

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – CDS

**A economia medida pela Análise de Fluxo de Massa (AFM):**  
A desmaterialização da economia nos países desenvolvidos  
sustentada pelos recursos naturais dos países emergentes,  
a exemplo do Brasil

Armando Hirohumi Tanimoto

Orientador: Armando de Azevedo Caldeira Pires

Tese de Doutorado

Brasília – DF, fev/2010

Tanimoto, Armando H.

**A economia medida pela Análise de Fluxo de Massa (AFM):** A desmaterialização da economia nos países desenvolvidos sustentada pelos recursos naturais dos países emergentes, a exemplo do Brasil.

Armando Hirohumi Tanimoto

Brasília, 2010.

**154** p.: il.

Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável.  
Universidade de Brasília, Brasília.

1. Desmaterialização da economia. 2. Recursos naturais. 3. Análise de Fluxo de Massa. 4. AFM. 5. Brasil. I. Universidade de Brasília. CDS.

II. Título.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação, e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a sua autorização por escrito.

---

Armando Hirohumi Tanimoto

**A economia medida pela Análise de Fluxo de Massa (AFM):**

A desmaterialização da economia nos países desenvolvidos sustentada pelos recursos naturais dos países emergentes, a exemplo do Brasil

Armando Hirohumi Tanimoto

Tese de Doutorado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão Ambiental.

Aprovado por:

---

ARMANDO DE AZEVEDO CALDEIRA-PIRES – Doutor, Centro de Tecnologia / Dept. de Engenharia Mecânica – UnB  
(Orientador)

---

SAULO RODRIGUES PEREIRA FILHO – Doutor, Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS/UnB  
(Examinador Interno)

---

ANTONIO CÉSAR PINHO BRASIL JÚNIOR – Doutor, Centro de Tecnologia / Dept. de Engenharia Mecânica – UnB  
(Examinador Interno)

---

ASHER KIPERSTOK – Doutor, Escola Politécnica, Programa de PG em Engenharia Industrial, Dept. de Engenharia Ambiental – UFBA  
(Examinador Externo)

---

XAVIER GABARRELL DURANY – Doutor, Instituto de Ciências e Tecnologias Ambientais – Universidade Autônoma de Barcelona – UAB  
(Examinador Externo)

Brasília-DF, 25 de fevereiro de 2010

Dedico esta tese à minha esposa Ângela, que de tudo abdicou para me seguir nesta jornada acadêmica e profissional; aos meus filhos Hideo e Akemi, que tão cedo experimentaram as adversidades das constantes mudanças de moradia e tão bem se saíram; aos meus pais, com o meu eterno agradecimento pela educação que me proporcionaram, sem a qual eu não chegaria a este sucesso.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o início, elaboração e a conclusão desta tese, e em especial atenção:

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, que me proporcionou esta oportunidade de crescimento profissional, aqui representado pelas professoras Maria Aparecida Modesto, Paula Costa, Djane Santiago de Jesus e Núbia Moura Ribeiro; e aos estimados colegas de área acadêmica Diógenes Ganghis Pimentel de Lira, Ana Rícl, Eduardo Marinho, Aldemiro Palma e outros, pelo incentivo antes e durante esta jornada;

Ao Centro de Desenvolvimento Sustentável, da Universidade de Brasília, representado pelos professores Marcel Bursztyn, Elimar Nascimento, José Augusto Drummond e Saulo Rodrigues, pelo profissionalismo e dedicação com que conduzem essa pós-graduação;

Ao professor Armando de Azevedo Caldeira Pires, pelas preciosas orientações na condução desta tese;

À CAPES, que através do Programa de Doutorado com Estágio no Exterior – PDDE, permitiu a complementaridade das minhas pesquisas na Universidade Autônoma de Barcelona – UAB;

À FAPESB / CAPES, pelo apoio financeiro desde o final do mestrado (bolsa de incentivo à pesquisa ao recém mestre) até a bolsa de doutorado, o que me permitiu seguir com a pesquisa, me incentivando a continuar na linha de ecologia industrial e a encerrar mais uma etapa com a conclusão deste doutorado;

Ao Grupo de Pesquisa *SosteniPra*, do Instituto de Ciências e Tecnologias Ambientais – ICTA / UAB, representado pelo professor Xavier Gabarrell Durany, pelas valiosas experiências e conhecimentos obtidos nos 12 meses em que lá estive, quando pude participar do dia a dia de um centro acadêmico e de pesquisa estrangeiro;

À minha querida esposa Ângela, por me acompanhar nessa jornada acadêmica e profissional, e aos meus filhos Hideo e Akemi, por saberem enfrentar tão bem as adversidades linguísticas, sociais e culturais vividas nesse período;

Enfim, a todos aqueles que transformaram essa etapa da minha vida em mais um sucesso galgado, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Esta tese tem o objetivo de analisar se o processo da desmaterialização da economia nos países desenvolvidos acontece com a transferência de impactos ambientais para os países emergentes, principalmente os exportadores de bens primários como o Brasil. Para isso foi necessário um melhor entendimento da ferramenta Análise de Fluxo de Massa – AFM, cuja aplicação para os anos de 1997, 2001 e 2005 resultaram em indicadores mássicos dos principais macrofluxos da economia nacional. A aplicação da AFM indica que 63% do que é extraído e usado para movimentar a economia brasileira são de recursos naturais renováveis (forragem para alimentação animal, oleaginosas, extração vegetal, silvicultura e pescados), e 37% de não renováveis (minerais e combustíveis fósseis). Isso aproxima a economia brasileira do desejado eixo da sustentabilidade. É praticamente independente de fluxos externos, pois as importações representam somente 3% do que é consumido. Sua balança comercial é amplamente favorável, sendo o fluxo mássico de exportações cinco vezes maior do que o de importações. Porém, como os produtos da pauta de exportações são basicamente de bens primários, (*commodities* minerais e da agropecuária), o indicador de eficiência (t/US\$) mássica – financeira diminuiu no período estudado (1997 – 2005). Comparando seus indicadores com os de países industrializados, os países europeus ocidentais precisam de três quilos de material bruto para transformá-lo em um US\$ de PIB (base 1991), o Brasil, 14 anos depois, ainda necessita de cinco quilos (base 2005). Isso é consequência da transferência dos impactos ambientais causados pelo alto padrão de consumo das economias desenvolvidas, que importam os recursos naturais, já escassos em seus territórios, de países emergentes, como o Brasil. A pesquisa também aponta uma mudança no perfil importador de alguns países (Japão e Alemanha) na década de 90, quando estes passaram a substituir os bens primários por produtos manufaturados. Com isso, diminuíram não só a demanda energética interna como também as emissões de poluentes para o meio ambiente local. Com uma menor entrada mássica e baseada numa economia de serviços, a relação uso de matéria versus riqueza gerada (t/PIB) tornou-se descendente, e esse fato é divulgado como uma desmaterialização relativa da economia local. O Brasil, pela sua riqueza de recursos naturais, é um fornecedor de bens primários para os países em déficit, porém é preciso rever sua política econômica, em que pouco se paga pelo muito que se retira, na forma de *commodities*.

Palavras-chave: Desmaterialização, Recursos Naturais, Análise de Fluxo de Massa, Consumo Sustentável, Inventário.

## ABSTRACT

This thesis aims to analyze whether the process of dematerialization of the economy in developed countries is done with the transfer of environmental impacts to developing countries, especially exporters of primary goods such as Brazil. It required a better understanding of Mass Flow Analysis - MFA tool, which applications for the years 1997, 2001 and 2005 resulted in main indicators of mass flows of the national macro-economy. The application of MFA indicates that 63% of which are extracted and used to move Brazilian economy is from natural resources (fodder for animal feed, oilseeds, vegetal extraction plant, forestry and fisheries), and 37% from non-renewable resources (minerals and fossil fuels). This brings the Brazilian economy to the desired axis of sustainability. It is almost independent of external flows, because imports account for only 3% of what is consumed. Its trade balance is largely favorable, and the mass flow of exports is 5 times greater than imports. However, as the products of the exports are mainly primary goods, (mineral and vegetables commodities) the efficiency indicator (t / US\$) weight - financial decreased during the period studied (1997 - 2005). Comparing its indicators with those of industrialized countries, the Western European countries need three kilograms of raw material to turn it into a U.S. \$ of GDP (base 1991), Brazil, 14 years later, still needs five (base 2005) . This is the result of the transfer of environmental impacts caused by the high consumption pattern of developed economies that import natural resources, scarce in their territory, from emerging countries like Brazil. This thesis also identified a change in the profile of some importing countries (i.e. Japan and Germany) in '90, who came to replace the primary goods for manufactured products. Thus, those countries not only decreased the internal energy demand but also emissions of pollutants into the local environment. With a lower mass entry and based on the service economy, the relationship between the use of material versus richness generated (t / GDP) has downward, and this fact is announced as a relative dematerialization on the local economy. Brazil, for its wealth of natural resources, is a primary supplier of goods for countries in deficit, but it is necessary to review its economic policy where little is paid by much offering in the form of commodities.

Key-words: Dematerialization, Natural Resources, Mass Flow Analysis, Sustainable Consumption, Inventory.

## RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo analizar si el proceso de desmaterialización de la economía en los países desarrollados sucede con la transferencia de impactos ambientales a los países emergentes, principalmente los exportadores de bienes primarios como Brasil. Para eso, se hizo necesario un mejor entendimiento de la herramienta Análisis de Flujo de Masa – AFM, cuya aplicación para los años 1997, 2001 e 2005 resultaron en indicadores básicos de los principales macro-flujos de la economía nacional. La aplicación de AFM indica que el 63% de lo que es extraído y usado para mover la economía brasileña proviene de recursos naturales renovables (forraje para alimentación animal, oleaginosas, extracción vegetal, silvicultura y pescados), y que el 37% proviene de recursos no renovables (minerales y combustibles fósiles). Eso aproxima a la economía brasileña al deseado índice de sostenibilidad. Es prácticamente independiente de flujos externos, pues las importaciones representan solamente 3% de lo que es consumido. Su balanza comercial es ampliamente favorable, siendo el flujo básico de exportaciones cinco veces mayor que el de las importaciones. Sin embargo, como los productos de la pauta de exportaciones son básicamente de bienes primarios (commodities minerales y vegetales), su eficiencia (t/US\$) básica – financiera disminuyó en el período estudiado (1997-2005). Comparando sus indicadores con los de los países industrializados, los países europeos occidentales precisan tres kilogramos de material bruto para transformarlo en un US\$ de PIB (base 1991); Brasil, 14 años más tarde, todavía necesita de cinco (base 2005). Tiene como consecuencia la transferencia de los impactos ambientales causados por el alto padrón de consumo de las economías desarrolladas, que importan los recursos naturales, ya escasos en sus territorios, de países emergentes como Brasil. Fue identificado también un cambio en el perfil importador de algunos países (Japón y Alemania) en los años de 90, cuando pasaron a reemplazar bienes primarios por productos manufacturados. De esa manera, disminuyeron no sólo la demanda energética interna sino también las emisiones contaminantes para el medio ambiente local. Con una menor entrada básica y basada en una economía de servicios, la relación uso de materia versus riqueza generada (t/PIB) se torno descendente, y ese hecho es divulgado como una desmaterialización de la economía local. Brasil, por su riqueza de recursos naturales, es un proveedor de bienes primarios para los países en déficit. Sin embargo, es necesario rever su política económica, donde se paga poco por lo mucho que se retira, en la forma de commodities.

