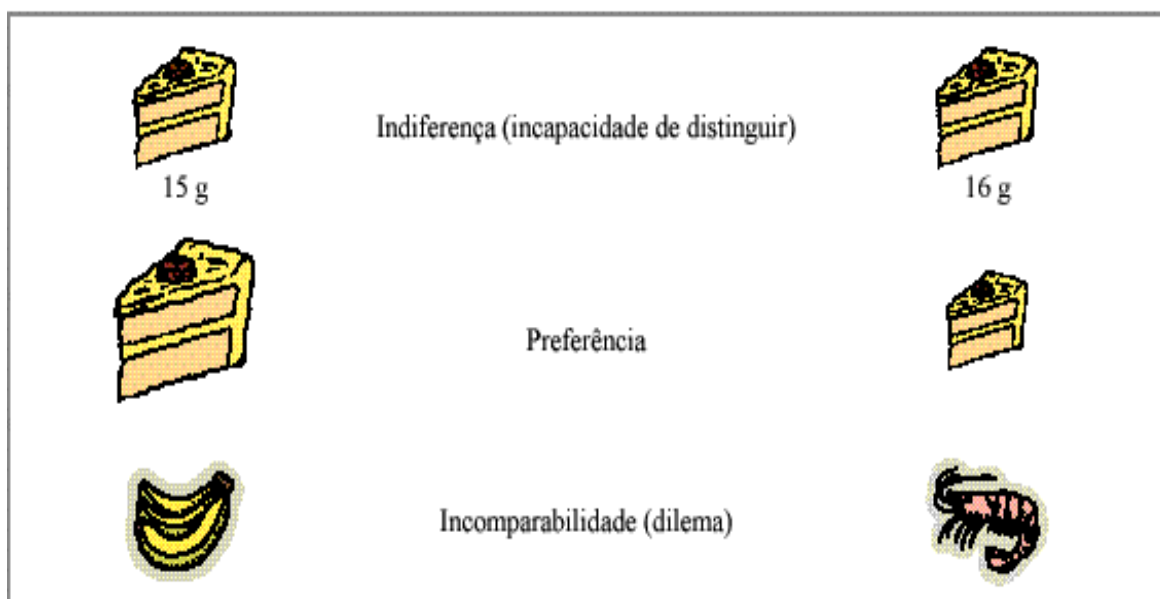


Figura 14: Noções de indiferença, preferência e incomparabilidade. (SOARES, 2001).

Dentro do nosso estudo, as ações consideradas são aquelas dos sub-sistemas do ciclo de vida de um produto sobre o meio natural. Estas ações e suas consequências sobre o meio natural são relatadas na Tabela 03.

Tabela 03: Consequências ecológicas das ações do ciclo de vida de um produto.

| SISTEMA | SUB-SISTEMA | OPÇÕES | CONSEQUÊNCIA | |
|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|--|---|
| Ciclo de vida de um produto | Produção | (a) | (1) Consumo energético | |
| | | Exploração das reservas naturais | (2) Consumo de matérias-primas | |
| | | | (3) Deploração de reservas naturais | |
| | | | (4) Não renovabilidade das matérias-primas | |
| | | (b) | Rejeitos de efluentes | (5) Impactos ecotóxico dos efluentes líquidos |
| | | | | (6) Impactos ecotóxico dos efluentes gasosos |
| | | (c) | Confinamento de dejetos | (7) Ocupação do espaço |

3.2.2. Conceitos básicos da análise multicritério

As preferências são apoiadas sobre a comparação das consequências das ações. Uma consequência é um atributo de uma ação (por exemplo, a eficiência energética de um antropossistema), que é uma resultante de uma ação (por exemplo, consequências

ecológicas). As avaliações das conseqüências são características dos números reais e formam um conjunto completamente ordenado. Uma vez as avaliações das conseqüências limitadas inferiormente e superiormente, geram um conjunto final, completamente ordenado (esta ordem reflete a preferência), que constitui uma escala de avaliação que é chamada Γ .

Os critérios representam as conseqüências das diferentes ações que permitem ser julgadas. Um critério é então uma função g para valores reais, definida sobre o conjunto A das ações, que formam os valores dentro de um conjunto Γ_g totalmente ordenado e que representa as preferências do decisor.

Por convenção, todo critério será notado como g e a avaliação de uma ação a , conseqüentemente o critério g será notado $g(a)$. O conjunto dos critérios será chamado F .

As ações são comparadas sobre a base de um eixo de significação envolvendo os diferentes aspectos de suas conseqüências. Uma modelagem desta comparação pode ser apresentada do seguinte modo:

$$g(a) \leq g(b) \rightarrow a S_g b \quad (3.8)$$

S_g é uma relação de preferência restrita ao eixo de significação do critério g .

ROY e BOUYSSOU (1992), define critérios:

Um verdadeiro critério é um critério g tal que:

$$g(a) \leq g(b) \rightarrow a I_g b \text{ se } g(a) = g(b) \therefore \text{relação de indiferença;} \quad (3.9)$$

$$\rightarrow a P_g b \text{ se } g(a) < g(b) \therefore \text{relação de preferência estrita.} \quad (3.10)$$

Estas relações de indiferença (I) e de preferência estrita (P) têm um poder distinto absoluto e é também estrito para poder ser aplicado aos numerosos critérios e em particular a certas conseqüências ecológicas.

Em efeito,

- a parte de precisão, de incerteza, de indeterminação que afeta os valores atribuídos aos critérios, e
- a característica pouco discutível do processo de cálculo que determina o valor do critério,

são tanto quanto de elementos que estimulam a considerar a diferença $g(a) - g(b) (\neq 0)$ como não significativo de uma preferência estrita, desde a hora que esta diferença é julgada muito pequena. O fato susceptível do intervir para apreciar importância da diferença $g(a) - g(b)$ é a posição do intervalo $[g(a), g(b)]$ sobre a escala Γ_g . Para isto, ROY e BOUYSSOU (1992), definem um limite de indiferença e um limite de preferência associado a um critério, destinados a avaliar a característica mais e a menos significante do intervalo que pode existir entre as avaliações de duas ações:

1) Limite de indiferença associado ao critério g (q_g):

Para todo (a, b) pertencente a A ,

$$0 \leq |g(a) - g(b)| \leq q_g \rightarrow a \text{ I}g \text{ b} \quad (3.11)$$

$$g(a) - g(b) > q_g \rightarrow a \text{ S}g \text{ b} \quad (3.12)$$

$$\text{ou } g(a) - g(b) > q_g \rightarrow b \text{ S}g \text{ a} \quad (3.13)$$

Sendo $S_g = \{Q_g$ (preferência fraca sobre g), P_g (preferência estrita sobre g) $\}$.

2) Limite de preferência associado ao critério g (P_g):

Para todo (a, b) pertencente a A :

$$g(a) - g(b) > P_g \rightarrow b \text{ P}g \text{ a} \quad (3.14)$$

$$\text{ou } g(b) - g(a) > P_g \rightarrow a \text{ P}g \text{ b} \quad (3.15)$$

$$qg < g(a) - g(b) \leq Pg \rightarrow b Qg a \quad (3.16)$$

$$\text{ou } qg < g(b) - g(a) \leq Pg \rightarrow a Qg b \quad (3.17)$$

Importância relativa dos critérios

O decisor pode julgar legitimamente que os diferentes critérios ecológicos não têm a mesma importância relativa. Para poder expressar esta escolha, ele pode recorrer a dois parâmetros: o coeficiente de ponderação e o limite crítico.

Coeficiente de ponderação (kg)

Cada critério g , associado a um número estritamente positivo kg que por função da característica de maior ou menor influência de acordo com o critério g .

Deve-se enfatizar que os coeficientes de ponderação não são interpretados do mesmo modo de uma análise multicritério, pelo fato de sua diferente utilização.

Limite crítico (vg)

O limite crítico permite excluir uma ação, se for julgada que a avaliação para um critério dado está inaceitável para poder manter esta ação como uma solução ao problema multicritério proposto, e isto qualquer que seja sua avaliação para os outros critérios.

Este limite crítico pode ser relativo, e varia conforme a escala de avaliação do critério considerado:

$$\text{Sendo duas ações } a \text{ e } b, \text{ se } g(a) - g(b) \geq vg \rightarrow \text{não } (a S_F b). \quad (3.18)$$

Com S_F sendo a relação de preferência sobre todos os critérios de F .

O limite crítico também pode ser absoluto e neste caso ele é constante sobre a escala de avaliação do critério:

Se $g(a) \geq v_g \rightarrow$ para todo b pertencente a A , não $(a S_F b)$. (3.19)

O limite crítico (v_g) é evidentemente superior ao limite de preferência (p_g); a importância do critério é então função da relação v_g/p_g .

3.2.3. Escolha de um método de análise multicritério

Com relação ao problema de decisão multicritério, em matéria de meio ambiente não é relevante pesquisar um ótimo e único método, porque neste campo, existem vários bons métodos.

Nosso objetivo é unicamente ajudar o decisor a controlar os dados que são fortemente complexos dentro do campo ambiental e a fazer progredir em direção a melhor estratégia de gerenciamento.

Examinemos agora os diferentes métodos de análise multicritério.

3.2.3.1. Métodos de análise multicritério

Um problema de decisão multicritério é uma situação onde, se define um conjunto A de ações e uma família F coerente de critérios sobre A , desejando-se:

- apoio na escolha da (s) melhor (es) ação (ões) \rightarrow procedimento α de seleção, ou;
- apoio na seleção das ações de acordo com as normas pré-estabelecidas \rightarrow procedimento β de seleção para separar as boas ações das menos boas, ou;
- apoio em ordenar as ações segundo uma ordem de preferência decrescente \rightarrow procedimento γ de classificação.

A problemática deste estudo é projetar o melhor produto em função das conseqüências ecológicas de seu ciclo de vida sem prejudicar os demais fatores como o técnico, econômico e social, isto concerne então ao procedimento α .

Distingue-se três famílias de métodos expostos na Tabela 04.

Tabela 04: Tipologia dos métodos de análise multicritério.

| Famílias | Denominação | Descrição |
|---|--------------------|---|
| 1) Métodos interativos | Agregação local | Abordagem do julgamento local interativo com iterações teste-erro |
| 2) Métodos de utilidade multi-atributos | Agregação global | Abordagem do critério único de síntese excluindo toda incompatibilidade |
| 3) Métodos de superação | Agregação parcial | Abordagem da superação de síntese aceitando a incompatibilidade |

Examinemos sucessivamente os três tipos de métodos:

1) Métodos de agregação local

Estes são métodos que alternam etapas de cálculo e etapas de diálogos, por exemplo, o traçado de uma auto-estrada necessita previamente de diferentes etapas de negociação com os moradores vizinhos. Eles não correspondem, entretanto ao nosso caso porque são muito reduzidos os seus objetivos.

2) Métodos de agregação global

Estes métodos pesquisam uma função de utilidade que agregue todos os pontos de vista levados em conta e atribui um valor para cada ação. Ele se aproxima então do processo monocritério. Além disto, todas as ações devem ser mensuráveis. Entretanto a possibilidade de levar em conta os critérios não quantificáveis é uma das vantagens da abordagem multicritério.