Palabras-clave: Desmaterialización, Recursos Naturales, Análisis de Flujo de Masa, Consumo Sostenible, Inventario



## RÉSUMÉ

Cette thèse a pour objectif d'évaluer si le processus de dématérialisation de l'économie des pays développés se déroule avec le transfert des impacts environnementaux aux pays émergents, surtout les exportateurs de biens primaires comme le Brésil. Pour cela, il a été nécessaire de mieux comprendre l'outil Analyse de Flux de Masse – AFM, dont l'application pour les années 1997, 2001 et 2005 a mené à des indicateurs massiques des principaux macro fluxes de l'économie régionale. L'application de l'AMF indique que 63% de ce qui est extrait et utilisé pour bouger l'économie brésilienne est originé de ressources naturelles renouvelables (fourrage pour l'alimentation des animaux, oléagineuses, extraction végétale, sylviculture et poissons), et 37% de non-renouvelables (minéraux et combustibles fossiles). Cela approxime l'économie brésilienne de l'axe de la durabilité. C'est pratiquement indépendant des flux externes, puisque les importations ne représentent que 3% de ce qui est consommé. Sa balance commerciale est largement favorable, dès que le flux massique des exportations est 5 fois plus grand que celui des importations. Cependant, comme les produits exportables sont surtout de biens primaires (commodités minérales et végétales), leur efficacité (t/US\$) massique – financière s'est réduite dans la période étudiée (1997-2005). En comparant leurs indicateurs avec ceux des pays industrialisés, les pays européens occidentaux ont besoin de trois kilos de matière brute pour les transformer en un US\$ de PIB (base 1991); le Brésil, 14 ans plus tard, a encore besoin de cinq kilos (base 2005). Cela est une conséquence du transfert des impacts environnementaux créés par le haut niveau de consommation des économies développées, qu'importent des ressources naturelles, déjà rares dans leurs territoires, des pays émergents, comme le Brésil. On a identifié aussi le changement du profil importateur de quelques pays (Japon et l'Allemagne), quant ils ont commencé à remplacer les biens primaires par des produits manufacturés. Avec cela, la demande énergétique interne et les émissions polluantes de l'environnement local ont été réduites. Avec une entrée massique inférieure et basée dans une économie de services, la relation utilisation de matière versus richesse gérée (t/PIB) est devenue descendante, et ce fait est diffusé comme une dématérialisation relative de l'économie locale. À cause de sa richesse de ressources naturelles, le Brésil a une vocation de fournisseur des biens primaires pour les pays en déficit. Cependant, il est nécessaire de revoir sa politique économique où peut être payé et beaucoup est extrait sous la forme de commodités.

Mots-clés: Dématérialisation, Ressources Naturelles, Analyse de Flux de Masse, Consommation Durable, Inventaire.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 0-1 – Consumo do recurso natural global (bilhões de t/ano)	23
Figura 0-2 – Importação de recurso natural pela EU-25 (bilhões de US\$/ano)	24
Figura 1.1-1 Áreas de abrangência da Ecologia Industrial	30
Figura 1.2-1 Os sete subsistemas da antroposfera e suas principais relações	32
Figura 1.3.1-1 Experimento de Santório para analisar o metabolismo material de uma pessoa	36
Figura 1.3.2-1 Substâncias e fluxos quantitativos mapeados por uma AFS na Dinamarca	39
Figura 2-1 Tipos básicos de AFM	43
Figura 2-2 Principais fluxos mássicos de uma <i>ECONOMY-WIDE</i> MFA	44
Figura 2-3 Fórmula dos indicadores gerados pela <i>Economy-Wide</i> MFA	54
Figura 2-4 Principais indicadores derivados da AFM, na forma gráfica	54
Figura 3-1 Fluxo geral da demanda dos recursos naturais. Base 2005	58
Figura 3-2 Participação dos minerais, biomassa e combustíveis fósseis no fluxo da ED	59
Figura 3-3 Posição brasileira no <i>ranking</i> de reservas e na produção mundial	60
Figura 3-4 Principais itens de sementes oleaginosas e cereais produzidos	64
Figura 3-5 Principais itens silvícolas produzidos	66
Figura 3-6 Principais itens minerais (contidos) produzidos	69
Figura 3-7 Importação dos principais combustíveis fósseis	71
Figura 3-8 Importação de minerais	72
Figura 3-9 Importação dos principais produtos agrícolas	72
Figura 3-10 Percentual de carros / ano de licenciamento sucateados em 2005	77
Figura 3-11 Exportação dos principais produtos minerais	81
Figura 3-12 Principais produtos agrícolas exportados	81
Figura 3-13 Fluxos ocultos ligados às importações	86
Figura 3-14 Fluxo ocultos ligados às exportações	87
Figura 4-1 Desempenho dos indicadores derivados da AFM na base 100 (1997)	91
Figura 4-2 Perfil da balança comercial brasileira	92
Figura 4-3 Evolução dos preços das principais <i>commodities</i> minerais exportadas	95
Figura 4-4 Evolução dos preços das principais <i>commodities</i> agrícolas exportadas	96
Figura 4-5 Evolução dos preços das principais <i>commodities</i> de subprodutos animais exportados	97
Figura 4-6 Indicador de intensidade no consumo de recursos naturais versus PIB	99
Figura 4-7 Comparação de perfil dos fluxos mássicos	100
Figura 4-8 Comp. da EMD / hab. do Brasil (2005) e União Europeia (EU-15) ocidental (2000)	101
Figura 4-9 Comp. da EMD / hab. do Brasil (2005) e União Europeia (EU-14) oriental (2000)	101
Figura 4-10 Comp. do SDP / hab. do Brasil (2005) e outras economias industrializadas (1996)	102
Figura 4-11 Comparação do AMS / hab. Brasil, base 2000, e demais países, 1996	103
Figura 4-12 Comparação de indicadores de entrada e geração de riqueza por habitante	103
Figura 4-13 Variação do PIB e EMD, ambos por habitante, para o Brasil (1997–2005) e demais países para o período de 1988 a 1997	104

Figura 4-14 Coeficiente de desacoplamento do Brasil comparado com outros países da EU	105
Figura 5-1 Curva de Kuznets para o meio ambiente	109
Figura 5-2 Curva N	110
Figura 5-3 Total de material movimentado e seu valor agregado	112
Figura 5-4 Variação dos indicadores da economia alemã	113
Figura 5-5 Indicadores da economia alemã	116
Figura 5-6 Variação dos indicadores da economia japonesa	117
Figura 5-7 Variação das importações minerais, base 100 (1980)	119
Figura 5-8 Indicadores de demanda material direta (DMT), com e sem fluxo oculto de produtos finais importados	120
Figura 5-9 Produção e importação do alumínio demandada pelo Japão	122
Figura 5-10 Emissão de CO <sub>2</sub> eq gerada pela produção do alumínio	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 Produção de Biomassa	61
Tabela 3-2 Produção de forragem baseada na demanda para alimentação animal	62
Tabela 3-3 Produtos oleaginosos, cereais e outros	63
<b>Tabela 3-4 Produção da silvicultura e extração vegetal</b>	<b>65</b>
Tabela 3-5 Pesca extrativa por regiões no Brasil	66
Tabela 3-6 - Lista de minerais metálicos (M), não metálicos (nM) e energéticos (Ener) como extração líquida contida (t/ano). Base 2005.	67
Tabela 3-7 Combustíveis fósseis produzidos	69
Tabela 3-8 Fluxos das importações	70
Tabela 3-9 Importação de minerais	71
Tabela 3-10 Fluxos descartados no meio ambiente	73
Tabela 3-11 Emissões gasosas <b>antrópicas</b>	74

Tabela 3-12 Fluxos de Resíduos Sólidos para aterros	76
Tabela 3-13 Disposição de fertilizantes orgânicos	78
Tabela 3-14 Fluxos das exportações	80
Tabela 3-15 Combustíveis fósseis exportados	82
Tabela 3-16 Produtos pecuários exportados	83
Tabela 3-17 Fluxos Indiretos da Extração Doméstica	83
Tabela 3-18 Emissões atmosféricas geradas na queima da palha da cana	84
Tabela 3-19 Fluxos de oxigênio e nitrogênio para balanço	87
Tabela 3-20 Fluxo de vapor d'água para balanço	88
Tabela 5-1 Resumo das importações alemãs com fluxos ocultos dos produtos finais estimados	114
Tabela 5-2 Resumo das importações japonesas com fluxos diretos e ocultos (t)	118

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>3R</b>	Reduce, Reuse and Recycle Initiatives
<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>ACV</b>	Avaliação do Ciclo de Vida
<b>AFM</b>	Análise de Fluxo de Massa
<b>AFS</b>	Análise de Fluxo de Substância
<b>ANFAVEA</b>	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotivos
<b>BME</b>	Banco Multidimensional de Estatística
<b>BRIC</b>	Brasil, Rússia, Índia e China
<b>BRICS</b>	Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e Singapura
<b>CEC</b>	Commission of European Community
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>C&amp;D</b>	Construction & Demolition
<b>DNPM</b>	Departamento Nacional de Produção Mineral
<b>EI</b>	Ecologia Industrial
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>EU</b>	European Union
<b>ELV</b>	End of Life Vehicle
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>FENABRAVE</b>	Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
<b>GDP</b>	Gross Demand Production
<b>IBAMA</b>	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>ICTA</b>	Institut de Ciències i Tecnologies Ambientals
<b>I&amp;HW</b>	Industrial & Hazardous Waste
<b>IFM</b>	International Monetary Fund
<b>IOT</b>	Input Output Table
<b>IU</b>	Intensive in Use
<b>I&amp;NHW</b>	Industrial & Non hazardous Waste
<b>LCA</b>	Life Cycle assessment
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>MCT</b>	Ministério das Ciências e Tecnologias
<b>MFA</b>	Mass Flow Analysis
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MME</b>	Ministério das Minas e Energia
<b>MSW</b>	Municipal Solid Waste
<b>NAFTA</b>	North American Free Trade Agreement
<b>OCDE</b>	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

<b>OECD</b>	Organization for Economic and Co-Operation Development
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>PDEE</b>	Programa de Doutorado com Estágio no Exterior
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PIOT</b>	Physical In-put Out-put Table
<b>RSM</b>	Resíduo Sólido Municipal
<b>RC&amp;D</b>	Resíduo da Construção e Demolição
<b>RP&amp;I</b>	Resíduo Perigoso e Industrial
<b>RNP&amp;I</b>	Resíduo Não Perigoso e Industrial
<b>SECEX</b>	Secretaria de Comércio Exterior
<b>SERI</b>	Sustainable Europe Research Institute
<b>SFA</b>	Substance Flow Analysis
<b>TESF</b>	Tabela de Entrada e Saída Física
<b>UNICA</b>	União da Indústria da Cana-de-açúcar
<b>UN</b>	United Nations
<b>VFV</b>	Veículo em Fim de Vida
<b>WBCSD</b>	World Business Council for Sustainable Development

**LISTA DE INDICADORES DERIVADOS DA AFM GERADOS NESSA TESE E SEUS  
EQUIVALENTES EM INGLES**

<b>AMS</b>	Acúmulo de Material na Sociedade
Equivalente a	NAS - Net Additions to Stock
<b>BC</b>	Balanço Comercial
	PTB - Physical Trade Balance
<b>CMD</b>	Consumo de Material Direto
	DMC – Direct Material Consumption
<b>CMT</b>	Consumo de Material Total
	TMC - Total Material Consumption
<b>DMT</b>	Demanda de Material Total
	TMR - Total Material Requirement
<b>ED</b>	Extração Doméstica
	DE - Domestic Extraction
<b>EMD</b>	Entrada de Material Direta
	DMI - Direct Material Input
<b>EFICI</b>	Eficiência
	EFFICIEN – Efficiency
<b>EXP</b>	Exportação
	E - Exports
<b>FO<sub>IMP</sub></b>	Fluxo Oculto associado à Importação
	HD - Hidden Flow
<b>FI<sub>ED</sub></b>	Fluxo Indireto associado à Extração Doméstica
	IF - Indirect Flow
<b>IMP</b>	Importação
	I – Imports
<b>PRODUT</b>	Produtividade
	PRODUC – Productivity
<b>SMT</b>	Saída de Material Total
	DMO - Direct Material Output
<b>SDP</b>	Saída Doméstica Processada
	DPO - Direct Processed Output



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE INDICADORES DERIVADOS DA AFM

<b>INTRODUÇÃO</b>	19
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	29
1.1 A ECOLOGIA INDUSTRIAL – EI	29
1.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	31
1.3 A ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA – AFM	33
1.3.1 História da AFM	34
1.3.2 Estudos pioneiros e suas áreas de aplicação	36
<b>2 METODOLOGIA DA ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA – AFM</b>	42
2.1 ECONOMY-WIDE MF	43
2.1.1 Extração Doméstica	45
2.1.2 Fluxo Indireto Associado à Extração Doméstica	46
2.1.3 Importação	46
2.1.4 Fluxo Oculto Associado à Importação	46
2.1.5 Descarte ao Meio Ambiente	47
2.1.6 Fluxo Indireto Associado à Extração Doméstica	48
2.1.7 Exportação	48
2.1.8 Fluxo Indireto Associado à Exportação	49
2.1.9 Memorandum	49
2.1.9.1 Consumo de ar	49
2.1.9.2 Geração de vapor d'água, água e dióxido de carbono	49
2.1.10 Reciclagem interna	50
2.1.11 Acumulação de material na sociedade (estoque)	50
2.2 INDICADORES GERADOS PELA ECONOMY WIDE MFA	51
2.2.1 Indicadores de Entrada	51
2.2.2 Indicadores de Saída	52
2.2.3 Indicadores de Consumo	52
2.2.4 Indicadores de Balanço	53

2.2.5	Indicadores de Eficiência	53
2.3	DESMATERIALIZAÇÃO DA ECONOMIA	55
2.4	CONCLUSÕES PRELIMINARES	56
<b>3 APLICAÇÃO DA AFM NO BRASIL (INVENTÁRIO NACIONAL – ANO BASE</b>		
<b>2005)</b>		
3.1	A EXTRAÇÃO DOMÉSTICA	59
3.1.1	As Biomassas	60
3.1.1.1	<i>Forragem para alimentação animal</i>	61
3.1.1.2	<i>Sementes oleaginosas, cereais e outros</i>	63
3.1.1.3	<i>Silvicultura e Extração Vegetal</i>	64
3.1.1.4	<i>Pescado</i>	66
3.1.2	Minerais	66
3.1.3	Os Combustíveis Fósseis	69
3.2	AS IMPORTAÇÕES	70
3.2.1	Combustíveis fósseis	70
3.2.2	Minerais	71
3.2.3	Produtos agrícolas	72
3.2.4	Pescado	73
3.2.5	Pecuária	73
3.3	OS DESCARTES PARA O MEIO AMBIENTE	73
3.3.1	Emissões para a atmosfera	73
3.3.2	Resíduos sólidos para aterros	75
3.3.2.1	<i>Resíduos Sólidos Municipais – RSM</i>	76
3.3.2.2	<i>Resíduos da Construção e Demolição – C&amp;D</i>	76
3.3.2.3	<i>Veículos em Fim de Vida – VFV</i>	76
3.3.2.4	<i>Resíduos Perigosos e Industriais – RP&amp;I</i>	77
3.3.2.5	<i>Resíduos Não Perigosos e Industriais – RNP&amp;I</i>	77
3.3.3	Perdas no uso	78
3.3.3.1	<i>Fertilizantes orgânicos</i>	78
3.3.3.2	<i>Fertilizantes minerais</i>	78
3.3.4	Emissões para efluentes líquidos	79
3.3.5	Perdas por dissipação	79
3.4	AS EXPORTAÇÕES	79
3.4.1	Minerais	80
3.4.2	Produtos agrícolas	81
3.4.3	Combustíveis fósseis	82

3.4.4	Pecuária	82
3.4.5	Pescado	83
3.5	FLUXO INDIRETO ASSOCIADO À EXTRAÇÃO DOMÉSTICA	83
3.5.1	Biomassa	83
3.5.2	Minerais	84
3.5.3	Combustíveis fósseis	85
3.6	FLUXO OCULTO ASSOCIADO ÀS IMPORTAÇÕES	85
3.7	FLUXO INDIRETO ASSOCIADO ÀS EXPORTAÇÕES	87
	ITENS DE ENTRADA PARA BALANÇO – MEMORANDUM	87
3.8.1	Oxigênio e nitrogênio para o processo de combustão	87
3.8.2	Oxigênio para respiração humana e animal	88
3.8.3	Oxigênio para a formação de vapor d'água durante os processos de combustão, queima da palha da cana e respiração.	88
3.9	ITENS DE SAÍDA PARA BALANÇO – MEMORANDUM	88
3.9.1	Vapor de água gerado no processo de combustão (oxidação do H <sub>2</sub> )	88
3.9.2	Vapor de água gerado no processo de respiração humana e animal	89
3.9.3	Vapor de água gerado no processo da queima da palha da cana	89
3.10	CONCLUSÕES PRELIMINARES	89
<b>4</b>	<b>INDICADORES DA AFM NO BRASIL PARA OS ANOS 1997, 2001 E 2005</b>	91
4.1	INDICADORES DE BALANÇO	91
4.2	INDICADORES DE CONSUMO	93
4.3	INDICADORES DE ENTRADA DE MATERIAL	93
4.4	INDICADORES DE EFICIÊNCIA	93
4.5	INDICADOR DE SAÍDA	99
4.6	COMPARAÇÃO DE INDICADORES DO BRASIL COM PAÍSES EUROPEUS	99
4.7	CONCLUSÕES PRELIMINARES	105
<b>5</b>	<b>ANÁLISES DE INCERTEZAS: DESMISTIFICANDO A SUPOSTA DESMATERIALIZAÇÃO DA ECONOMIA ALEMÃ E JAPONESA</b>	107
5.1	ANÁLISE DO CONSUMO DOS RECURSOS NATURAIS PELA ALEMANHA	112
5.1.1	Estimativa de cálculo do fluxo oculto dos produtos finais importados pela Alemanha	115
5.2	ANÁLISE DO CONSUMO DOS RECURSOS NATURAIS PELO JAPÃO	116
5.2.1	Estimativa de cálculo do fluxo oculto dos produtos finais importados pelo Japão	120

5.2.2	Analisando a tendência de consumo dos metais nos países industrializados: o caso do alumínio no Japão	121
5.3	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	124
	<b>CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	124
	<b>REFERÊNCIAS</b>	133
	<b>APÊNDICES</b>	143

## INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos naturais vai além de questões tais como: gerir florestas, sistemas costeiros ou estoque pesqueiro marinho. Ela envolve, obrigatoriamente, o compartilhamento da natureza como base física da economia, da qual a sociedade retira os recursos para seu desenvolvimento econômico e social. Somente através da reestruturação das formas do uso dos recursos bióticos e abióticos pelos sistemas de produção e consumo a humanidade poderá viver de maneira sustentável.

O sistema econômico atual usa os recursos naturais de diversas formas, principalmente como fonte de matéria-prima e de energia e como receptores de poluentes. A análise que este trabalho realiza tem seu foco nos recursos naturais vistos como uma fonte de riqueza que move a economia (os minerais metálicos e não metálicos, a biomassa e os combustíveis fósseis) e não sob o ponto de vista holístico (paisagem, biodiversidade e outros serviços ambientais proporcionados pela natureza e de difícil valoração).

Há uma crescente preocupação acerca da maneira pela qual a humanidade tem se apossado da natureza em benefício próprio e o entendimento cada vez mais claro da necessidade urgente de uma mudança nos padrões de produção e consumo (UN, 2002). Além disso, as restrições ambientais, as flutuações nos preços de *commodities*, a disparidade dos padrões de consumo entre os países do Norte e do Sul e o aumento no risco de colapso no fornecimento de recursos estratégicos são variáveis que entraram nas discussões políticas no cenário mundial e que podem até mesmo levar a ações militares, devido à necessidade de se garantir o suprimento de recursos às sociedades consumidoras.

Uma estratégia que está sendo adotada (BRINGEZU, 2006) é reduzir a dependência de recursos naturais, principalmente os não renováveis, como o petróleo e os metais, aumentando a eficiência no seu uso. Pesquisadores do Instituto Wuppertal propuseram um aumento de eficiência no uso dos recursos no sentido de se chegar a um fator de 4 a 10<sup>1</sup> nos próximos 30 a 50 anos (SCHMIDT-BLEEK, 2000; WEIZSACKER, 1998). Governos e instituições internacionais têm introduzido conceitos como o Fator X (BRINGEZU, 2002; WBCSD, 1998; OECD, 1996) para aumentar a produtividade no uso específico de alguns recursos. Na Cúpula da Terra, em 1997, mais conhecida como Rio +5, pela primeira vez os conceitos de ecoeficiência e Fator 4 e 10 foram incluídos nas conclusões de um encontro promovido pela Organização das Nações Unidas.

A União Europeia lançou a Estratégia Temática no Uso Sustentável dos Recursos Naturais (CEC, 2003; 2005), cujo objetivo é melhorar o entendimento e o conhecimento do

---

<sup>1</sup> O Fator 4 representa uma redução de 75% do valor de referência de consumo e o Fator 10, uma redução de 90%.

uso dos recursos europeus, seus impactos negativos e sua significância na Europa e no mundo. Além disso, tal programa contempla a melhora de métodos e indicadores para monitoramento e suporte à necessidade de uma crescente conscientização dos envolvidos, tanto dos vários setores econômicos quanto dos governos.

Outros programas estão sendo conduzidos por instituições governamentais como “3R”, no Japão (MORIGUCHI, 2007); “Economia Circular”, na China (YONG, 2007; ZHOU, 2007); “Processo Marrakech” (FARAH, 2009); “Gestão dos Ecossistemas do Milênio” (REID, 2005), “Programa de estruturação da base do conhecimento para a implementação da estratégia temática do uso sustentável dos recursos naturais”<sup>2</sup> (DALE, 2007) e, mais recentemente, o “Painel Internacional da Gestão dos Recursos Naturais”<sup>3</sup> (MOLL, 2003). Todos visam melhorar a eficiência no uso dos recursos pelo mercado globalizado e estimular inovações sustentáveis para desvincular o crescimento econômico da degradação ambiental.

A variável social faz parte das discussões que orientam o uso sustentável dos recursos. Os cidadãos de economias emergentes se espelham nos países desenvolvidos ao imaginarem seu futuro, mesmo sabendo que o estilo de vida dessas sociedades leva a um consumo per capita de recursos nitidamente insustentável. Esses países emergentes, considerando somente os do BRIC (Brasil, Rússia, China e Índia), têm aproximadamente 50% da população do planeta, enquanto que os da OECD<sup>4</sup> representam somente 15%. A Figura 0-1 mostra o consumo global de alguns recursos num período de 25 anos (1980 a 2005), em que houve um aumento absoluto em torno de 45%, representando 1,5% ao ano.

---

<sup>2</sup> Tradução de: “*Strengthening the Knowledge Base for the Implementation of the Thematic Strategy on Sustainable Use of Natural Resources*”.

<sup>3</sup> Um histórico do painel pode ser acessado em: <<http://www.unep.fr/pc/sustain>>.

<sup>4</sup> Países (30) que fazem parte da OECD: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia do Sul, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suécia, Suíça e Turquia.

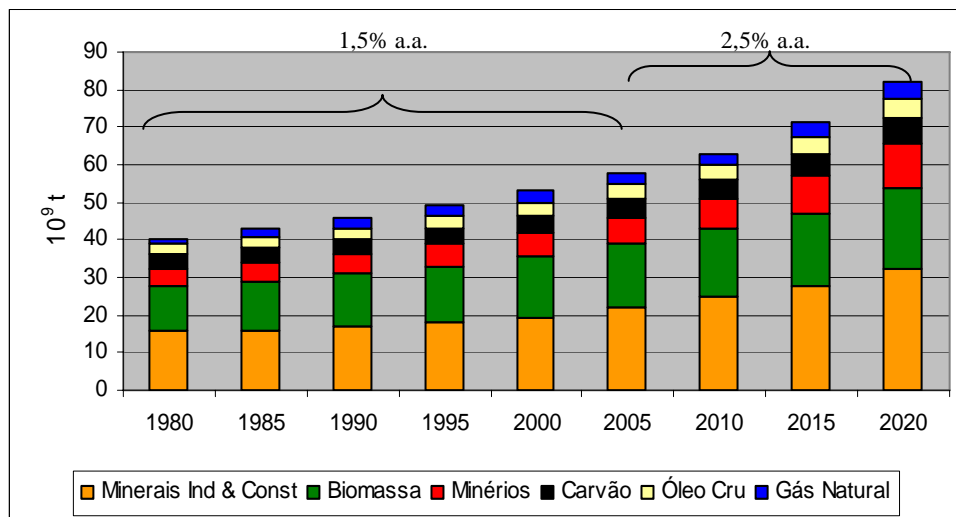


Figura 0-1 – Consumo do recurso natural global (bilhões de t/ano)  
 Fonte: Giljum, 2007.

A previsão é de que em 2020 a demanda global ultrapasse 80 bilhões de toneladas, o que implica um aumento de 24 bilhões de t na demanda para o período de 2005 a 2020, crescimento este equivalente a 2,5% ao ano. Sobretudo nos países da Comunidade Europeia, Japão, Canadá e Estados Unidos, parte dos recursos naturais consumidos é importada dos países em desenvolvimento, principalmente da Turquia, China, Indonésia, Índia e Brasil.

A Figura 0-2 mostra a tendência de que a importação de recursos naturais seja duplicada, dos atuais 100 bilhões para 200 bilhões de US\$ anuais, pelos países da União Europeia, de 2005 a 2020, ou seja, num horizonte de apenas 15 anos (4,7% ao ano). Isso demonstra a crescente demanda desses recursos para manter o alto padrão de consumo desses países. Além disso, o aumento de 100% é previsto financeiramente, mesmo com a manutenção da tendência das *commodities* (exceção dos metais) em baixa. Em termos mássicos esse aumento tende a ser ainda maior.