Existem vários tipos de modelos:

Modelo aditivo

A função de utilidade é uma media eventualmente ponderada:

$$G(a) = \frac{g_1(a) p_1 + g_2(a) p_2 + \dots + g_n(a) p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad (3.19)$$

Todos os critérios devem ser colocados em uma escala comum.

Modelo multiplicativo

Neste caso, pode-se usar qualquer escala. Uma das ações (a') é tomada como referência; isto demonstra que a resultante é independente da escolha. Todas as avaliações, eventualmente ponderadas, são divididas para a avaliação correspondente desta ação de referência. De fato então o produto para obter a avaliação global (G) da ação é:

$$G(a) = [g_1(a) / g_1(a')] p_1 [g_2(a) / g_2(a')] p_2 \dots [g_n(a) / g_n(a')] p_n \quad (3.20)$$

Método JOUANY-VAILLANT

A originalidade deste método é que ele permite considerar as interações entre critérios. Esta função de utilidade é uma função de penalidade atribuída aos diferentes critérios em função de sua interação e de sua importância relativa.

3) Métodos de agregação parcial

Permitem comparar as ações duas a duas e estabelecer as relações de superação entre estas ações. Estas relações são definidas como o seguinte:

“Uma relação de superação é uma relação binária S definida dentro do conjunto A das ações, tais que a $S b$ se é dado conhecer as preferências do decisor e são dadas a qualidade das avaliações das ações e a natureza do problema. Este método possui argumentos suficientes para admitir que a (ação sobreclassificada) é ao menos tão eficiente quanto b (ação subclassificada), sem que tenha razões importantes para se recusar esta afirmação”.

A relação de superação é obtida a uma condição de concordância que permite verificar que a maioria dos critérios é liberada em favor da ação sobreclassificada. Em submissão, ao mesmo tempo, esta relação a uma condição de não discordância, impõe o fato que não exista uma pressão muito forte dentro dos critérios da minoria, em favor da sobreclassificação inversa.

Os métodos de superação diferem notadamente pelo modo de formalizar estas definições.

Os primeiros métodos de superação ditos Electres foram elaborados por ROY e BOUYSSOU (1992). Os Electres I e II foram construídos com verdadeiros critérios enquanto que os Electres III e IV com os pseudo-critérios. Quando se considera os três primeiros Electres, independentemente do fato que o primeiro é alfa e os outros dois gama,

observa-se uma progressão em direção a exploração das variações de informações. Mas além desta progressão, os métodos são mais complexos e então menos transparentes.

Electre III particularmente se baseia sobre a relação de superação a que merece, por relatar uma relação ordinária, de ser menos sensível às variações dos dados e dos parâmetros considerados. Ele necessita introduzir, para cada critério, um limite crítico e um coeficiente de ponderação.

Electre IV lembra o Electre III, isto significa que utiliza também os limites, mas ele se distingue pelo abandono dos pesos sobre os critérios.

Recentemente, um novo Electre foi desenvolvido, Electre IS, que é uma generalização do Electre I, mas à diferença deste último, Electre IS, considera os pseudo-critérios.

O problema da determinação dos pesos, dentro dos métodos de superação, atualmente preocupa os pesquisadores. Alguns autores como VINCKE (1988), apud ROUSSEAU (1993), têm considerado o caso de dispor uma relação de importância sobre os critérios, mas que não seja quantificar os pesos (métodos Melchior e Prométhée). O método Prométhée, analogamente ao Electre III, se destaca por se basear em conceitos e parâmetros físicos. Mas os limites de indiferença e de preferência são constantes e qualquer noção de discordância não é introduzida.

Finalmente, a escolha de um procedimento de ajuda à comparação do ciclo de vida de produtos apoia-se sobre um dos métodos de análise multicritério apresentados precedentemente, cujas características são relatadas dentro da Tabela 05. Esta lista de métodos não é completa.

Tabela 05: Características de alguns métodos de análise multicritério.

| Método | Tipo de procedimento (α, β, γ) | Tipo de critério | Ponderação dos critérios |
|--|--|-------------------------|---------------------------------|
| Agregação global: | | | |
| - Modelo aditivo e multiplicativo | α, β, γ | Verdadeiro critério | Sim |
| - Método JOUANY-VAILLANT | γ | Verdadeiro critério | Não, mas classificado |
| Agregação parcial: | | | |
| - Electres: | | | |
| Electre I | α | Verdadeiro critério | Sim |
| Electre II | γ | Verdadeiro critério | Sim |
| Electre III | γ | Pseudo-critério | Sim |
| Electre IV | α | Pseudo-critério | Não, mas classificado |
| Electre IS | γ | Pseudo-critério | Sim |
| - Melchior, (sem noção de discordância) | γ | Pseudo-critério | Não, mas classificado |
| - Prométhée (sem noção de discordância) | | Pseudo-critério | Sim |

3.2.3.2. Critérios de escolha de um método de análise multicritério

Para poder escolher um método adequado ao problema proposto, é importante saber como interagem os critérios entre si. Esta interação pode ser compreendida, de acordo com VINCKE (1988), apud ROUSSEAU (1993), a partir das três seguintes noções:

- da compensação;
- dos coeficientes de ponderação;
- da independência.

1) Compensação

Escolher um método de agregação multicritério, é escolher um tipo de compensação entre critérios. De modo intuitivo, o aspecto compensatório de um método traduz a relação que uma boa avaliação dentro de um critério compensa uma avaliação ruim dentro de um outro critério. Os métodos Electre são exemplos de métodos não compensatórios, eles favorecem as ações médias, ao detrimento das ações muito boas sobre certos critérios, e as ruins sobre outros. Um método não compensatório necessita uma relação de importância entre os critérios e um conjunto de discordância.

A modelagem aditiva de agregação global é um exemplo típico de um método fortemente compensatório.

Para a maioria dos problemas de agregação multicritério com os quais somos confrontados, não existe a necessidade de compensações. Com relação ao meio ambiente, os métodos compensatórios não são absolutamente convenientes, porque é evidente que um impacto ecológico grave sobre um ecossistema não pode, em nenhum caso, ser compensado por um impacto insignificante sobre um outro ecossistema.

Além disto, dentro da escolha de um método de análise multicritério, as duas abordagens do tipo superação (métodos não compensatórios) e de multi-atributos (métodos compensatórios) são dificilmente comparáveis porque elas dão um significado diferente aos coeficientes de ponderação.

2) Coeficientes de ponderação

Dentro do método da média ponderada, os pesos são na realidade constantes de escalas. Na troca da unidade, na qual é expresso um critério, seus pesos mudam. Os pesos se traduzem em termos de ganho sobre um critério, permitindo compor uma perda sobre um outro critério, e não em termos de importância dos critérios.

A classificação não é suficiente para determinar os coeficientes de ponderação que deve representar a importância relativa das diferentes consequências ecológicas.

Dentro do problema de determinação dos pesos, o objetivo não é de determinar apenas um jogo preciso de pesos, é preferível determinar a partir das classificações propostas um jogo de pesos que permita então analisar os pesos admissíveis.

A sensibilidade deste método está na variação dos parâmetros de ponderação, de modo a determinar o intervalo dos pesos dando o mesmo resultado.

Isto quer dizer que outros coeficientes podem ser propostos pelo decisor.

3) Independência dos critérios

A definição dos critérios implica que eles não sejam interativos. A noção de interação corresponde ao fato que certos critérios têm sobre a decisão final influências que são vinculadas entre si. Suas influências não são adicionadas por simples justaposição. A influência de um critério varia em função da situação global dentro dos quais se encontra inserida. Neste caso, se uma matéria-prima é consumida em quantidade importante, é ainda

mais grave se as reservas naturais desta matéria forem escassas, e tanto mais se esta matéria não for renovável.

Entretanto, eliminar um critério porque é fortemente correspondente a um outro, retorna a perda de informação que, em termos de ajuda a decisão, não é necessariamente redundante e pode então ser útil, na verdade indispensável.

Em face deste dilema, ROUSSEAU (1993), propõe, a agregação dos três critérios ecológicos dependentes em somente um (que ele nomeou de Perdas de Matérias-Primas), para o método JOUANY-VAILLANT. Este método de agregação global considera as interações entre critérios.

Após a análise multicritério feita de modo implícito para a escolha de um método multicritério apropriado a este estudo, onde os critérios considerados são:

- o tipo de procedimento (α , β , γ),
- a característica não compensatória,
- o tipo de critério (verdadeiro critério, ou pseudo-critério),
- a composição dos pesos,

será aplicado, em um segundo momento, o método Electre IS à nova classe de critérios ecológicos restantes.

3.2.3.3. Método Electre IS

O método Electre IS usa um procedimento não compensatório que permite considerar as ações avaliadas com os coeficientes de ponderação correspondentes. Enfim, ele objetiva ajudar a comparar as ações em vista da escolha da melhor ação (procedimento α).

O método Electre IS, baseia-se:

- em um índice de superação $S(a, b)$ que expressa, para todo par de ações (a, b) , se a afirmação “a supera b”, sobre o conjunto F dos critérios, é aceita;
- em um reforço do efeito crítico quando a importância do conjunto dos critérios concorda com a afirmação de superação decrescente.

As etapas deste método são as seguintes:

- apresentação do conjunto das ações A e da família coerente de pseudo-critérios F ;
- construção da tabela de concordância;
- construção da tabela de discordância;
- construção da tabela de superação e apresentação dos resultados.

Examinemos estas quatro etapas:

1) Apresentação do conjunto das ações (A) e da família coerente de critérios (F)

Para explicar este método, usaremos o seguinte exemplo:

Sendo A , o conjunto de quatro antropossistemas: $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$.

Sendo F , a família coerente de critérios ecológicos: $\{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6\}$.

Com:

g_1 : eficiência energética do antropossistema. Este critério é avaliado por $1 - \eta$ (η é o rendimento energético). A escolha desta avaliação se explica pelo fato que, para todos os critérios, as preferências estão em sentido decrescente das avaliações (é dito que uma ação é tanto melhor que sua avaliação quando o critério é menor);

g_2 : perdas de matérias-primas avaliadas para uma posição de acordo com o método modelado por JOUANY-VAILLANT;

g3: potencial ecotóxico de efluentes líquidos;

g4: potencial ecotóxico de efluentes gasosos;

g5: volume dos dejetos emitidos;

g6: potencial ecotóxico dos lixiviantes emitidos.

Cada antropossistema “a” de “A” é avaliado em função da unidade funcional sobre o conjunto F dos critérios. Para nosso exemplo, temos a seguinte matriz de avaliação:

Tabela 06: Matriz de avaliação.

| | g1 | g2 | g3 | g4 | g5 | g6 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| a1 | 0,40 | 8 | 0,75 | 0,55 | 150 | 0,7 |
| a2 | 0,55 | 4 | 0,55 | 0,20 | 85 | 0,4 |
| a3 | 0,35 | 7 | 0,65 | 0,90 | 105 | 0,8 |
| a4 | 0,70 | 3 | 0,80 | 0,40 | 70 | 0,9 |

Entretanto, a avaliação dos diferentes dados caracteriza os critérios.

Sejam q_j , p_j e v_j respectivamente os limites de indiferença, de preferência e de proibição associados ao critério j , lembramos que:

se $0 \leq g_j(a) - g_j(a') \leq q_j$, então a e a' são indiferentes para o critério j ;

se $q_j < g_j(a) - g_j(a') \leq p_j$, então a' é fracamente preferível à a para o critério j ;

se $g_j(a) - g_j(a') > p_j$, então a' é estritamente preferível à a para o critério j ;

se $g_j(a) - g_j(a') \geq v_j$ (v_j limite de crítico relativo), então a não supera a' sobre o conjunto F dos critérios.

se $g_j(a) \geq v_j$ (limite crítico absoluto), então a não supera nenhuma ação de A sobre o conjunto F dos critérios.

ROY e BOUYSSOU (1992), propõem calcular estes intervalos a partir da fórmula:

$$\alpha_j + \beta_j g_j(a) \quad (3.21)$$

Considerando para $g_j(a)$:

- ser a pior avaliação das ações de A em relação ao critério j, o intervalo é então dito direto;
- ser a melhor avaliação das ações de A em relação ao critério j, o intervalo é chamado inverso.

Neste exemplo foram escolhidos arbitrariamente os seguintes intervalos:

Tabela 07: Limites associados aos critérios.

| | g1 | g2 | g3 | g4 | g5 | g6 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| qj | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,1 | 20 | 0,1 |
| pj | 0,2 | 0 | 0,2 | 0,2 | 30 | 0,2 |
| vj | 0,9 | 20 | 0,9 | 0,9 | 100 | 0,9 |
| kj* | 3 | 3 | 11 | 10 | 1 | 11 |

*: k_j representa o coeficiente de ponderação do critério j que é determinado a partir de sondagens ou é arbitrado.

2) Construção da tabela de concordância

a) Determinação dos índices de concordância

No cálculo do índice de concordância associado a cada critério, o qual será $C_j(a,b)$, representa o índice de concordância com a proposição “a é ao menos tanto quanto bom que b para o critério j”. Ele varia de 0 à 1 de acordo com a situação de preferência que existe entre as duas ações a e b.

Examinemos, para um $g_j(a)$ fixo, as variações dos índices de concordância $C_j(a,b)$ e $C_j(b,a)$ em função de $g_j(b)$. (Figura 15).

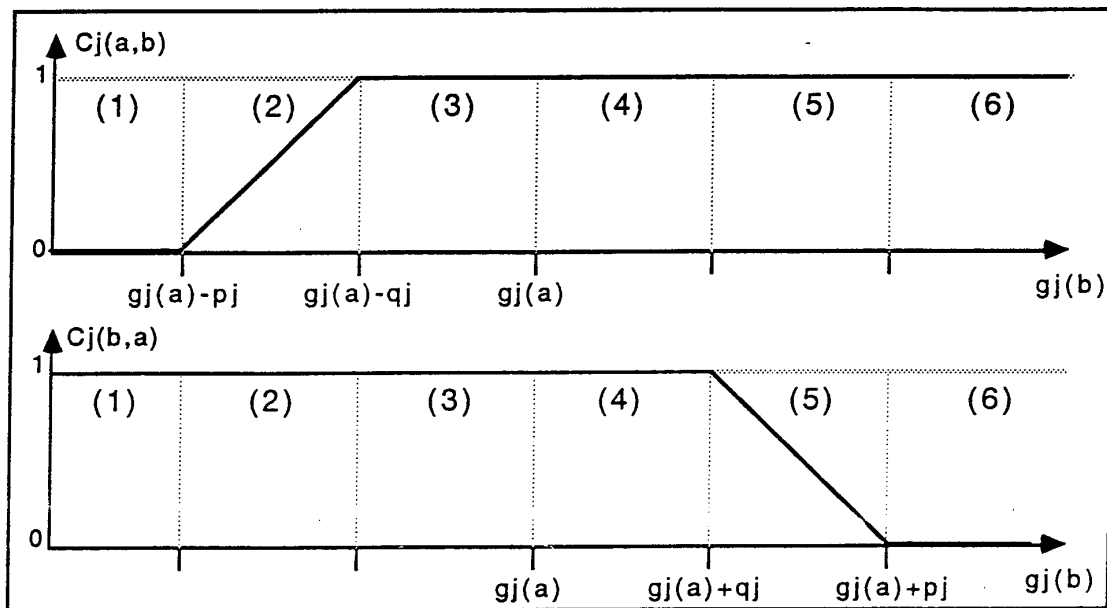


Figura 15: Variações de $C_j(a,b)$ e de $C_j(b,a)$ em função de $g_j(b)$.

A partir destas representações gráficas, seguindo o intervalo dentro do qual se encontra $g_j(b)$, os valores dos índices de concordância são os seguintes:

Tabela 08: Índices de concordância para seus respectivos intervalos.

| Intervalo | Situação de preferência sobre o critério j | Justificativa da situação de preferência | C_j (a, b) | C_j (b, a) |
|------------------|---|---|---|---|
| (1) | b é estritamente preferível que a | $g_j(a) - g_j(b) > p$ | 0 | 1 |
| (2) | b é fragilmente preferível que a | $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ | $\frac{g_j(b) + p_j - g_j(a)}{p_j - q_j}$ | 1 |
| (3) ou (4) | b é indiferente com relação a a | $0 \leq g_j(b) - g_j(a) \leq q$ | 1 | 1 |
| (5) | a é fragilmente preferível à b | $q < g_j(b) - g_j(a) \leq p$ | 1 | $\frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{q_j - p_j}$ |
| (6) | a é estritamente preferível à b | $g_j(b) - g_j(a) > p$ | 1 | 0 |

Para os intervalos (2) e (5), $C_j(a, b)$ e $C_j(b, a)$ são avaliados pela correlação linear. A escolha de uma representação linear para os índices de concordância dentro das situações de preferência fraca pode aparentar arbitrariedade, mas todas as outras escolhas seriam mais arbitrárias pelo fato da característica de ambigüidade da situação de preferência fraca. Com efeito, neste caso de preferência fraca, a comparação entre duas ações é ambígua porque a preferência fraca traduz uma excitação entre a aceitação e a rejeição da relação de superação entre as duas ações. Isto justifica então levar em conta as situações onde b é fracamente preferível à a ($b \ Q \ a$), que concorda com a afirmativa a supera b ($a \ S \ b$). Por

consequência, os índices de concordância $C_j(a, b)$ para os quais $b \geq a$, são compreendidos entre 0 e 1.

Do mesmo modo, representamos sobre a Figura 16, as variações do índice de concordância relativa ao critério g_3 (potencial ecotóxico para o efluente líquido), para a_4 e os outros antropossistemas: $C_3(a_4, x)$, onde x é um antropossistema diferente que a_4 , pertencente à A.

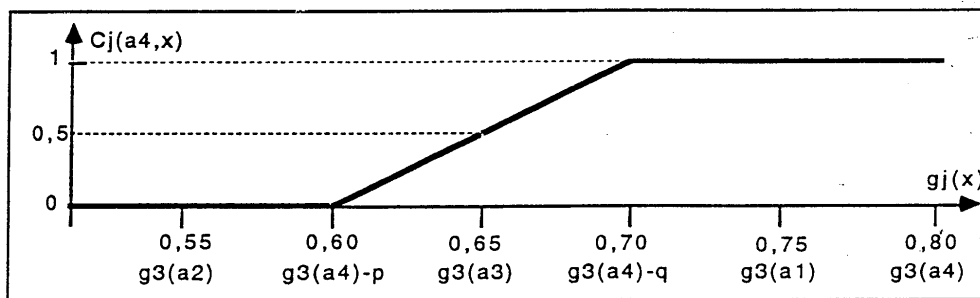


Figura 16: $C_3(a_4, x)$ em função de $g_3(a_4)$.

Obtemos então os seguintes índices de concordância:

$$C_3(a_4, a_1) = 1$$

$$C_3(a_4, a_2) = 0$$

$$C_3(a_4, a_3) = [g_3(a_3) + p_3 - g_3(a_4)] / [p_3 - q_3] = [0,65 + 0,2 - 0,8] / [0,2 - 0,1] = 0,5$$

Deste modo, se obtem um índice de concordância $C_j(a, b)$ relativo ao critério j para todo par de ações (a, b) e se constrói as matrizes de concordância por critério.

Obtemos as matrizes de concordância mostradas na Figura 17.

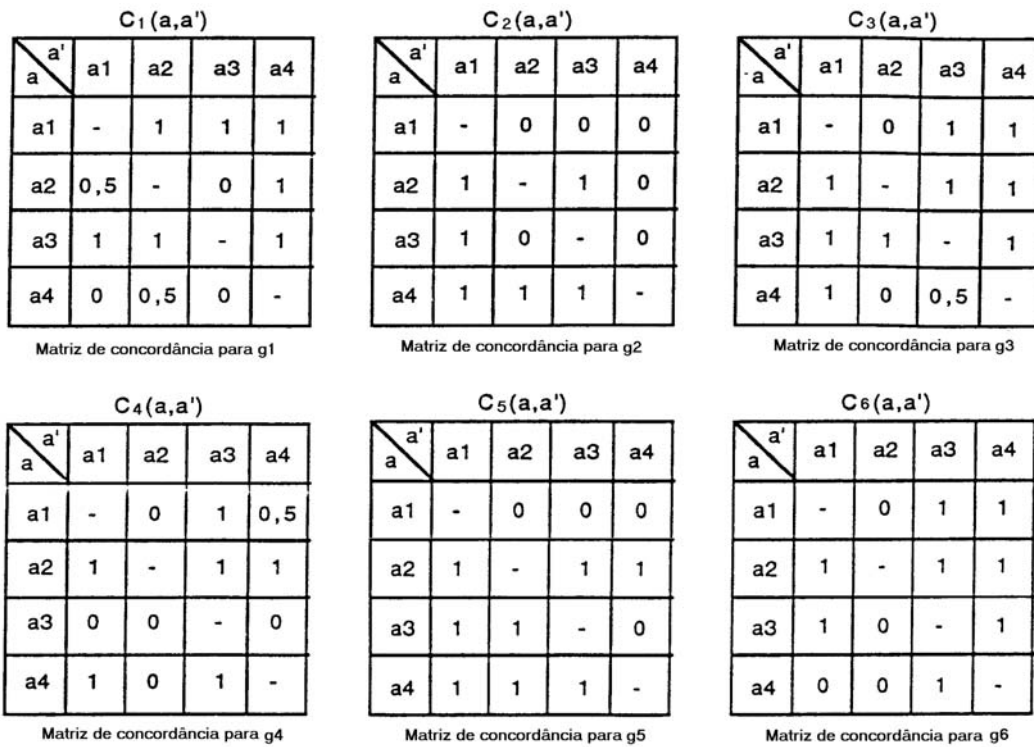


Figura 17: Matrizes de concordância.

b) Agregação das preferências parciais

A partir dos índices de concordância por critério, determina-se o índice global de concordância $C(a, b)$ sobre o conjunto F dos critérios, considerando sua importância relativa:

$$C(a, b) = \frac{\sum_j k_j C_j(a, b)}{\sum_j k_j} \quad (3.22)$$

Sendo:

k_j : coeficiente de ponderação do critério j ;

$C_j(a, b)$: índice de concordância relativo ao critério j .