Diante da previsão de aumento mundial do consumo de recursos naturais em 2,5% a.a., com uma nítida concentração nos países desenvolvidos, como se pode planejar uma redução da pressão antrópica sobre o meio ambiente? Ademais, os países emergentes, que representam a maioria da população do planeta, almejam atingir o padrão de vida dos países ricos (15% da população). Com essas e outras constatações, a pergunta que motivou esta pesquisa foi:

**Como medir adequadamente os recursos naturais consumidos por uma economia nacional, de modo a debitar seus impactos aos verdadeiros demandantes?**

Este questionamento leva a outras reflexões, como por exemplo: se os impactos ambientais dos países desenvolvidos estão sendo transferidos para os países fornecedores desses recursos naturais, como esses fluxos podem ser minimizados? O que se espera de um país exportador de seus recursos naturais, como o Brasil, por exemplo, para o futuro?

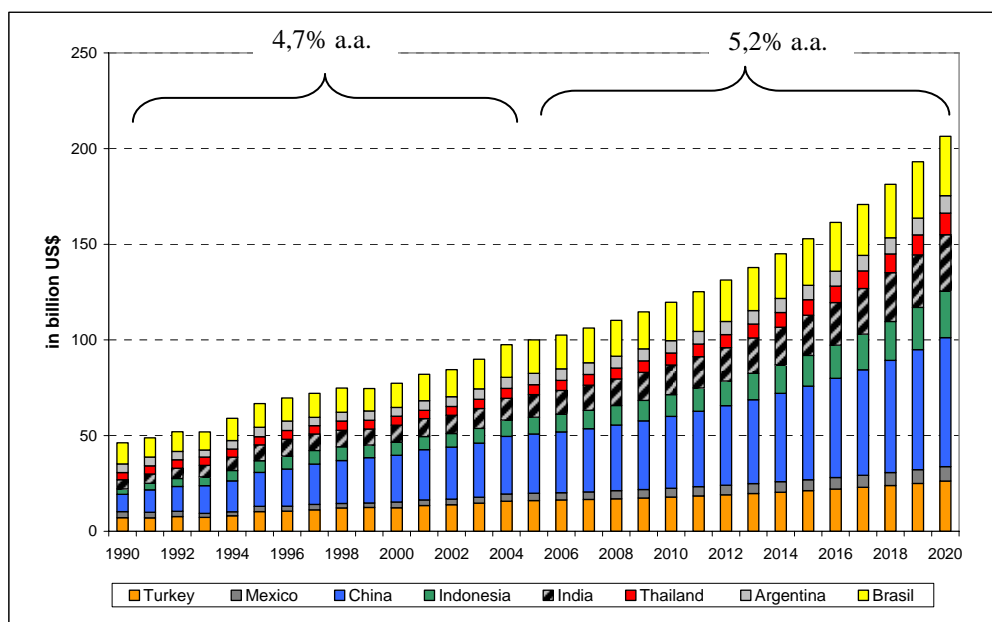


Figura 0-2 – Importação de recurso natural pela EU-25 (bilhões de US\$/ano)  
 Fonte: Giljun, 2007.

### Breve perfil do Brasil como exportador de recursos naturais

O Brasil, o quinto país em extensão territorial e rico em recursos naturais, tem sua economia fortemente dependente da exploração dos recursos não renováveis (é o primeiro produtor mundial de nióbio, segundo em ferro, manganês, tantalita e alumínio (MME, 2006b)) e renováveis (primeiro exportador mundial de soja, café, suco de laranja, açúcar, álcool, carne bovina, frango e segundo produtor mundial de soja), além de principal produtor de papel e celulose, entre outros. Desponta ainda como um promissor exportador de biocombustíveis para substituir o petróleo como fonte de energia. O total de suas exportações representou 13,4 % do PIB em 2005 (DNPM, 2006). Assim, pode-se perceber que o modelo econômico seguido busca atender à demanda mundial mesmo que isso signifique uma maior pressão ambiental antecipando a expectativa de esgotamento das suas fontes de recursos.

O desempenho da economia brasileira, que teve crescimento de 3,2% no PIB em 2005 (IBGE, 2008), tem atingido índices relativamente baixos, comparado-seo Brasil com os demais países emergentes. A mineração tem sido o setor com melhor desempenho



econômico, com um crescimento de 10,8% em relação ao ano anterior. A Organização das Nações Unidas – ONU recomenda o uso do indicador Intensidade de Uso – IU, relacionando o consumo de bens minerais ao Produto Interno Bruto – PIB do país e o consumo de minerais por habitante para aferir o grau de desenvolvimento material das nações. Citam-se exemplos tais como: o dos Estados Unidos com 24,1; o da Alemanha com 14,6 e o do Brasil com 3,7 t/hab.ano, influenciado parcialmente pela geração de hidroeletricidade na matriz energética. Estima-se que a cesta básica mineral do cidadão brasileiro seja quatro e sete vezes inferior a de um europeu e de um americano, respectivamente. Devido ao fato de possuir algumas das maiores jazidas minerais do mundo (nióbio, tântalo, grafita, estanho, urânio), o Brasil tem produtos minerais como os principais itens de sua pauta de exportação.

O setor agrícola para exportação, que se destaca pela sua alta produtividade, possibilitou ao Brasil ser um grande exportador de *commodities* agrícolas. Além disso, com a sua política de longo prazo em investimento na área de produção de petróleo, o país pouco depende do fornecimento internacional. Tem sido ainda um exemplo mundial nos resultados obtidos na troca de combustíveis tradicionais pelos alternativos, basicamente no uso da energia hidroelétrica e de biocombustíveis.

Com o objetivo de padronizar a contabilidade da demanda dos recursos naturais nos diversos países, a ferramenta Análise de Fluxo de Massa – AFM foi aprimorada pela Comissão Europeia (CEC, 2001, 2007), permitindo que possa haver comparações de desempenho econômico-ambiental entre países. Os países industrializados já possuem balanços nacionais dos fluxos materiais anuais: os 15 primeiros países da União Europeia, de forma total, e os demais (14), que aderiram posteriormente, de forma parcial (ADRIAANSE, 1997; DE MARCO, 2001; MATTHEWS, 2000; MOLL, 2003; OECD, 2002, 2008; SHEERIN, 2002; SOJO, 2007; VAN DER VOET, 2005; WEISZ, 2005;). Além desses, Estados Unidos (ADRIAANSE, 1997), Japão (MORIGUCHI, 2007) e Austrália (OECD, 2002, 2008) também possuem balanços nacionais, fomentando indicadores para monitorar suas políticas ambientais vigentes. Estudos já foram conduzidos também para China (CHEN; QIAO, 2001), México (GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, 2008a, 2008b), Colômbia (PÉREZ, 2003), Chile (GILJUN, 2004), Brasil (MACHADO, J., 1999; EISENMENGER, 2007), Peru (RUSSI, 2008), Venezuela (EISENMENGER, 2007), Espanha (CANELLAS, 2004), Equador (VALLEJO, 2006), País Basco (BASQUE, 2002) e Catalúnia (SENDRA, 2008). A partir desses exemplos, conclui-se que uma base estatística que contemple os dados anuais do balanço material brasileiro pode contribuir para a elaboração de políticas ambientais baseadas no uso dos recursos naturais e na produtividade dos processos atuais de produção, ressaltando-se os seguintes pontos:

- O foco tradicional baseado em energia, resíduos sólidos ou substâncias tóxicas fornece uma abordagem incompleta dos problemas ambientais em longo prazo;
- A maior parte dos materiais consumidos ou removidos da natureza ainda é desconhecida pela maioria dos países;
- Os materiais recicláveis representam uma pequena parte do total de material requerido pela economia;
- A análise dos fluxos materiais anuais deve ser a base da avaliação de estoque e acumulação na sociedade, crucial para o desenvolvimento sustentável;
- Dados nacionais agregados e comparáveis, incluindo fluxos entre países, são necessários para uma política ambiental global;
- Indicadores de uso sustentável dos recursos permitiriam o monitoramento de sucessos ou falhas das políticas vigentes.

A implantação de uma política ambiental desse tipo colocaria o Brasil no contexto mundial das preocupações com o uso dos recursos naturais e numa posição de vanguarda perante os países emergentes, além de evitar erros cometidos pelos países industrializados e induzidos pela atual conjuntura econômica globalizada.

### **Objetivos**

Esta tese tem como objetivo principal analisar o processo de desmaterialização da economia nos países desenvolvidos e avaliar em que medida esse processo depende da transferência de impactos ambientais aos países em desenvolvimento. Os objetivos específicos são:

- Criar competência na aplicação da Análise de Fluxo de Massa – AFM como ferramenta da quantificação dos fluxos mássicos no Brasil;
- Contabilizar o inventário nacional dos recursos naturais utilizado pelos setores econômicos brasileiros, usando o método *Economy Wide MFA*;
- Analisar a pressão sobre os recursos naturais exercida pela sociedade brasileira na busca do seu desenvolvimento econômico.

### **Estrutura da tese**

A pesquisa bibliográfica relativa ao referencial teórico, que compõe o capítulo 1, foi realizada a partir de uma busca em artigos, livros, periódicos especializados, anais de seminários internacionais, teses e dissertações em instituições acadêmicas nacionais e internacionais. Depois de identificados os documentos técnicos que enriqueciam o

aprendizado nos temas “consumo de recursos naturais” e “contabilização de fluxos mássicos”, alguns autores foram contatados através de e-mail com vistas a se obter outros artigos. A lista de participantes dos seminários assim como *newsletters* da Sociedade Internacional para a Ecologia Industrial foram úteis para obtenção desses endereços eletrônicos. Um intercâmbio com a Universidade Autônoma de Barcelona<sup>5</sup>, através do Programa de Doutorado com Estágio no Exterior – PDEE, foi importante para a discussão dos conceitos envolvidos e para a troca de experiência no uso de coeficientes para a estimativa dos fluxos indiretos.

No capítulo 2, descreve-se a ferramenta Análise de Fluxo de Massa – AFM na sua variação “*Economy Wide MFA*” para a contabilização de inventários nacionais (1997, 2001, 2005), baseada no aprimoramento e sugestões metodológicas da comissão europeia (CEC, 2001, 2007). Posteriormente, são descritos os principais indicadores derivados dessa AFM, com suas vantagens e desvantagens.

O levantamento de dados nacionais disponíveis e a contabilização do inventário de fluxo de massa para o ano de 2005 estão descritos no capítulo 3. Identificaram-se as diversas fontes governamentais brasileiras que dispõem das informações necessárias, principalmente os Ministérios da Agricultura; Minas e Energia; Meio Ambiente; Desenvolvimento, Indústria e Comércio; através de seus órgãos setoriais como o Departamento Nacional de Pesquisas Minerais – DNPM, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Secretaria de Comércio Exterior – SECEX, entre outros.

Os principais fluxos mássicos no Brasil foram contabilizados seguindo-se o procedimento elaborado pela Comissão Europeia (CEC, 2007), que os classifica em três grandes fluxos: o mineral (metálicos e não metálicos), a biomassa (vegetais, forragem e piscicultura) e os combustíveis fósseis. Esses três fluxos foram, por sua vez, divididos em outros subfluxos para que seus números fossem mais bem detalhados, porém não foram discriminados por setores produtivos como, por exemplo, o consumo do ferro para a siderurgia, metalurgia e indústria química.

No capítulo 4, foram analisados os indicadores derivados da AFM obtidos para os anos de 1997, 2001 e 2005 e sua evolução, comparado-os com os de outros países em períodos distintos, principalmente os da ODCE (MATTHEWS, 2000). Foram elaboradas sugestões

---

<sup>5</sup> O estágio de 12 meses ocorreu no Instituto de Ciências e Tecnologias Ambientais – ICTA, mais precisamente no grupo de pesquisa Sostenipra (<[www.sostenipra.org.cat](http://www.sostenipra.org.cat)>), cujo produto final foi um artigo a ser publicado pela “*Resources, Conservation and Recycling*” (no prelo) e dois pôsteres apresentados em eventos internacionais (Conferência Internacional de Ciclo de Vida – CILCA 2009, realizado em abril, no Chile; e o *Life Cycle Management* – LCM 2009, em setembro, na África do Sul).

com o intuito de se utilizar os indicadores derivados da AFM como suporte para a tomada de decisões para a elaboração de políticas públicas.

No capítulo 5, faz-se uma análise dos inventários nacionais da Alemanha e do Japão, considerando-se a afirmação de que esses países industrializados estariam desmaterializando suas economias com base em indicadores cuja metodologia de contabilização mostrou-se falha.