Este índice global de concordância expressa dentro das medidas de avaliação de a e de b sobre todos os critérios que estão em concordância com a afirmação “a supera b”. Se este índice é superior ao intervalo de concordância s ($s \geq \frac{1}{2}$), fixado pelo usuário, então a condição de concordância será aceita; em caso contrario, a afirmação “a supera b” será rejeitada.

Os índices de concordância de todos os pares de ações são representados em uma tabela de concordância. Para o exemplo, obtemos a tabela de concordância mostrada na Figura 18.

$C(a, a')$

| a \ a' | a1 | a2 | a3 | a4 |
|--------|------|------|------|------|
| a1 | - | 0,08 | 0,90 | 0,80 |
| a2 | 0,96 | - | 0,92 | 0,92 |
| a3 | 0,74 | 0,92 | - | 0,64 |
| a4 | 0,64 | 0,14 | 0,50 | - |

Figura 18: Tabela de concordância

3) Construção da tabela de discordância.

a) Determinação dos índices de discordância.

Paralelamente a relação de concordância precedentemente definida, intervém a noção de discordância. Um critério g_j é dito discordante face a afirmação “a supera b”, se b é estritamente preferível à a para este critério g_j , a saber, se:

$$g_j(a) - g_j(b) \geq p_j \quad (3.23)$$

sendo p_j o intervalo de preferência.

Esta discordância torna-se global, se para este mesmo critério g_j :

$$g_j(a) - g_j(b) \geq v_j \quad (3.24)$$

sendo v_j o limite crítico relativo.

Esta condição de discordância é chamada Limite crítico relativo.

Limite crítico relativo

Para que a afirmação “a supera b” seja aceita, para todo o critério j afetado de um limite crítico relativo v_j , a condição de não crítico é verifica, a saber:

$$v_j > g_j(a) - g_j(b) \quad (3.25)$$

Para o Electre IS, esta condição de não crítico é reforçada quando o número de critérios concordantes decresce:

$$g_j(b) + v_j > g_j(a) + w_j \quad (3.26)$$

Sendo:

$$w_j = q_j \frac{1 - C(a,b) - \frac{k_j}{k(F)}}{1 - s - \frac{k_j}{k(F)}} \quad (3.27)$$

A condição de discordância é examinada:

- se a condição de concordância é verificada, isto é dito se $C(a, b) \geq s$, e;

- se ela existe ao menos em um critério discordante. Tomemos o caso limite onde ela existe em somente um critério discordante g_i de coeficiente de ponderação k_i e onde todos os outros critérios são concordantes, desta condição:

$$C(a,b) = \frac{(\sum_j k_j - k_i) \times 1}{\sum_j k_j} = 1 - \frac{k_i}{k(F)} \quad (3.28)$$

Por definição, a condição de não crítico é expressa pela desigualdade:

$$g_j(b) + v_j > g_j(a) \quad (3.29)$$

O princípio do reforço do limite crítico consiste em adicionar a $g_j(a)$ uma certa quantidade w_j , a fim de dar mais rigor ao efeito crítico, quando $C(a,b)$ decresce de $[1 - k_i / k(F)]$ para s . (Figura 19).

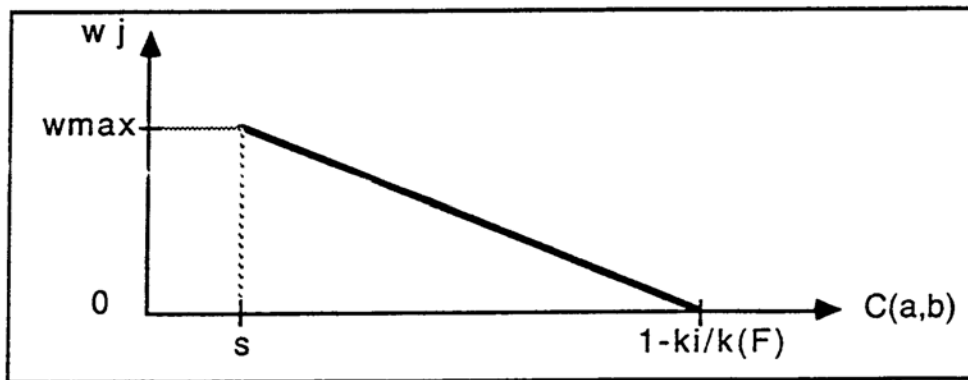


Figura 19: Variação do reforço do limite crítico (w_j) em função do índice global de concordância $C(a,b)$.

O autor deste método escolheu uma linha decrescente de w_j em função do índice de concordância $C(a, b)$. Por correlação linear, encontra-se então:

$$w_j = w_{\max} \frac{1 - C(a,b) - \frac{k_i}{k(F)}}{1 - s - \frac{k_i}{k(F)}} \quad (3.30)$$

Como este termo w_j representa o efeito de reforço vindo a adicionar a $g_j(a)$, ROY e BOUYSSOU (1992), propõe vincular seu máximo (w_{\max}) à maior imprecisão que influencia a avaliação de a . Por esta razão e a fim de limitar o impacto deste efeito de reforço, propõe-se considerar:

$$w_{\max} = q_j \quad (3.31)$$

sendo q_j o limite de indiferença avaliado a partir de $g_j(a)$.

De onde a condição de não crítico, temos:

$$g_j(b) + v_j > g_j(a) + w_j \quad (3.32)$$

Sendo:

$$w_j = q_j \frac{1 - C(a,b) - \frac{k_i}{k(F)}}{1 - s - \frac{k_i}{k(F)}} \quad (3.33)$$

A partir desta condição, avalia-se o índice de discordância $D_j(a, b)$ relativo ao critério j da seguinte maneira:

se esta condição de não crítico é verificada, tem-se:

$$D_j(a, b) = 0 \quad (3.34)$$

caso contrário:

$$D_j(a, b) = 1 \tag{3.35}$$

Nota: O termo k_i / k (F) é necessário se deseja-se ser perfeitamente coerente com a definição de crítico. Dentro desta aplicação, temos:

$$w_j = [1 - C(a, b)] / [1 - s] \tag{3.36}$$

Obtém-se assim os índices de discordância relativos aos critérios e constroi-se as matrizes de discordância por critério.

Observação: se $C(a, b) < s$, a condição de concordância não é satisfeita, torna-se então inútil calcular $S_j(a, b)$. Isto se traduz na matriz de discordância para o caractere “*”.

Para o exemplo de referência ($s = 0,65$), obtemos as matrizes de discordância mostradas na Figura 20.

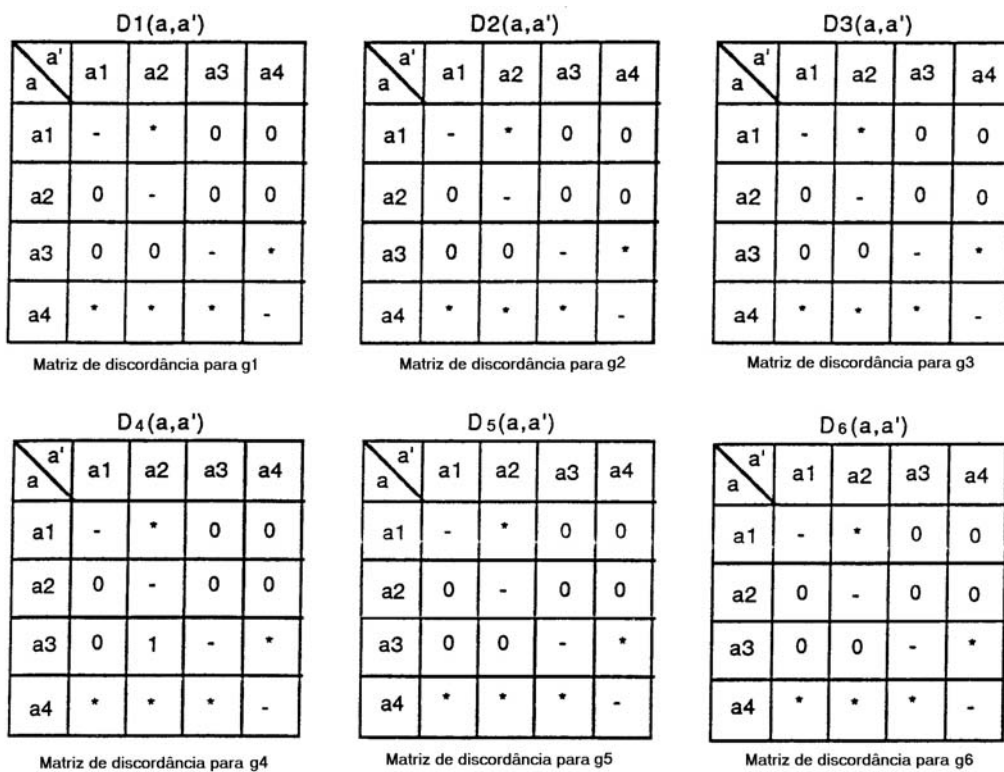


Figura 20: Matrizes de concordância

b) Síntese das discordâncias parciais.

Para cada par de ações (a, b), o índice global de discordância $D(a, b)$ define-se sobre um critério ao menos, as avaliações de a e de b opõem-se a superação de a para b.

Se para todo j, $d_j(a, b) = 0$, então:

$$D(a, b) = 0 \quad (3.37)$$

entretanto:

$$D(a, b) = 1 \quad (3.38)$$

Representa-se estes índices globais de discordância em uma tabela de discordância, conforme mostrado na Figura 21.

| $a \backslash a'$ | a1 | a2 | a3 | a4 |
|-------------------|----|----|----|----|
| a1 | - | * | 0 | 0 |
| a2 | 0 | - | 0 | 0 |
| a3 | 1 | 1 | - | 1 |
| a4 | * | * | * | - |

Figura 21: Tabela de discordância.

4) Construção da tabela de superação e apresentação dos resultados.

a) Determinação dos índices de superação.

Para cada par de ações (a, b), calcula-se um índice de superação $S(a, b)$ considerando os valores de a e de b sobre todos os critérios, a superação de b para a é aceita ou rejeitada.

Determina-se $S(a, b)$ a partir das tabelas de concordância e de discordância e do intervalo de concordância s . Este intervalo de concordância s , intervém na avaliação do índice de concordância global $C(a, b)$; para cada par de ações (a, b) , o índice s representa o valor de $C(a, b)$ a partir do qual o estudo aceita a superação de b para a .

Este intervalo s é superior ou igual a 0,5; os valores superiores a 0,8 para s correspondem às exigências de concordância fortes.

Para cada par de ações (a, b) obtém-se o valor do índice de superação $S(a, b)$ e aplica-se dois testes:

$$\text{se: } C(a, b) \geq s \text{ teste de concordância,} \quad (3.39)$$

$$\text{e se: } D(a, b) = 0 \text{ teste de discordância,} \quad (3.40)$$

$$\text{então: } S(a, b) = 1 \quad (3.41)$$

$$\text{caso contrario: } S(a, b) = 0 \quad (3.42)$$

A afirmação “ a supera b ” é válida se:

$$S(a, b) = 1$$

b) Tabela de superação

É constituída dos índices de superação precedentemente estabelecidos.

Para $s = 0,65$, a Figura 22 mostra os valores.

| | | S(a,a') | | | |
|----|----|---------|----|----|----|
| | | a1 | a2 | a3 | a4 |
| a | a' | | | | |
| a1 | | - | 0 | 1 | 1 |
| a2 | | 1 | - | 1 | 1 |
| a3 | | 0 | 0 | - | 0 |
| a4 | | 0 | 0 | 0 | - |

Figura 22: Tabela de superação.

c) Apresentação dos resultados.

Para apresentar os resultados, ROY e BOUYSSOU (1992), propõe visualizar as relações de superação a partir de diagramas: se a supera b, uma flecha dirige-se de a para b. (Figura 23).

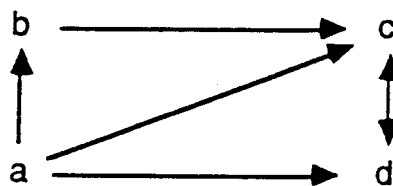


Figura 23: Diagrama de apresentação dos resultados.

Lêem-se os resultados:

- a supera b, c e d;
- b supera c;
- c e d são equivalentes;
- b e d são incomparáveis.

Define-se o núcleo do gráfico de superação como o conjunto das ações verificadas nas duas propriedades seguintes:

- todas as ações não pertencentes ao centro são superadas para ao menos uma ação do centro.

No diagrama precedente, o núcleo é composto pela ação a.

O diagrama correspondente ao nosso exemplo de referência é mostrado na Figura 24.

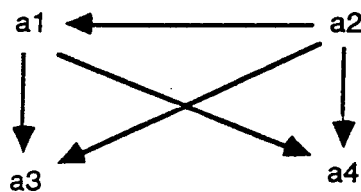


Figura 24: Diagrama do exemplo.

Onde se deduz:

- o núcleo é composto unicamente por a2; este é então o antropossistema mais eco-compatível;
- o valor ecológico de a1 mostra-se maior que a3 e a4;
- a3 e a4 não são compatíveis entre si.

3.3. Esquematização do método de avaliação comparativa dos impactos ambientais do ciclo de vida de produtos

I. Estabelecimento do balanço ecológico.

OBJETIVOS DO ESTUDO:

- utilização do estudo;
- limites dos sistemas;
- unidade funcional.

OBJETIVOS DO MÉTODO PROPOSTO:

- identificação dos produtos (mantendo a mesma função);
- apresentação do antropossistema;
- definição de acordo com a unidade funcional [f (unidade do produto e da função)].

BALANÇOS MATÉRIA-ENERGIA:

- coleta dos dados de entradas e saídas do antropossistema;
- elaboração dos balanços das matérias e das energias para o antropossistema:
 - Consumo de matérias-primas;
 - Consumo de energia;
 - Emissões gasosas;
 - Resíduos sólidos.

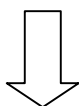
ANÁLISE DOS IMPACTOS – quanto ao meio receptor

II. Comparação dos produtos para análise multicritério dos balanços ecológicos.

AVALIAÇÃO COMPARATIVA:

- agregação dos demais critérios para o Electre IS:

- determinação das características dos critérios ecológicos;
- comparação dos ciclos de vida dos produtos.



DESIGNAÇÃO DO MELHOR PRODUTO

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1. Considerações iniciais

O objetivo desta aplicação não é apenas estabelecer o bloco mais ecocompatível, mas também verificar o método proposto aplicando os conceitos apresentados.

Considerando que não se dispõe de todos os dados necessários, o balanço ecológico será considerado estável sobre o ciclo de vida parcial dos blocos em questão.

Para o estudo foram selecionados blocos cerâmicos e de concreto com as seguintes características:

Tabela 09: Dados comparativos entre os produtos de estudo.

| Dados | Unidades | Bloco Cerâmico | Bloco de Concreto |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| Dimensões | cm | 14 x 19 x 29 | 14 x 19 x 29 |
| N.º de componentes (exceto canaletas) | un | 3 | 3 |
| Quantidade / m ² | un | 16,67 | 16,67 |
| Peso | kg | 6,80 | 9,35 |
| Resistência a compressão (área bruta) | MPa | 17,00 | 6,00 |
| Consumo de argamassa de assentamento | l / m ² | 6,75 | 6,75 |
| N.º de pavimentos | un | 10 | 15 |

4.1.1. Coleta de dados

Para se ter um conhecimento detalhado do processo de produção dos blocos, tanto cerâmicos como de concreto, foram feitas visitas às indústrias selecionadas para o estudo, a fim de identificar e descrever cada fase do processo de produção, conhecendo a tecnologia utilizada. Os dados foram confirmados e/ou complementados através de pesquisa à literatura pertinente, e a órgãos públicos de controle e proteção ambiental.

Foram identificadas as variáveis do processo, ou seja, quais são as entradas e saídas envolvidas. Sendo considerado como entradas: matérias-primas, água e energia necessárias para a produção; e como saídas: as emissões atmosféricas, os efluentes líquidos – que são inexistentes para ambos os processos – e os resíduos sólidos gerados.

Os resíduos sólidos foram considerados como sendo as perdas de materiais, durante o processo, que compõem os blocos, visto que para o nosso caso a produção não apresenta outras substâncias sólidas relevantes a serem consideradas como resíduos sólidos. As quantidades de perdas foram fornecidas pelas próprias indústrias.

Quanto aos efluentes gasosos, devido ao relativo pequeno porte das empresas e a não exigência do conhecimento específico de seus efluentes gasosos pelos órgãos de fiscalização ambiental, neste trabalho não nos preocupamos em identificar e classificar distintamente cada gás emitido, visto que estaríamos entrando em outras áreas de pesquisa que não são objetos do estudo. As quantidades das emissões gasosas foram deduzidas no balanço de massas, visto serem o único dado não conhecido pelas indústrias selecionadas para o estudo de caso.

Optou-se por fazer um estudo de caso visto que o número de empresas que produzem blocos estruturais no estado de Santa Catarina é bastante reduzido, foram identificadas apenas uma empresa produtora de blocos cerâmicos e duas de blocos de concreto, o que faz do estudo de caso uma amostra bastante significativa.

O antropossistema definido para a aplicação do método se restringe a produção dos blocos.

Nossa simulação consiste em:

- elaborar um balanço de massas;
- avaliar suas conseqüências ecológicas;
- comparar o balanço ecológico do ciclo de vida dos blocos.

4.2. Determinação da unidade funcional

Para a avaliação comparativa entre ambos os sistemas, deve-se primeiramente definir-se a unidade funcional (também chamada de unidade de comparação), a qual permite comparar diferentes produtos que desempenhem a mesma função. Esta unidade deve ser estabelecida conforme os objetivos do estudo e a utilização dos produtos, permitindo relacionar a unidade do produto, com a unidade de sua função.

Portanto esta unidade integra implicitamente a consideração simultânea da unidade de produção e sua função:

- a função do produto (unidade de função);
- as características do material constituinte do produto (unidade do produto).

Para este trabalho usou-se 155,86 kg / m² ou 16,67 bl / m² a 6 MPa de resistência para blocos de concreto, e 113,36 kg / m² ou 16,67 bl / m² para blocos cerâmicos com a mesma resistência, sendo as dimensões de 29 x 19 x 14 cm, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10: Unidade funcional.

| | Bloco de Concreto | Bloco Cerâmico |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Unidade de função | 16,67 bl / m ² | 16,67 bl / m ² |
| Unidade de produto | 155,86 kg / m ² | 113,36 kg / m ² |

4.3. Balanço de matéria-energia

Este balanço atua, em um primeiro momento, conforme apresentado sinteticamente abaixo:

- os sistemas energéticos utilizados na produção dos blocos;
- os processos de produção dos blocos.

Em um segundo momento teremos o inventário dos resíduos gerados pelo processo de produção.

4.3.1. Sistemas energéticos

As indústrias selecionadas para a aplicação do método, utilizam-se dos seguintes sistemas energéticos:

- Indústria de blocos de concreto: Sistema de energia elétrica, proveniente de centrais hidroelétricas;
- Indústria de blocos cerâmicos: Sistema de energia elétrica, proveniente de centrais hidroelétricas, e sistema térmico, proveniente da queima de resíduos vegetais (serragem e refilo). Para efeitos de comparação o consumo deste último tipo de energia não é considerado neste trabalho.

A eletricidade produzida a partir de turbinas de uma central hidroelétrica apresenta um rendimento entre 80 e 90%, as perdas existentes são devidas a movimentos de fricção e a irreversibilidade do sistema.

A produção de eletricidade feita a partir de máquinas síncronas ou assíncronas, rende em média 92 a 98%.

O rendimento global de uma central hidroelétrica apresenta-se em torno de 74%. (ROUSSEAU, 1993).

As centrais hidroelétricas fazem parte dos sistemas energéticos mais eco-compatíveis, pelo fato delas não rejeitarem poluentes durante seu funcionamento. Entretanto, seus impactos podem ser atribuídos as modificações do fluxo natural das águas, a migração de peixes e a pressão na crosta terrestre.

4.3.2. Balanço matéria-energia da produção dos blocos

Os balanços são realizados para o consumo de material pela unidade funcional, utilizando os dados fornecidos pelas próprias indústrias escolhidas para o estudo de caso.

Examinemos os diferentes produtos:

4.3.2.1. Blocos de concreto

a) Produção

A Figura 25 mostra o layout de uma indústria de blocos de concreto, com seus respectivos equipamentos, e a Figura 26 mostra o fluxograma do processo de produção de blocos de concreto.

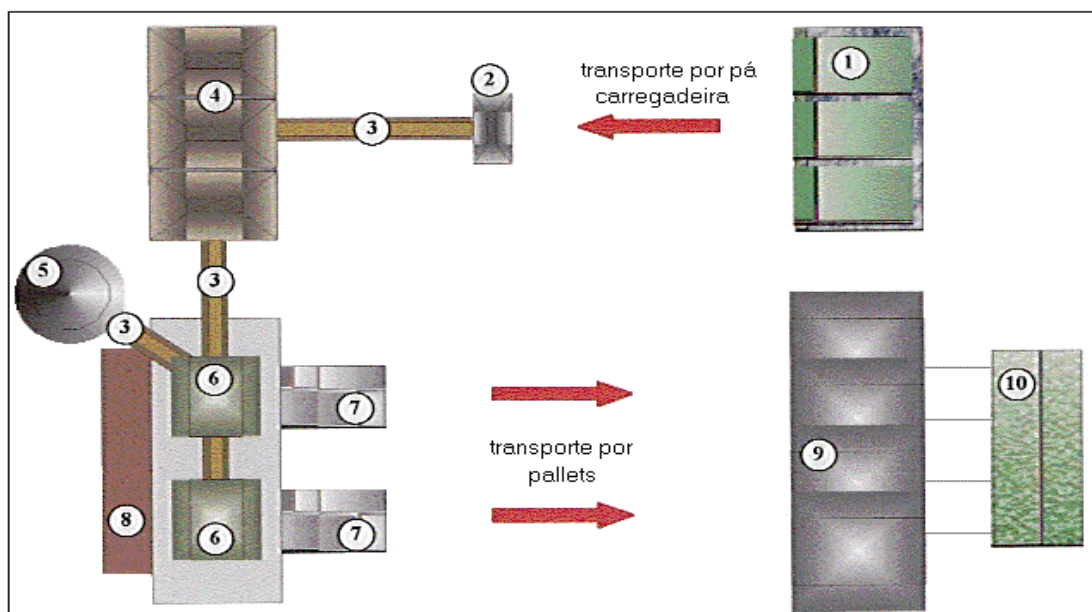


Figura 25: Layout de uma indústria de blocos de concreto. (FRASSON, 2000).