Finalmente, foram elaboradas as conclusões, que estão apresentadas em três grupos: utilidade da ferramenta Análise de Fluxo de Massa – AFM, padrão de uso e consumo dos recursos naturais pela economia brasileira e desmistificação quanto à desmaterialização da economia em países desenvolvidos.

# 1. REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1. A ECOLOGIA INDUSTRIAL – EI

O conceito de ecologia industrial surgiu no final dos anos 80 e trouxe, na década seguinte, diversas e importantes contribuições para que os impactos de sistemas produtivos no meio ambiente fossem mais bem compreendidos e – a partir de uma abordagem sistêmica – mais corretamente identificados e resolvidos. É fundamental para a ecologia industrial identificar e traçar os fluxos de materiais e energia por meio de suas etapas de uso. Etimologicamente, ECOLOGIA é proveniente do grego *Oikos* (casa, lar, morada) e *Logos* (estudo de). Entende-se que seja o estudo do sistema que dá suporte à vida na Terra, incluindo as plantas, os animais, seres unicelulares e o homem, que de forma independente coabitam o planeta Terra (MARCONDES, 1998). E o termo INDUSTRIAL refere-se às interações entre a indústria e os sistemas ecológicos (GARNER et al., 1995 apud TANIMOTO, 2004).

Não há uma definição que atenda a todos os aspectos pesquisados e praticados pela EI, porém a maioria das definições (EHRENFELD, 1997) enfatiza estes aspectos:

- Visão sistêmica das interações entre sistemas ecológicos naturais e industriais;
- Estudo dos fluxos materiais e energéticos com suas transformações;
- Abordagem interdisciplinar;
- Necessidade de transformação do processo linear para processo cíclico;
- Transformação de sistemas industriais seguindo a lógica dos sistemas naturais;
- Estabelecimento de políticas orientadas para o desenvolvimento do sistema industrial.

Jelinski (1992) define EI como um conceito no qual um sistema industrial é gerenciado não de forma isolada em detrimento da sua vizinhança, mas em harmonia com ela. Busca-se aperfeiçoar o ciclo material total desde a matéria-prima até o produto acabado, os resíduos do produto e finalmente até a sua destinação final. Nessa mesma época, final dos anos 80, surgiu o conceito de metabolismo industrial, como definido por Ayres & Simonis (1994), ou seja, a interação entre os fluxos de matéria e energia através de uma economia industrial. Hoje, a EI vai mais além, desenvolvendo e implementando métodos adequados para reestruturar a economia tornando-a um conjunto de sistemas sustentáveis. Pesquisadores, como Allenby (1999) e Graedel (2001), por exemplo, vão defini-la como a ciência da sustentabilidade e, nesse sentido, incorporam não só a dimensão ambiental, mas também a econômica e a social. Marinho (2001), por sua vez, afirma que a EI propõe uma

visão sistêmica integrada do setor produtivo e deste com o meio ambiente, como um caminho para a otimização do uso dos recursos naturais.

A Figura 1.1 mostra diversas ferramentas utilizadas pela EI em diferentes níveis de emprego, quer seja dentro de uma empresa ou entre duas ou mais, ou em escala regional<sup>6</sup>.

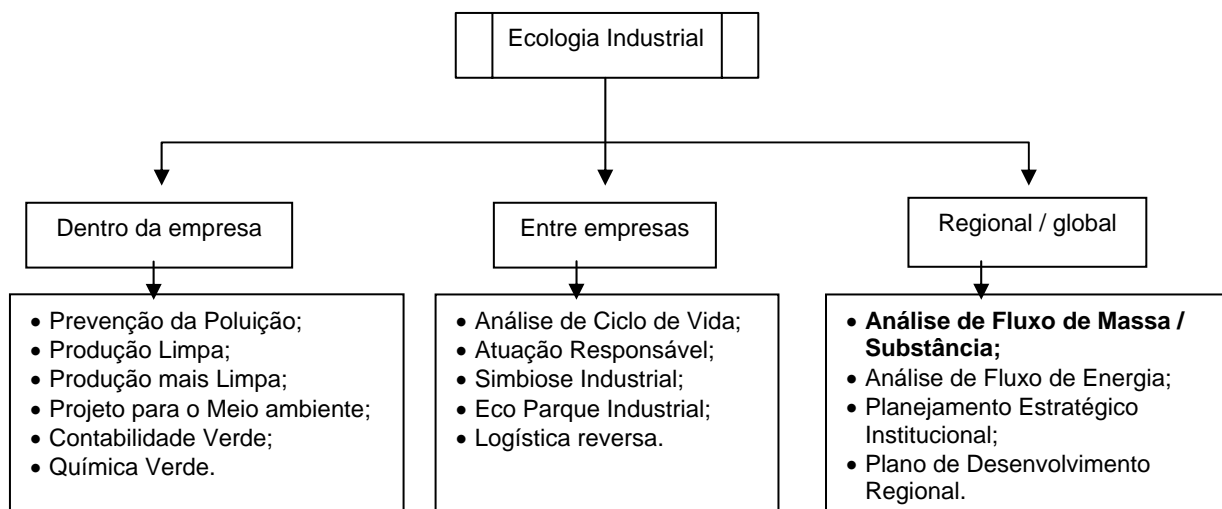


Figura 1.1-1 Áreas de abrangência da Ecologia Industrial  
Fonte: Adaptado de Chertow (2000); Lowe (2001).

O conceito de EI procura uma sinergia entre o metabolismo industrial e o ambiente que o circunda. Isso requer um melhor conhecimento dos fluxos materiais mais relevantes, não só no que diz respeito aos denominados “bens” (energia, materiais de construção, fertilizantes etc.), mas num detalhamento mais minucioso, no que se refere a outros elementos (carbono, ferro, alumínio, cobre, cádmio, nitrogênio, fósforo, entre outros), desde a sua exploração até o destino final. Uma das bandeiras “empunhadas” pela EI é a desmaterialização da economia, que procura diminuir a demanda por recursos naturais por meio da substituição de materiais, da mudança de funcionalidade ou serviço ou até mesmo do prolongamento da vida útil dos produtos. A AFM vem ao encontro desses anseios e pode ser uma ótima ferramenta a ser implementada entre consumidores e fornecedores de todas as áreas, a partir do conhecimento dos seus fluxos materiais gerados.

Na área legislativa, começam a surgir iniciativas de se usar a AFM como ferramenta padrão em dois sentidos: tanto para o gerenciamento de resíduos, em Nordrhein-Westfalen (BRUNNER, 2004), quanto para o gerenciamento de recursos naturais, em Brandenburg (THRAN, 1997) – ambos locais na Alemanha.

<sup>6</sup> Uma descrição sucinta das ferramentas pode ser encontrada em Tanimoto (2004).

## 1.2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

O Desenvolvimento Sustentável tornou-se um objetivo para a sociedade humana desde que os primeiros sinais de deterioração ambiental foram sendo expostos e seus efeitos se tornaram irreversíveis. E o que fazer para identificar o que é mais relevante em termos ambientais para ser mantido e protegido no tempo e no espaço, além de acompanhar as estratégias adotadas nesse sentido e os resultados que vêm sendo obtidos? A resposta pode ser uma ampla pesquisa de estratégias e ações adequadas a cada tipo de problema, complementada com indicadores adequados para acompanhar o desenvolvimento sustentável em uma comunidade, cidade, país, região numa esfera tão ampla que possa englobar o planeta. Isso requer conhecimento do que é importante para a viabilidade da existência do ecossistema envolvido, o que irá contribuir para a sua perpetuação.

A insustentabilidade ambiental é uma ameaça à existência da sociedade humana. Contudo essa ameaça é vista como algo distante, talvez longe demais para ser apropriadamente reconhecida. Isso leva o ser humano a não enxergar, hoje, motivos para preocupação e a imaginar que, com o passar do tempo, tal ameaça desaparecerá ou então alguém achará uma forma de superá-la, apesar da complexidade que as questões ambientais envolvem.

O Desenvolvimento Sustentável possui várias dimensões: ambiental, material, ecológica, social, econômica, legal, cultural, política e psicológica (BOSSSEL, 1999), que requerem acompanhamento. Ao se elencar uma série de indicadores, um para cada dimensão, serão obtidas informações segmentadas, relacionadas a cada indicador, o que vai dificultar o entendimento do todo. Pesquisadores propõem diversas formas de detalhamento para o estudo da sustentabilidade. Bossel (1999), por exemplo, apresenta uma divisão em três sistemas (humano, de suporte e natural) e seus respectivos subsistemas (figura 1.2), que se relacionam entre si. Cada um desses subsistemas pode ser visto como uma variável vital para o desenvolvimento do sistema como um todo, e a escolha de bons indicadores contribui para o monitoramento da eficiência das ações e estratégias adotadas, ratificando ou não um melhor desempenho do conjunto.

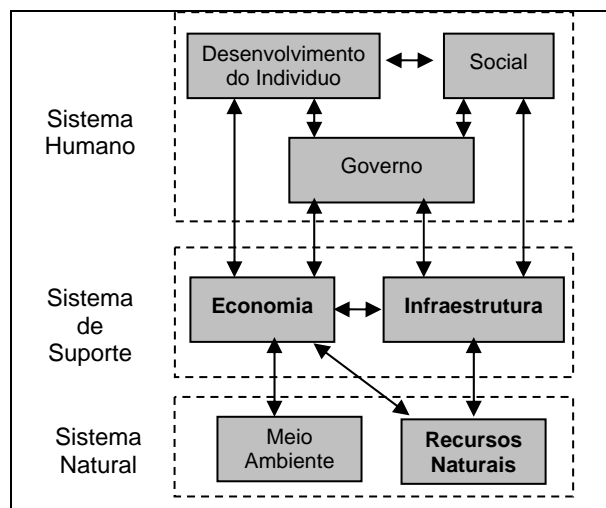


Figura 1.2-1 Os sete subsistemas da antroposfera e suas principais relações  
 Fonte: Bossel, 1999.

Cada relação entre dois subsistemas pode gerar uma série de indicadores e a sua quantidade de varia de acordo com o tipo de resposta que se queira obter. No caso do tema em estudo, o uso de recursos naturais no Brasil, a relação mais direta passa pela demanda que os subsistemas “economia” e “infraestrutura”, exercem sobre o subsistema “recursos naturais”. E os indicadores de desenvolvimento sustentável que permitem monitorar essa demanda são baseados na contabilização dos fluxos mássicos extraídos da natureza e retornados a ela, quer seja na forma tradicional de resíduos sólidos, efluentes líquidos ou emissões gasosas, quer seja como produtos dissipados quando do seu uso, matéria erodida pela atividade agrícola ou removida do solo pela exploração de minerais.

Já foram desenvolvidas diversas ferramentas de contabilização e diversos modelos informatizados que propiciaram o surgimento de sistemas de informação integrando dados de uso dos recursos naturais, econômicos e os que indicassem os resultados das políticas ambientais mais efetivas. Resumidamente, podemos citar alguns exemplos dessas ferramentas: Norris (1997) comenta o *LCNetBase*, que analisa dados econômicos e ambientais de bancos de dados americanos (EPA e *US Bureau of Economic Analysis*). Maenpaa e Juutinen (1997) apresentam o modelo finlandês FMS criado no início dos anos 80, que trabalha com as variáveis: energia, floresta, metais, emissões e recursos naturais e que tem sido usado para modelar o setor florestal naquele país. Guinéé (1997) cita o *M-P chain*, um sistema formado por fluxos de produtos e materiais combinando dados de processos, preços, demandas, cadeias produtivas, que permite a busca de alternativa de materiais e simula os impactos ambientais e econômicos. O EMI 2.0 (HOHMEYER, 1997) foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisa Econômica Europeia e mede os efeitos das emissões



diretas e indiretas das atividades econômicas no meio ambiente. Sua base de dados contempla a investigação de 12 poluentes atmosféricos, 60 tipos de resíduos sólidos e 4 tipos de efluentes residuais, de 58 setores da economia alemã. Radermacher (1997) explica que o MEFIS (*Material and Energy Flow Information System*) foi criado num formato de cubo virtual em que cada cubo contém as informações setoriais e seus fluxos de entradas e saídas e que o *Physical Input Output Table* – PIOT, originado das tabelas de entradas e saídas da área financeira, contempla dados desde a extração da matéria-prima ao descarte de resíduos, passando pelo balanço completo de cada atividade de consumo e produção. O RSS (*Reference Sustainable System*) é um modelo adaptado para cidades e possui a função custo social minimizada, em que os impactos ambientais são internalizados como custos financeiros para a sociedade (FOXON, 1997). O MARKAL (*MARKet ALocation*) foi desenvolvido para estratégias energéticas de longo prazo, contém um banco de dados com centenas de tecnologias e seus parâmetros técnicos, financeiros e ambientais. Com mais de 15 anos no mercado, tem sido usado por mais de 50 instituições em 27 países (GIELEN, 1997). E finalmente a Análise de Fluxo de Massa – AFM, ferramenta adotada pela Comissão Europeia (CEC, 2001) para padronizar o procedimento de obtenção de um banco de dados estatísticos e que refletisse de forma confiável o inventário nacional de uso dos recursos naturais de todos os Estados membros da Comunidade Europeia.