Sendo:

- 1 – Baias de agregados;
- 2 – Cuba para recepção dos agregados das baias;
- 3 – Correia transportadora;
- 4 – Silo / balança de agregados;
- 5 – Silo de cimento;
- 6 – Máquinas vibro-prensas;
- 7 – Transportador de chapas;
- 8 – Misturadores;
- 9 – Câmaras de cura;
- 10 – Caldeira.



Foto 01: Baias de agregados.



Foto 02: Correia transportadora.



Foto 03: Pátio para armazenagem paletizada dos blocos.

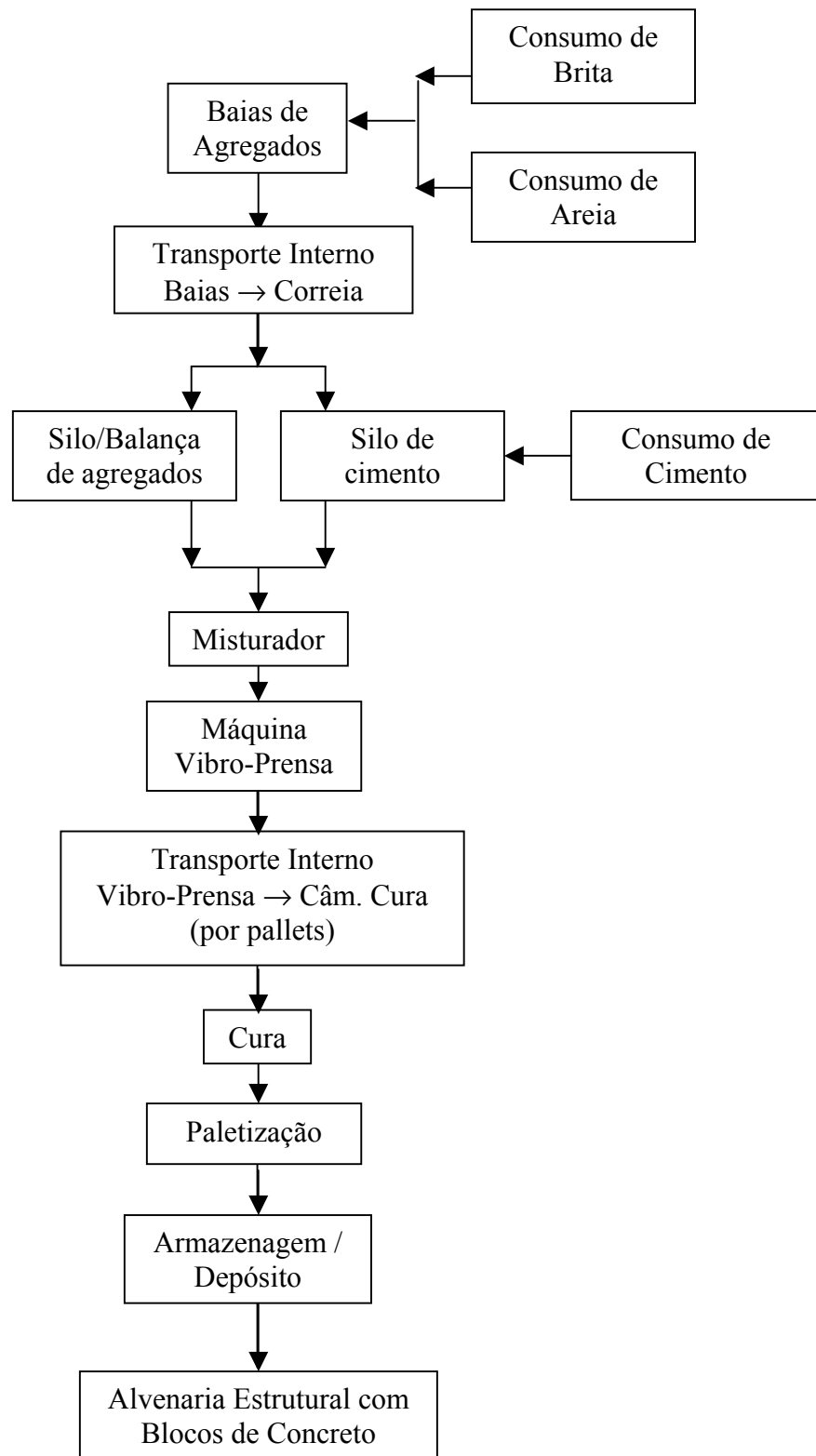


Figura 26: Fluxograma do processo de produção de blocos de concreto.

b) Balanço matéria-energia para a produção de blocos de concreto. (Tabela 11).

Tabela 11: Balanço da produção de blocos de concreto.

| Entradas e saídas de produção | | kg / unidade funcional |
|-------------------------------|--|------------------------|
| Entradas | Matérias-primas extraídas: | |
| | – cimento | 16,9000 |
| | – areia | 85,2000 |
| | – pedrisco | 54,6000 |
| | Total de Matérias-primas: | 156,7000 |
| | Consumo de água: | 3,3000 |
| | Total de entradas (matérias-primas + água): | 160,000 |
| Saídas | Efluentes gasosos: | 0,0330 |
| | Rejeitos sólidos: | 4,6758 |
| | Blocos concreto (produto): | 155,8600 |
| | Total de saídas (efl. gasosos + rej. sólidos + produto): | 160,5588 |
| Entradas – Saídas / Saídas | | 0,0035 |
| Energia consumida: | | 2,9544 kwh / un. func. |

4.3.2.2. Blocos cerâmicos

a) Produção

A Figura 27 mostra o layout de uma indústria de blocos cerâmicos, com seus respectivos equipamentos, e a Figura 28 mostra o fluxograma do processo de produção de blocos de cerâmicos.

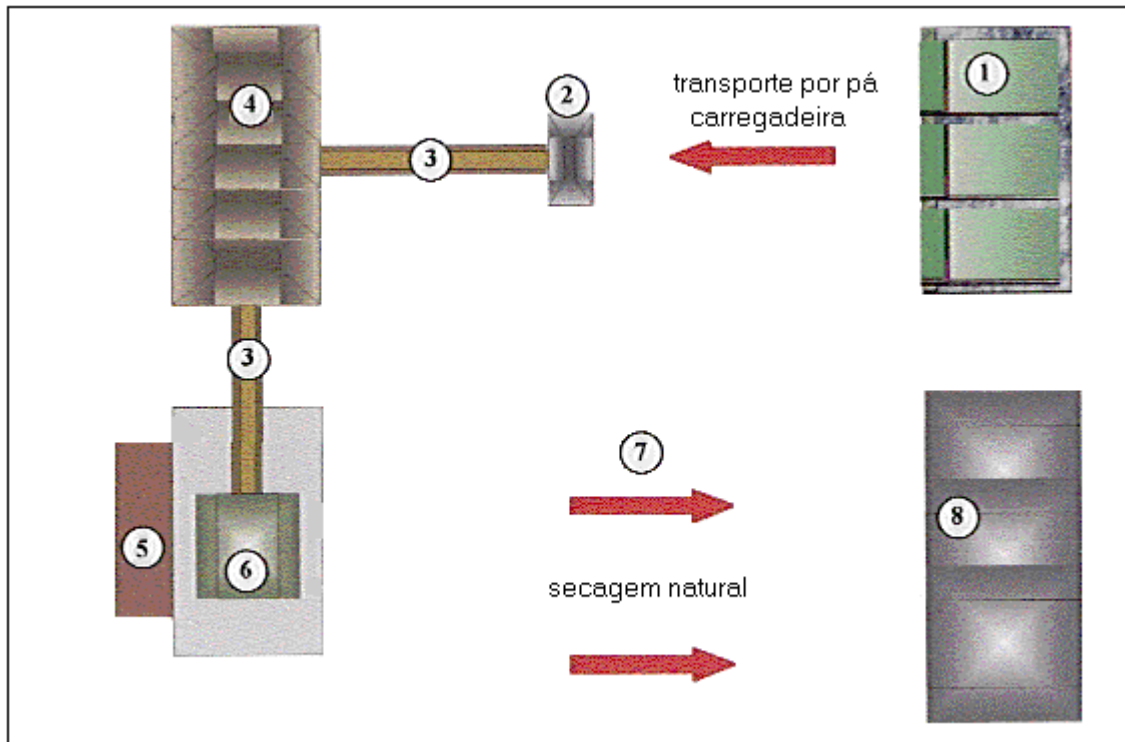


Figura 27: Layout de uma indústria de blocos cerâmicos.

Sendo:

- 1 – Baías de argilas;
- 2 – Cuba para recepção das argilas;
- 3 – Transporte contínuo / vagoneta;
- 4 – Trituração;
- 5 – Homogeneizador / amassador;
- 6 – Prensa / Parafuso-sem-fim;
- 7 – Secagem natural;
- 8 – Forno.



Foto 04: Baias de argilas.

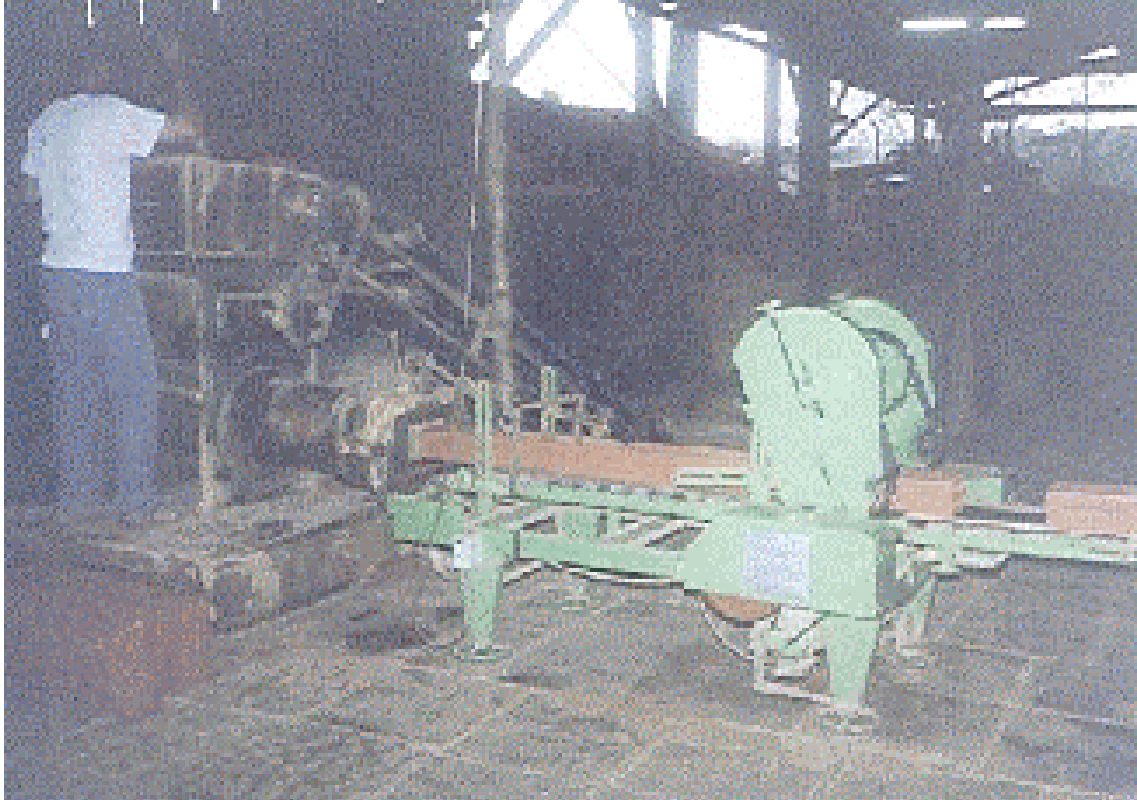


Foto 05: Esteira para transporte interno dos blocos cerâmicos.

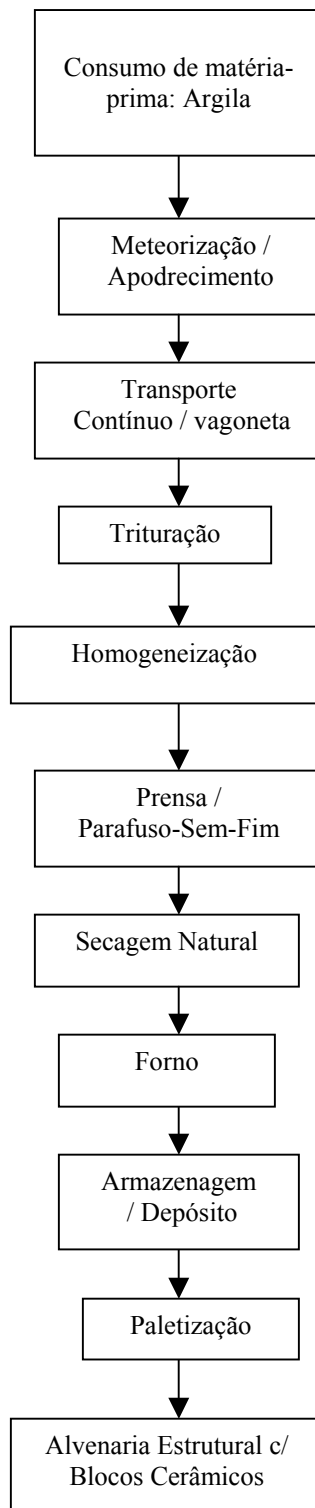


Figura 28: Fluxograma do processo de produção de blocos cerâmicos.

b) Balanço matéria-energia para a produção de blocos cerâmicos. (Tabela 12).

Tabela 12: Balanço da produção de blocos cerâmicos.

| Entradas e saídas de produção | | kg / unidade funcional |
|-------------------------------|--|------------------------|
| Entradas | Matérias-primas extraídas: | |
| | – argila | 100,0000 |
| | Total de Matérias-primas: | 100,0000 |
| | Consumo de água: | 25,0000 |
| | Total de entradas (matérias-primas + água): | 125,000 |
| Saídas | Efluentes gasosos: | 7,5000 |
| | Rejeitos sólidos: | 3,4056 |
| | Blocos cerâmicos (produto): | 113,3600 |
| | Total de saídas (efl. gasosos + rej. sólidos + produto): | 124,2656 |
| Entradas – Saídas / Saídas | | 0,0059 |
| Energia consumida: | | 3,0648 kwh / un. func. |

Nos resta agora reunir os dois balanços precedentes, já quantificados para a unidade funcional, afim de se obter o balanço global seguinte, sabendo-se que os efluentes líquidos não constam nos cálculos porque as indústrias estudadas não apresentam este tipo de rejeito em seus processos.

Tabela 13: Balanço global de matéria do ciclo de vida dos blocos.

| | Unidade / Unidade funcional | |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| | Bloco de concreto | Bloco cerâmico |
| Matérias-primas (M ³): | 156,7000 | 100,0000 |
| Consumo de água: | 3,3000 | 25,0000 |
| Energia elétrica: | 2,9544 | 3,0648 |
| Efluentes gasosos: | 0,0330 | 7,5000 |
| Rejeitos sólidos: | 4,6758 | 3,4056 |

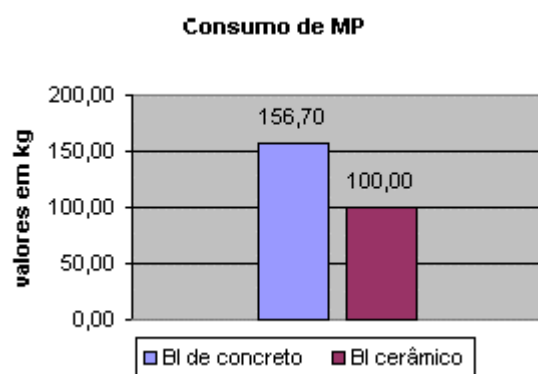


Gráfico 01: Consumo de matérias-primas.

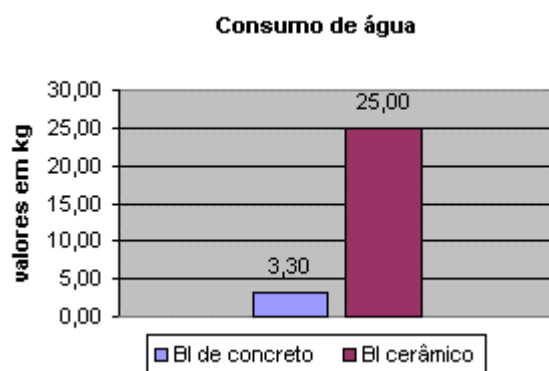


Gráfico 02: Consumo de água.

Consumo de energia

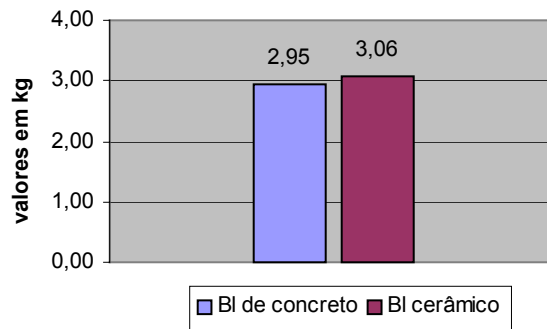


Gráfico 03: Consumo de energia elétrica.

Emissões gasosas

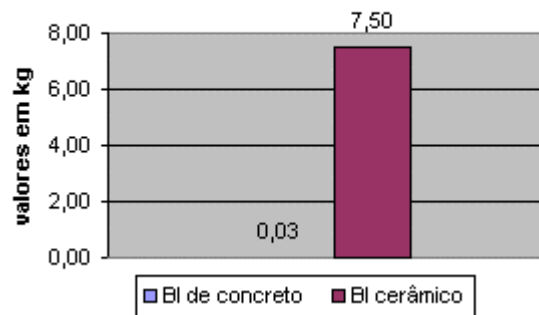


Gráfico 04: Emissões gasosas.

Rejeitos sólidos

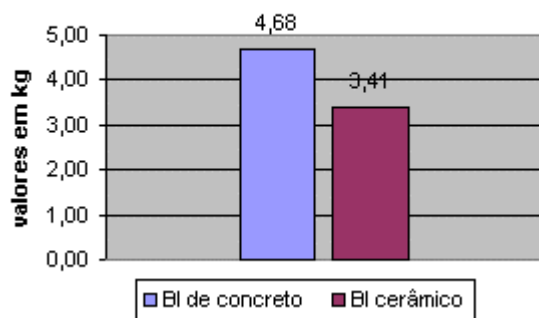


Gráfico 05: Rejeitos sólidos.

4.4. Balanços das conseqüências ecológicas e resultados da análise multicritério – Electre IS

O estabelecimento do balanço ecológico e a agregação dos critérios interativos para o método JOUANY-VAILLANT, segue a matriz de avaliação, à qual temos adicionado os limites e os pesos dos diferentes critérios. (Tabelas 14, 15 e 16).

Tabela 14: Matriz de avaliação.

| Ação | Consumo de mat.-primas (kg) | Consumo de água (kg) | Consumo de energia (kwh) | Efluentes gasosos (kg) | Rejeitos sólidos (kg) |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Blocos de concreto | 156,7000 | 3,3000 | 2,9544 | 0,0330 | 4,6758 |
| Blocos cerâmicos | 100,0000 | 25,0000 | 3,0648 | 7,5000 | 3,4056 |

Tabela 15: Matriz simplificada de avaliação.

| | g1 | g2 | g3 | g4 | g5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| a1 | 156,7000 | 3,3000 | 1,1522 | 0,0330 | 4,6758 |
| a2 | 100,0000 | 25,0000 | 3,0648 | 7,5000 | 3,4056 |

Tabela 16: Limites e pesos dos critérios.

| | g1 | g2 | g3 | g4 | g5 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|----------|
| qj | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 4 |
| pj | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 8 |
| vj | 100 | 100 | 100 | 0,9 | 30 |
| kj | 3 | 3 | 3 | 10 | 1 |

Observações:

- os limites de indiferença (q), de preferência (p) e crítico (v) são escolhidos em função das avaliações dos critérios para os diferentes blocos;
- os coeficientes de ponderação (k) são determinados conforme descrito no Capítulo 3.

Adotaremos um limite de concordância (s) de 0,65 e então aplicaremos o método Electre IS. Eis as tabelas de concordância e de discordância encontradas. (Tabela19).

Tabela 17: Matrizes de concordância para os respectivos critérios.

| | | |
|----------|-----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 0 |
| a2 | 1 | - |
| C1(a,a') | | |
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 1 |
| a2 | 0 | - |
| C2(a,a') | | |
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 1 |
| a2 | 0,9 | - |
| C3(a,a') | | |
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 1 |
| a2 | 0 | - |
| C4(a,a') | | |
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 1 |
| a2 | 1 | - |
| C5(a,a') | | |

Agregação das concordâncias parciais. (Tabela 20).