Mais recentemente a Universidade de Yale (2008) publicou o Coeficiente de Desempenho Ambiental (*Environmental Performance Index*), em que o item Produção de Recursos Naturais faz parte de uma das famílias de indicadores. Nesse item, somente a produção de pesca, de floresta e de agricultura é contabilizada, a produção de metais não compõe o seu cálculo. Por outro lado, as Nações Unidas (s.d.) através da Comissão para o Desenvolvimento Sustentável, elaborou um guia para a confecção de indicadores para o desenvolvimento sustentável, que está dividido em três grandes temas: social (19 indicadores), ambiental (19) e econômico (18). O único indicador relacionado com o uso dos recursos naturais foi classificado como indicador econômico (Uso intensivo de material) e contabiliza somente os metais.

Dentre as ferramentas identificadas a AFM é a única que aborda todos os fluxos mássicos, quer sejam bióticos ou abióticos e, portanto, foi a escolhida para acompanhar a demanda de uma economia a partir dos recursos naturais explorados.

### 1.3. A ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA – AFM

A Análise de Fluxo de Massa – AFM é uma análise de um sistema de fluxos e de estoques de materiais definido no espaço e no tempo. Essa análise faz uma vinculação

entre as fontes e os destinos intermediários e finais, considerando todos os caminhos percorridos pelo material. Seguindo o princípio da conservação da matéria (Lei de Lavoisier), o resultado de uma AFM pode ser obtido por um simples balanço material, comparando-se todas as entradas, estoques e saídas de um processo. Isso a torna atrativa como uma ferramenta de suporte para tomada de decisão no gerenciamento de recursos e na gestão de resíduos e do meio ambiente. Quanto ao uso, podem ser classificados em dois modelos: estático e dinâmico. O primeiro é usado para identificar a origem dos problemas ambientais e estimar o impacto de variações dos fluxos de materiais e o segundo é usado para simular a geração de resíduos e emissões futuras, utilizando coeficientes por habitante ou financeiros como o produto interno bruto – PIB.

O termo “massa” é usado para estudar os fluxos macros entre países, setores industriais ou sistemas que ocupam uma larga extensão territorial. E o termo “substância” é usado para identificar problemas de poluição específica, identificações estas que normalmente decorrem das exigências atuais em relação à questão ambiental. Pode ser aplicado também a bens não físicos, por exemplo, energia, serviços ou informações.

#### 1.3.1. História da AFM

Muito antes da AFM se tornar uma ferramenta de gerenciamento de recursos, resíduos e do meio ambiente, o princípio de balanço de massa já era aplicado em diversos campos, tais como a medicina, química, economia, engenharia e as ciências. O princípio básico é a conservação da matéria, ou entradas iguais a saídas – conforme postulado por filósofos gregos há mais de 2 mil anos. O químico francês Antoine Lavoisier (1743 – 1794) provou através de experiências que a matéria não poderia sofrer aumento ou diminuição após processos químicos: *“Neither man made experiments nor natural changes can create matter, thus it is a principle that in every process the amount of matter does not change”* (LAVOISIER apud BRUNNER, 2004, p.14).

Tradicionalmente, na engenharia química, utiliza-se a análise de entradas e saídas de material nas reações químicas teóricas e se determina a eficiência de uma reação fazendo-se a comparação entre os resultados teóricos e práticos. Em 1930, Vassily Leontief introduziu a ferramenta “Tabela de Entradas e Saídas”, conhecida como IOT (*Input-Output Table*) (BRUNNER, 2004) nos estudos econômicos. Leontief estudava a interdependência de sistemas de produção e desenvolveu um método que permitia analisar as interações econômicas entre os vários setores produtivos, relacionando os bens, os processos produtivos, as ofertas e demandas, tanto do ponto de vista estacionário quanto do dinâmico. A Tabela de Entradas e Saídas – IOT tornou-se uma ferramenta muito usada pelos

elaboradores de políticas econômicas. Tal fato fez com que Leontief recebesse o Prêmio Nobel de economia em 1973.

Com o objetivo de se pesquisar os efeitos dos sistemas produtivos no meio ambiente, a ferramenta original foi expandida e passou a incorporar as emissões de produção e os seus resíduos. Em 1970, surgiram as primeiras aplicações de tabelas de entradas e saídas na área de conservação de recursos e gerenciamento ambiental. Nas décadas seguintes, a AFM tornou-se uma ferramenta usada em muitas áreas, tais como: controle de processo, tratamento de resíduos e efluentes, gestão de nutrientes na agricultura, gestão na qualidade da água, conservação dos recursos, avaliação do ciclo de vida, entre outras.

Um dos registros mais antigos de AFM refere-se a uma análise de metabolismo humano, quando Santório, no início do século XVII, mediu tudo que era consumido e excretado pelo homem, num determinado tempo (Figura 1-3). Esse experimento permitiu conclusões similares aos estudos de AFM atuais, ou seja: que é impossível avaliar e otimizar sistemas antropogênicos sem conhecer os fluxos materiais e de estoques, que as entradas e saídas de um processo ou sistema não fecham exatamente, demandando assim novas estimativas, e que as ferramentas amplamente usadas mostram-se inapropriadas para medir os fluxos com a precisão necessária.



Figura 1.3.1-1 Experimento de Santório para analisar o metabolismo material de uma pessoa  
Fonte: Brunner, 2004.

Foram identificados estudos pioneiros em vários contextos de análises, que são descritos a seguir.

### 1.3.2. Estudos pioneiros e suas áreas de aplicação

#### a) A análise do metabolismo de cidade

O uso e consumo de bens pela sociedade na sua forma de vida predominantemente urbana leva a um crescente estoque de material em cidades, devido à necessidade de infraestruturas para moradias, telecomunicações e transportes e ao alto consumo de energia. Pensando nisso, Abel Wolman (1965) publicou “O Metabolismo de cidades”, em que utilizando dados de consumo e produção de bens, estimou os fluxos de entradas e saídas de uma cidade de um milhão de habitantes. Outros autores tentaram desvendar a complexidade de um metabolismo urbano e desenvolveram métodos específicos para quantificar a reposição de matéria e energia, assim como os efeitos de sua demanda nos recursos naturais e a destinação dos resíduos no meio ambiente.

Duvigneaud e Denayeyer-De Smet (1975 apud Brunner, 2004) analisaram a cidade de Bruxelas. Nessa análise, contabilizaram a importação e exportação de bens, tais como: combustíveis, materiais de construção, alimentos, água, resíduos, efluentes gerados, emissões etc., assim como o balanço energético. Concluíram que Bruxelas era altamente dependente dos seus arredores. Toda sua água potável era importada, a água de chuva não era reaproveitada, os materiais de construção e os orgânicos pós-usos não eram reciclados sendo exportados como resíduos. O fluxo linear de material e energia produzia grande carga poluidora que deteriorava a qualidade da água, ar e solo da cidade e dos arredores. Os estudiosos também identificaram a necessidade urgente de modificações estruturais nas cidades, tais como reutilizar a energia e o material desperdiçado, fomentar o fechamento de ciclos de material e reduzir as perdas para o meio ambiente. Alertaram que somente com uma abordagem interdisciplinar as medidas necessárias para obter os resultados requeridos teriam sucesso.

Newcomb (1978 apud Brunner, 2004) analisou o metabolismo da cidade de Hong Kong e contabilizou números 10 vezes menores no consumo per capita de material e energia se comparado aos das cidades maiores e mais desenvolvidas. Concluiu que um aumento mundial no consumo de materiais nas grandes cidades impactaria de forma irreversível as fontes dos recursos e o meio ambiente. Além disso, afirmou que, para a busca de soluções sustentáveis para as grandes cidades, seria necessário medir os fluxos de bens, materiais e energia dos sistemas urbanos. König (1997 apud BRUNNER, 2004) revisou o trabalho de Newcomb quantificando novamente o metabolismo de Hong Kong e circunvizinhança.

#### b) Balanço regional material

Os primeiros estudos de acumulação de metais pesados surgiram nos fins da década de 1960, com o desenvolvimento de métodos de balanço material e análise de fluxo. Um estudo de referência foi o de Huntzicker (1972 apud BRUNNER, 2004), que pela primeira vez quantificou o chumbo emitido pelos automóveis na região de Los Angeles. Este estudo baseou-se nas medições de concentração de chumbo na atmosfera, na distribuição e no tamanho das partículas e no seu fluxo de deposição. O autor concluiu que a análise de fluxo era uma poderosa ferramenta de gestão ambiental e que a redução do chumbo contido na gasolina automotiva diminuiria significativamente a presença desse

metal na região de Los Angeles. O estudo também mostrou que a poeira suspensa pelas estradas de rodagem era uma importante fonte secundária de chumbo, que, com a redução do metal na gasolina, deveria diminuir gradativamente ao longo dos anos. Esse trabalho foi atualizado por Lankey (1998 apud BRUNNER, 2004) no fim dos anos 90.

Outro estudo pioneiro foi realizado por Ayres (1985), que analisou as fontes, o trajeto e a destinação final dos maiores poluentes nas bacias dos rios Hudson e Raritan (Estados Unidos) ao longo dos últimos 100 anos (1885 a 1985). Fizeram parte desse estudo os metais pesados (prata, arsênio, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, chumbo e zinco), pesticidas (diclorodifenil-tricloroetano – DDT, tetraclorodifenil-etano – TDE, aldrin, hexaclorobenzeno, lindano, clordano, entre outros), policloreto de bifenila – PCB, hidrocarbonetos aromáticos, nitrogênio, fósforo e carbono orgânico total – COT. Um dos objetivos do estudo foi identificar o efeito das atividades antropogênicas em longo prazo num ambiente aquático, mais especificamente em pescados capturados na baía do rio Hudson. A modelagem do transporte desses poluentes foi desenvolvida de forma individual, contemplando as principais fontes, rotas e destinos finais, por meio de comparações com os medidos na prática. Esses modelos matemáticos foram usados de formas dinâmicas para prever futuras alterações no meio ambiente provenientes do aumento da população local, uso da terra, de regulamentações etc. Ayres (1989 apud GARNER, 1995) expandiu seus estudos para outros sistemas mais complexos, surgindo assim o termo metabolismo industrial.

Um dos primeiros inventários nacionais de substância foi realizado por Rauhut (1976 apud BRUNNER, 2004) quando este investigou o uso, consumo e destinação do cádmio na Alemanha, contribuindo para a elaboração de uma política de gestão e regulação desse metal, visando à minimização do impacto ambiental causado por ele. Dois anos depois (1978), foi feita uma Análise de Fluxo de Substância – AFS para o mercúrio; em seguida (1980), para o cádmio, na Dinamarca, país que continuou a aplicar essa ferramenta para analisar o fluxo de outras substâncias. Hansen (1997a) cita uma lista de substâncias (Figura 1.4) estudadas nesse país com o objetivo de fomentar as políticas ambientais e ao mesmo tempo monitorar as metas a serem atingidas.

Metais pesados	Ano	Substâncias Orgânicas	Ano	Outras Substâncias	Ano
Mercúrio	1978, 1983, 1993	Policloreto de Bifenila - PCB	1981	Cloro e compostos	1987
Cádmio	1980, 1990	Policloreto de Trifenila - PCT	1981	Alumínio	1994
Arsênico	1981	Phtalatos	1982, 1994		
Níquel	1981, 1994	Formaldeídos	1983		
Cromo	1981	Clorofenóis	1985		
Cobalto	1981	CFC	1986+anual		
Cobre	1994	Cloroparafinas	1991		
Chumbo	1994	Ácido Fosfono Amino Metil - AMPA	1997		
Estanho	1994				

Figura 1.3.2-1 Substâncias e fluxos quantitativos mapeados por uma AFS na Dinamarca  
Fonte: Adaptado de Hansen, 1997a.

No nível municipal, uma das principais referências da literatura é a da capital da Suécia, Estocolmo, que preocupada com os metais e cargas poluentes que chegavam às suas unidades de tratamento de efluentes realizou uma série de AFS para metais (cobre, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e zinco), para policloreto de bifenila, nitrogênio e fósforo (BURSTROM, 1997). Daxbeck (1997) também registra os trabalhos desenvolvidos para a cidade de Viena, ano base 1991, cujos fluxos mássicos para o carbono, nitrogênio e chumbo foram pesquisados para um melhor entendimento do metabolismo dessa cidade.