Tabela 18: Matriz de concordância.

| | | |
|----|------|------|
| | a1 | A2 |
| a1 | - | 0,85 |
| a2 | 0,33 | - |

$C(a, a')$

Tabela 19: Matrizes de discordância para os respectivos critérios.

| | | |
|----|----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 0 |
| a2 | * | - |

$D1(a, a')$

| | | |
|----|----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 0 |
| a2 | * | - |

$D2(a, a')$

| | | |
|----|----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 0 |
| a2 | * | - |

$D3(a, a')$

| | | |
|----|----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 0 |
| a2 | * | - |

$D4(a, a')$

| | | |
|----|----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 0 |
| a2 | * | - |

$D5(a, a')$

Síntese das discordâncias parciais:

Tabela 20: Matriz de discordância.

| | | |
|----|----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 0 |
| a2 | * | - |

$D(a, a')$

Tabela 21: Matriz de superação.

| | | |
|----|----|----|
| | a1 | a2 |
| a1 | - | 1 |
| a2 | 0 | - |

S(a, a')

4.5. Apresentação dos resultados

Conforme proposto por ROY e BOUYSSOU (1992), capítulo 3 item 3.2.3.3. 4c, podemos visualizar as relações de superação a partir de diagramas: se “a supera b”, uma flecha se dirige de a para b. (Figura 29). Que é a apresentação do resultado indicado pela matriz de superação da Tabela 21.



Figura 29: Diagrama de representação do resultado final.

Lê-se facilmente que para o nosso caso a1 supera a2. Portanto o produto a1, que é o bloco de concreto, é o mais compatível com o meio ambiente dentro das considerações feitas.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

A elaboração de ferramentas de apoio a decisão é fortemente complexa, por conta disto o método foi apresentado em duas partes que são: elaboração dos balanços ecológicos e comparação destes balanços.

Um fato a ser enfatizado é que o resultado da aplicação deste método depende do antropossistema escolhido e os limites impostos, pois certos critérios podem ser ignorados, o que modifica a avaliação final, portanto depende fundamentalmente do objetivo da análise.

A simulação apresentada tem como objetivo testar em um caso real o método descrito, e para isto foi escolhido tipos de blocos para alvenaria estrutural. Os resultados encontrados não são absolutos pelas principais razões:

- os tipos de blocos estudados não são os únicos existentes e a avaliação é relativa ao contexto apresentado;
- os dados, principalmente quanto à toxicidade das substâncias, não são amplamente disponíveis o que depende de pesquisas mais aprofundadas em outras áreas de conhecimento;

- o ponto delicado da metodologia é a escolha dos coeficientes de ponderação dados a cada critério. Esta escolha deve ser apoiada em proposições de especialistas.

Considerações que devem ser observadas na escolha dos coeficientes:

- o tipo de impacto;
- o efeito destes impactos;
- a distribuição dos impactos no tempo e no espaço;
- as soluções vinculadas aos problemas ambientais correspondentes.

Mas é inevitável que considerações subjetivas intervenham na escolha dos coeficientes, pois ela considera pontos de vista pessoais. Este fato justifica a ausência de um método de apoio a decisão que seja universal.

Com respeito às relações atuais entre a construção civil e o meio ambiente pode-se afirmar, baseado no que foi exposto neste trabalho, que:

- um dos maiores problemas ambientais vinculados à construção civil é o consumo de matérias-primas por dois aspectos fundamentais:

- contribuição a devastação de reservas naturais (inexistência de estudos que verifiquem o período de abundância destes recursos);
- não renovabilidade da maioria das matérias-primas utilizadas na construção civil;

- a indústria da construção civil provoca transformações na paisagem natural, alterando muitas vezes sem os devidos cuidados o funcionamento básico da natureza, pela emissão de efluentes, desmatamento e transportes;

- com relação a questão da água, a construção civil necessita de água doce tanto para produção de seus componentes (indústria) como para a execução das obras, o que contribui para sua escassez.

- a reciclagem de materiais e componentes de construção podem reduzir custos, criar empregos, diminuir a poluição e conservar a energia e a água bem como os suprimentos minerais;

- rejeitos sólidos são indícios da ineficiência dos processos de produção e execução.

Enfim, este trabalho conduz dentro de seu contexto, a uma modesta contribuição a elaboração de ferramentas que apoiem decisões com a preocupação ambiental para a indústria da construção civil, o que é cada vez mais necessário em um mercado onde a competitividade cresce constantemente.

5.2. Recomendações

5.2.1. Para interpretação e uso deste trabalho

Conforme apresentado no Capítulo 4, dentro das condições expostas no trabalho o material mais compatível com o meio ambiente na fase de produção, no estudo de caso avaliado é o bloco de concreto. Mas vale ressaltar que o resultado é válido somente para a fase de produção, pois não considera, por exemplo, os impactos ambientais na produção do cimento para blocos de concreto, e outros impactos vinculados a extração de matérias-primas de ambos os processos.

Não se pode dizer que existam materiais absolutamente melhores, mas sim processos que apresentem aspectos diferenciados relativos as exigências particulares. O que define a utilização de um ou outro material são as necessidades específicas de cada obra e/ou empresa e a disposição atual e local dos recursos necessários, afim de atender a legislação vigente, aspectos econômicos, e a disponibilidade dos recursos naturais.

A partir dos resultados apresentados nos gráficos dos critérios, podem ser identificadas as variáveis que devem ser melhoradas em cada processo, afim de tornar o produto mais competitivo, além de favorecer aspectos ambientais e financeiros, com a otimização do consumo de materiais e energia e a redução de perdas de materiais e de emissões.

O trabalho de organizações como a SETAC (atualmente o principal contribuinte da metodologia de ACV) é recente e não está em seu completo desenvolvimento. Segundo ROUSSEAU (1993), esta é a razão de estudos sobre avaliação comparativa de produtos serem raramente realizados. Porém dentre os métodos existentes, a agregação de entradas e saídas em índices de impactos, é a operação que melhor reflete a realidade.

5.2.2. Para trabalhos futuros

A presente dissertação poderá servir de embasamento para outros trabalhos, aos quais sugerimos alguns temas:

- enquanto aqui foi escolhida apenas uma fase do ciclo de vida do produto pode-se aplicar o método para outras fases, ou ainda para o ciclo completo;
- aplicar o método para outros tipos de materiais;
- não apenas para diferentes materiais, mas também para diferentes sistemas construtivos;

- poderá ser desenvolvido um programa computacional que facilite a utilização deste método para outros profissionais da área, que deparam-se com este tipo de decisão constantemente;
- uma análise e comparação dos custos vinculados a cada material também poderá ser um critério bastante interessante.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFNOR, Associação Francesa de Normalização. **Analyse du cycle de vie. Définition, déontologie et méthodologie.** AFNOR 1994. 19 p.

ARNOLD, F. **Life Cycle Doesn't.** *The Environmental Forum*, 1993. pp 19-23.

ATHENA Sustainable Materials Institute. **Building as Products: Issues and Challenges for LCA.** International Conference on Life Cycle Assessment: Tools for Sustainability - Arlington, Virginia. Canada, 2000.

ATHENA Sustainable Materials Institute. **Sustainable Building Technical Manual. Green Building Design, Construction and Operations.** Produced by Public Technology Inc. - USA Green Building Council, 1996. 292p.

BRETZ, R. **Ecosys: Integrating LCA into Corporate Information Systems.** In European Chemical News and Chem Systems, Life Cycle Assessment: Making it Relevant, Brussels, 1994.

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos - Ferramenta Gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104 p.

CIB - Conseil International du Bâtiment. **Agenda 21 on sustainable construction.** CIB Report Publication - Netherlands, 1999. 120 p.

CORSON, W. H. **Manual Global de ecologia: O que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente.** 2ª Ed. São Paulo: Augustos, 1996. 413 p.

DOVERS, S. MADDEN, E. COMMON, M. and BOYDEN, S. **Milk Packaging in Australia: A Case Study in Environmental Priorities.** Resources, Conservation and Recycling, 1993.

EPA - Environmental Protection Agency. **Sustainable Building Technical Manual. Green Building Design, Construction and Operations.** Produced by Public Technology Inc. - US Green Building Council. USA, 1996. 292 p.

EPA - Environmental Protection Agency. **The Use of Life Cycle Assessment in Environmental Labeling.** Washington USA, 1993.

FATMA - Fundação do Meio Ambiente. **Pensando Globalmente, Agindo Localmente,** Florianópolis / SC. 8 p.

FRASSON Jr., A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Dissertação apresentada ao CPGEC – UFSC, Florianópolis, 2000. 145p.

- FREEMANTLE, M. **Total Life Cycle Analysis Harnessed to Generate "Greener" Automobiles.** Chemical and Engineering News, 1995. pp 25-29.
- FRONDIZI, I. **Ação pela sustentabilidade.** Revista Gestão Ambiental - Compromisso da empresa. Abril, 1996.
- GAZETA MERCANTIL. Fascículos – Gestão Ambiental. Curitiba, **Gazeta Mercantil**, Março/Abril de 1996.
- GRAEDEL, T. ALLENBY, B. and COMRIE, P. **Matrix Approaches to Abridged Life Assessment.** Environmental Science and Technology. Vol. 29 Number 3, 1995.
- HEINTZ, B. and BAISNEE, P. F. **System boundaries.** Life Cycle assessment: inventory, classification, valuation, data bases, SETAC – Europe workshop report, Leiden - The Netherlands, December 1991.
- HUNT, R. and FRANKLIN, W. **LCA, How it Came About.** I International Journal of Life Assessment, Vol. 1, 1996.
- HUPPES, G. **Allocating impacts of multiple economic process in LCA.** Life Cycle assessment: inventory, classification, valuation, data bases, SETAC – Europe workshop report, Leiden - The Netherlands, December 1991.
- ISO, Environmental Management - **Life Cycle Assessment - Principles and Practices.** (CD 14040.3, November 1996).

LEWIS, H. and DEMMERS, M. **Life Cycle Assessment.** Australian Journal of Environmental Management - Vol. 3 Number 2 - June 1996. pp 110-123.

PRATES, G. **Ecodesign Utilizando QFD, Métodos Taguchi e DFE.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEPP - UFSC, Florianópolis, 1998. 174 p.

RICHER, B. **Life Cycle Assessment in the Building Industry.** Conference in Melbourne, Australia, Life Cycle Assessment - Shaping Australia's Environment future, 1996.

ROY, B., BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: méthodes et cas.** Université de Paris Dauphine, Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision, 1992. 68 p.

ROUSSEAU, P. **Evaluation comparative de l'impact environnemental global du cycle de vie des produits.** Thèse de Doctorat: Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1993.

SETAC - Society of environmental Toxicology and Chemistry. **A Conceptual Framework for Life Cycle Impact Assessment.** Washington, 1993.

SETAC - Society of environmental Toxicology and Chemistry. **A Technical Framework for Life Cycle Impact Assessment.** Washington, 1991.

SOARES, S. R. **Apoio a decisão aplicada à gestão ambiental.** Material da disciplina Avaliação ambiental de sistemas. Florianópolis – SC: UFSC, 2001. 12 p.

SOUZA, R. MEKBERIAN, G. SILVA, M. LEITÃO, A. SANTOS, M. **Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras.** São Paulo: CTE - Centro de Tecnologia de Edificações - SindusCon / Sebrae, 1994. 247p.

TIBOR, T. FELDMAN, I. **ISO 14000 - Um guia para as novas normas de gestão ambiental.** Rio de Janeiro, 1996. 302p.

VALLE, C. E. **Como se preparar para as normas ISO 14000 - Qualidade Ambiental. O Desafio de Ser Competitivo Protegendo o Meio Ambiente.** São Paulo, 1996. 137p.