Em escala global, os primeiros estudos sobre os ciclos naturais e antropogênicos dos metais foram realizados pelos geoquímicos Lantzy e Mckenzie (1979). Nriagu (1994) também investigou os ciclos de alguns metais (arsênio, vanádio, mercúrio, cádmio) desde a fonte até a destinação final, dentro de um contexto de exposição do homem aos efeitos tóxicos dessas substâncias, tanto para fluxos locais e quanto globais.

#### c) Análise do Metabolismo da Antroposfera

Esse termo foi introduzido por Baccini e Brunner (1991) ao desenvolverem métodos para analisar, avaliar e controlar processos metabólicos produzidos pelo homem, com o objetivo de melhorar a forma de se utilizar os recursos naturais e minimizar tanto o impacto ambiental regional quanto o global. Esses autores ratificaram o entendimento de que soluções fim de tubo eram frequentemente de baixa eficiência e focaram seus estudos em soluções que envolvessem o fluxo total da substância e não somente na gestão dos resíduos.

Lohm e Bergback (1994) também passaram a usar o conceito de metabolismo da antroposfera em seu estudo considerado pioneiro, “Metabolismo de Estocolmo”, quando identificaram o estoque de material e substâncias nas residências e infraestruturas na sociedade como sendo grandes reservas de potenciais substâncias para o futuro, tais como o cobre e o chumbo.

Ao explicar os resultados de uma análise de fluxo material, Fischer-Kowalsky (1997) cita diversas abordagens tanto de ciências sociais quanto das naturais (sociologia, história, economia, antropologia, cultura, biologia, agronomia, ciências dos materiais e geografia social). Isso permite observar que o tema natureza vem sendo sistematicamente reintroduzido em campos de estudo próprios das ciências sociais, tais como o trabalho, a propriedade, a distribuição de renda, o estilo de vida e a cultura. O estudioso relembra que desde os meados do século XIX, o “metabolismo de uma sociedade” tem sido conceituado pela biologia<sup>7</sup>, sociologia<sup>8</sup> e geografia social<sup>9</sup>, mas foi a partir da década de 1960 que se consolidaram os conceitos sobre a AFM, tal qual entendemos hoje, por meio dos trabalhos de Wolman (1965), Boulding (1996) e Ayres & Kneese (1968, 1969).

Wackernagel (2002) usou em parte a AFM para desenvolver um método para medir a pegada ecológica de uma região ou país. Afirma que o conceito de progresso precisa ser redefinido, pois as cidades precisam de áreas cada vez mais distantes<sup>10</sup> para sua subsistência. Kitzes (2008) e Ewing (2008a, 2008b) consolidaram esse método que já é aplicado para centenas de países e cidades, inclusive para uma pessoa física obter o seu indicador de impacto ambiental.

Schmidt-Bleek e Weizsacker (1997 apud BRUNNER, 2004), ambos do Instituto Wuppertal, utilizaram a AFM em seus estudos de consumo e conservação dos recursos e concluíram que a demanda das economias modernas estava muito além da capacidade de reposição pela natureza. Também chegaram à conclusão de que para atender ao conceito de desenvolvimento sustentável a redução no fluxo material dos países desenvolvidos deveria atingir fatores de 4 a 10 r de ecoeficiência.

---

<sup>7</sup> Metabolismo é a troca de energia e substância entre organismos vivos e o meio ambiente. (MOLESCHOTT, 1857 apud BRUNNER, 2004).

<sup>8</sup> O trabalho, através da tecnologia, transforma recursos naturais em bens de consumo para o homem. (MARX & ENGELS, 1867 apud BRUNNER, 2004).

<sup>9</sup> Ambiente modificado pela ação humana. (MARSH, 1864 apud BRUNNER, 2004).

<sup>10</sup> Alguns autores utilizam o termo *hinterland* para expressar essa “terra distante” necessária para sustentar o padrão de consumo da sociedade moderna.



A ODCE (2008), através do programa “Fluxo Material e Produtividade no Uso dos Recursos”, aprimorou a base de conhecimento sobre o tema entre seus países membros com o lançamento do guia “Medição do Fluxo Material e Produtividade no Uso dos Recursos”, construindo uma série de indicadores para serem implementados em políticas ambientais em seus respectivos países.

Em termos regionais, é a Europa o lugar em que mais trabalhos de fluxos de massa têm sido realizados (ADRIANSE, 1997; BRINGEZU, 2002, 2006; MOLL, 2003; OECD, 2002). Esse fato é condizente com a preocupação dos países ricos em gerenciar os poucos recursos que lhes restam, e de alguma forma garantirem o fornecimento, pelos países emergentes, dos recursos que lhes são necessários para manter as suas economias.

Uma das mais completas publicações de análise de inventário nacional usando a AFM foi “O Peso das Nações” (MATTHEWS, 2000), na qual o fluxo material de cinco países (Áustria, Alemanha, Japão, Holanda e Estados Unidos) é apresentado de forma comparada. Esse trabalho mostra ainda os indicadores de movimentação física (bruta e relativa), explicitando as referências utilizadas e os indicadores usados para o cálculo dos fluxos ocultos.

Quando se busca referência de análise de fluxo de substância de abrangência global, surge a série de publicações do Projeto STAF<sup>11</sup> (BERTRAM, 2002; GRAEDEL, 2002; KAPPUR, 2003; RECHBERGER, 2002; SPATARI, 2002; VAN BEERS, 2003; VEXLER, 2004), elaborado por um grupo de pesquisadores do Centro para a Ecologia Industrial, da Universidade de Yale, onde o cobre foi analisado de forma individual em nível nacional, continental e global. O zinco, em menor abrangência, também foi alvo de estudos nesse projeto.

Nos diversos trabalhos citados, alguns deles datados desde os finais da década de 1960, a AFM abordava somente os chamados fluxos diretos, ou seja, o que era contabilizado economicamente (vendido) ou causava algum dano ambiental visível. Somente o trabalho “*The weight of nations*” (MATTHEWS, 2000) mostrou a importância de se considerar os impactos causados pelos fluxos indiretos (ou ocultos) dos produtos importados que causam impacto no país de origem e não no país de seu uso, ainda que o autor não tenha exposto a contabilização desses impactos.

No capítulo seguinte será descrita a ferramenta conhecida como *ECONOMY-WIDE MFA*, aperfeiçoada pela comissão europeia (CEC, 2001, 2007).

---

<sup>11</sup> A sigla STAF corresponde a *Stock and Flow Project*.

## 2 METODOLOGIA DA ANÁLISE DE FLUXO DE MASSA – AFM

A Análise de Fluxo de Massa – AFM é definida como uma família de técnicas de contabilização mássica (OECD, 2008) e pode ser dividida em dois tipos principais: a Análise de Fluxo de Massa<sup>12</sup> e a Análise de Fluxo de Substância – AFS. A primeira considera o fluxo total de um determinado setor produtivo ou de uma determinada região e tem como objetivo principal a análise do consumo de recursos naturais e suas relações econômicas, utilizando para isso seus indicadores e os problemas de sustentabilidade ambiental relacionados à quantidade de matéria movimentada. Nesse primeiro tipo, a análise recai sobre a quantidade, forma de uso de matéria-prima, assim como a destinação final de setores produtivos previamente selecionados em regiões ou países. Seus indicadores absolutos (t) ou relativos (t por PIB ou população) são comparados aos de outros países com semelhanças sociais e econômicas.

A segunda, a AFS, investiga o fluxo de um determinado elemento ou de produtos quimicamente bem definidos. Tem como principal objetivo a identificação de fontes poluidoras, o conhecimento da cadeia produtiva e do destino final de um determinado elemento. Com essa análise, pode-se planejar a redução de um impacto ambiental a partir de uma abordagem técnico-científica.

Os fluxos de substâncias ecotóxicas limitadas a um país ou região são os mais pesquisados como, por exemplo: os metais pesados (DAHLBO; ASSMUTH, 1997; DAXBECK, 1997; HANSEN, 1997; HANSEN; LASSEN, 1997; LASSEN, 1997; MAAG, 1997; PALM, 2002; SCHONBAUER, 1997) e a sua acumulação no meio biótico; o nitrogênio e fósforo (ANTIKAINEN, 2007; DAXBECK, 1997; REINER, 1997), causadores de impactos como a eutroficação; o carbono (DAXBECK, 1997; FLUGSRUD, 1997), por sua relação com o efeito estufa e as substâncias cloradas (KLEIJN, 2000; OBERNOSTERER; BRUNNER, 1997; TUKKER; KLEIJN, 1997) devido ao seu alto poder de acidificação do meio e à formação de substâncias organocloradas.

Outras substâncias ou compostos também são pesquisados como, por exemplo, plásticos (BOGUCKA, 2007a, 2007b), ferro (DAVIS, 2007), biomassa (KORHONEN, 2000), inclusive a energia contida no material (KORHONEN, 2000; MACHADO G., 2001), em decorrência de interesse econômico ou de se realizar reciclagem.

---

<sup>12</sup> Também conhecida como *Economy-Wide MFA*, *bulk MFA*, *National Accountability MFA*.

Duas instituições americanas se destacaram na década de 1990 na condução de estudos de Análise de Fluxo de Substância, a *U.S. Bureau of Mines* e a *U.S. Geologic Surveys*, mapeando a rota do cádmio (LLEWELLYN, 1994), arsênio (LOEBENSTEIN, 1994), cobalto (SHEDD, 1994), chumbo (BLEIWAS, 2006), manganês (JONES, 1994), mercúrio (SZNOPEK, 2000), enxofre (OBER, 2002), tungstênio (SMITH, 1994), vanádio (HILLIARD, 1994) e do zinco (JOLLY, 1992) em território americano.

A Figura 2.1 classifica os tipos de AFM segundo Bringezu e Kleijin (1997) e Bringezu e Moriguchi (2002).

Objetivos	Sustentabilidade ambiental			
	Desmaterialização Reestruturação		Detoxificação Despoluição	
Tipo	I		II	
Motivação	Problemas de sustentabilidade ambiental relacionada à quantidade de uso e descarte de matéria		Problemas ambientais específicos relacionadas a determinados impactos por unidade de fluxos	
Abrangência	Setorial	Regional	Substâncias	Materiais
Objeto de análise	Produção, indústria química, construção civil	Principais fluxos, uso e entrada de material	Cd, Cl, Pb, Zn, Hg, N, p, C, CO <sub>2</sub> , CFC	Madeira, energéticos, plásticos
Abordagem	Relações socioeconômicas		Técnico-científica	

Figura 2-1 Tipos básicos de AFM

Fonte: Adaptado de Bringezu; Kleijin, 1997; Bringezu; Moriguchi, 2002.

Análises de fluxos mássicos e energéticos já são praticadas em vários países, porém são ainda pouco usuais nos países em desenvolvimento. Para a realização da análise ambiental, torna-se necessário uma adequação às particularidades regionais brasileiras, uma vez que não se podem aplicar as mesmas referências de lançamento (concentração) e de impactos ambientais usadas pelos países desenvolvidos. Para que os objetivos específicos desta tese sejam atingidos, será estudada e implementada uma AFM conhecida como *ECONOMY-WIDE MFA*, desenvolvida e padronizada pela comissão da comunidade europeia (CEC, 2001 e 2007).

## 2.1 ECONOMY-WIDE MFA

A contabilidade de fluxo material de uma economia permite fazer uma análise de forma organizada, integrada e comparativa tanto entre anos distintos quanto com outras economias. Sua realização está baseada no conceito de balanço de massa. Nesse sentido, todos os fluxos materiais de entradas e saídas de uma fronteira funcional entre o sistema

econômico e o ambiental, além da fronteira geográfica de um país (importação e exportação), devem ser contabilizados. Quando a análise contempla a economia de uma nação, os fluxos internos (setoriais ou de unidades de produção) não são detalhados, o que pode ser feito por meio de outra ferramenta, a Tabela de entradas e saídas físicas –TESF<sup>13</sup>. Esse método de análise dos fluxos de uma economia foi desenvolvido dentro do programa de contabilidade ambiental da Eurostat, cuja força tarefa foi coordenada por H. Schutz, do Instituto Wuppertal e por A. Steurer, do Eurostat (CEC, 2001), e foi posteriormente complementado por outras fontes, que são devidamente citadas ao longo do texto.

Uma vez determinados os limites de fronteiras, contabilizam-se os fluxos de entrada e saída do sistema estudado (Figura 2-2). Estes macrofluxos de entradas e saídas considerados na AFM podem ser classificados conforme descrito abaixo:

- Extração doméstica;
- Fluxo indireto associado à extração doméstica;
- Importação;
- Fluxo indireto associado à importação;
- Consumo de ar;
- Descarte ao meio ambiente;
- Exportação;
- Fluxo indireto associado à exportação.

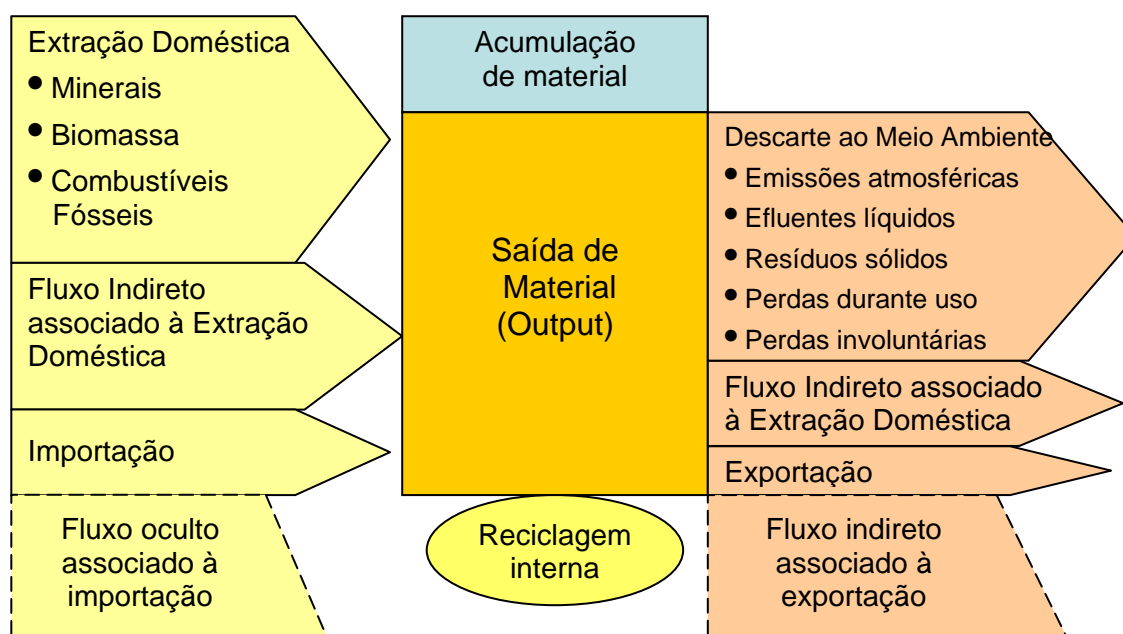


Figura 2-2 Principais fluxos mássicos de uma *ECONOMY-WIDE MFA*

<sup>13</sup> Do inglês *Physical Input-Output Table* – PIOT.

Fonte: CEC, 2001.

### 2.1.1 Extração Doméstica

A Extração Doméstica corresponde a toda matéria-prima, quer esteja no estado sólido, líquido ou gasoso, extraída dentro dos limites físicos do país, que seja diretamente usada na economia nacional. Esse fluxo apresenta-se dividido em: minerais (metálicos, não metálicos e energéticos), biomassa (vegetal e animal) e combustíveis fósseis. Algumas unidades de medidas usadas para os dados primários são volumétricas como, por exemplo, para a madeira, solo, pedras ornamentais e gases. Já para fluxos de combustíveis, utiliza-se a unidade de energia (Joule). Nesse caso, devem ser utilizados coeficientes de conversão local para se usar as mesmas unidades mássicas (t).

O fluxo dos minerais divide-se em metálicos (ferrosos e não ferrosos) e não metálicos (industrializados e da construção: areia, brita, calcário para fabricação do cimento, granito etc.). No que se refere à extração do calcário usado na produção de cimento e da argila para a fabricação de tijolos, os dados reportados em estatísticas nem sempre são totalmente confiáveis. Em alguns casos, informações sobre a produção obtidas a partir de associações industriais podem ser utilizadas para ratificar ou retificar essas estatísticas. Usando-se os dados do mercado, pode-se refazer o fluxo necessário para atender à demanda do consumo.

O fluxo biomassa, por sua vez, divide-se em produtos da agricultura (cereais, sementes oleaginosas, tubérculos, legumes, frutas, amêndoas, forragem para alimentação animal, sugerida pela CEC (2007)<sup>14</sup>, madeira para indústria da celulose, construção civil, movelaria etc.), produtos da caça, da pesca (marinha e continental) e de outras atividades como apicultura. Na era dos biocombustíveis, a atenção deve ser redobrada para evitar que produtos venham a ter dupla contabilização (como biomassa e combustível). O carvão vegetal oriundo da madeira, o álcool oriundo da cana-de-açúcar ou o biodiesel proveniente de outras oleaginosas, por exemplo, correm esse risco. Alimentos para a criação de gado, principalmente, são plantados, colhidos e consumidos pelo animal na própria fazenda, não sendo contabilizados pelas estatísticas das instituições agrícolas. Estimativas podem ser feitas baseadas na área de pasto multiplicada pela produtividade do vegetal, ou então pela quantidade do rebanho multiplicado pela necessidade de ingestão para o seu crescimento.

Os combustíveis fósseis podem ser divididos também em carvão mineral, petróleo, gás natural e líquido de gás natural.

---

<sup>14</sup> Machado, J. (1999) usou, para produção da pecuária, o abate de bovinos, caprinos, ovinos, equinos, asininos, muares, bubalinos.

### 2.1.2 Fluxo Indireto Associado à Extração Doméstica

É todo material primário extraído da natureza durante a exploração de qualquer matéria-prima acima referida e que não é usado por não ter valor econômico como, por exemplo: rejeito da mineração, restos e perdas da colheita no campo, remoção de solo, material de dragagem, entre outros. Para os minerais, podem-se encontrar estatísticas relacionadas ao metal puro em vez do peso bruto do minério. Nesse caso, pode-se dividir o valor referente ao metal puro pela sua concentração no minério e se obter o peso bruto extraído da natureza.

### 2.1.3 Importação

O fluxo Importação corresponde à mercadoria estrangeira que adentra a economia nacional, podendo ser dividido em bens primários, semimanufaturados, produtos acabados e outros produtos, o que permite analisar as tendências da estrutura do comércio exterior do país. No entanto, nem sempre essa classificação é clara o suficiente. Quando isso acontece, podem-se classificar as importações da mesma forma que a Extração Doméstica, em minerais (metálicos e não metálicos), biomassa (vegetal e animal) e combustíveis fósseis.

### 2.1.4 Fluxo Oculto Associado à Importação

Esse fluxo é referenciado como fluxo oculto<sup>15</sup> estrangeiro ou mochila ecológica (*ecological rucksacks*). É a parte da matéria sem valor comercial, gerada ou movimentada para produzir a mercadoria importada e que permaneceu no país produtor. Trata-se de uma estimativa de valor com menor grau de precisão, uma vez que depende muito da tecnologia de produção utilizada pelo país exportador. Na falta de informações mais precisas, assume-se que a mercadoria importada seja produzida no país de origem da mesma forma que no país importador.

A não contabilização da água necessária para a manufatura (minerais e combustíveis) ou plantio (biomassa) do produto é questionada por alguns pesquisadores. O método sugerido pela CEC (2007) ainda não contempla essa demanda, que por essa razão não foi contabilizada nos fluxos ocultos nem nos indiretos.

---

<sup>15</sup> Apesar de “fluxo oculto” e “fluxo indireto” na prática se equivalerem, neste trabalho optou-se por fazer a distinção entre eles seguindo a nomenclatura da Comissão Europeia (CEC, 2002, 2007) em uma tradução literal: “oculto” para traduzir *hidden*, quando se tratar de fluxo de importações, e “indireto” para traduzir *indirect*, quando se tratar de fluxo de exportações e de extração doméstica.

### 2.1.5 Descarte ao Meio Ambiente

É a matéria que durante o processo de produção ou pós-uso de um item é descartada na forma de emissões gasosas para a atmosfera, emissões líquidas para corpos receptores ou resíduos sólidos para aterros. Corresponde também às perdas que ocorrem durante seu uso, assim como às perdas involuntárias para o meio ambiente, conforme descrição abaixo.

As emissões gasosas para a atmosfera incluem os principais contaminantes ambientais dos processos de combustão e industriais tais como:

- Dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> gerado nos processos de combustão. Tanto o CO<sub>2</sub> gerado nos aterros, que é oriundo dos resíduos sólidos, quanto o que é proveniente da respiração animal já foram contabilizados.
- Dióxido de enxofre – SO<sub>2</sub> oriundo principalmente da queima de combustíveis fósseis e de processos industriais específicos do segmento químico;
- Óxidos de nitrogênio – No<sub>x</sub> na forma de NO<sub>2</sub> oriundo principalmente do processo de combustão;
- Composto orgânico volátil, excluído metano – NMVOC<sup>16</sup>, deve-se excluir também os solventes.
- Monóxido de carbono – CO gerado pelos processos de combustão;
- Metano – CH<sub>4</sub>. Não se deve incluir aqui o metano produzido nos aterros, pois este já foi contabilizado como resíduo;
- Material particulado – MP gerado no processo de combustão;
- Óxido Nitroso – N<sub>2</sub>O gerado pela queima de combustíveis e processos químicos específicos. Não se deve considerar aqui o N<sub>2</sub>O produzido pelo nitrogênio de fertilizantes, nem o contabilizado como “perdas pelo uso” de certos produtos (gás anestésico hospitalar);
- Amônia – NH<sub>3</sub> gerada por processos químicos específicos. Não incluir a amônia produzida a partir do nitrogênio de fertilizantes, a proveniente da agricultura e de resíduos;
- Clorofluorcarbonos e halons – CFC, HFC gerados por processos químicos específicos e por falha de procedimento de manutenção (vazamentos, perdas fugitivas). É preciso atenção para não haver dupla contabilização; haver a sua inclusão em “perdas pelo uso” e “perdas involuntárias” concomitantemente.

As emissões de efluentes líquidos lançados em corpos receptores devem contabilizar o nitrogênio e fósforo (não oriundo de fertilizantes), além de materiais orgânicos medidos,

---

<sup>16</sup> Optou-se por manter as iniciais das substâncias conforme nomenclatura da língua inglesa.

como carbono orgânico total (COT), por exemplo, e outros tipos de lançamentos ao mar, como os realizados pelos emissários submarinos. Caso os limites do sistema incluam as estações de tratamento de efluentes, então o fluxo de lodo ativado (resíduos gerados nas estações) deve ser contemplado como fluxo de saída e as concentrações de nitrogênio e de fósforo devem ser medidas após essas estações, sob o risco de sofrerem dupla contabilização.

Os resíduos sólidos para aterros devem contemplar os resíduos municipais de origem doméstica, os da construção civil, os equipamentos eletroeletrônicos e veículos sucateados sem reaproveitamento; assim como os resíduos industriais perigosos e os não perigosos.

A denominação perdas no uso é usada para indicar a quantidade de matéria dispersada no meio ambiente, em consequência do seu uso como, por exemplo: fertilizantes minerais, adubos naturais, material usado em estradas de rodagem (areia, asfalto), borracha de pneus, solventes de tintas, pesticidas, sementes, lodo ativado de estações de tratamento de efluentes – quando devido – etc. Os solventes requerem atenção pela possibilidade de dupla contabilização, pois podem ser incluídos tanto em emissões gasosas para a atmosfera (compostos orgânicos voláteis – COV) quanto em perdas pelo seu uso.

Denomina-se perdas involuntárias à quantidade de matéria perdida por acidentes como derramamentos de produtos, incêndios, corrosão de estruturas metálicas etc.

#### 2.1.6 Fluxo Indireto Associado à Extração Doméstica

Corresponde ao mesmo fluxo da exploração da matéria-prima e se refere particularmente à matéria não utilizada no processo produtivo por não ter valor comercial. Optou-se por manter a mesma nomenclatura do fluxo de entrada, conforme o procedimento da CEC (2001 e 2007). Em regra geral, repete-se o mesmo valor do item 2.1.2. Porém, caso seja do conhecimento de que parte desse fluxo foi destinada a aterros municipais ou industriais, deve-se abater esse valor para haver consistência no balanço final.

#### 2.1.7 Exportação

Refere-se a toda mercadoria enviada para fora do território estudado, obtendo-se vantagens econômicas ou não. Seus fluxos podem ser classificados em bens primários, semimanufaturados, manufaturados e produtos químicos, exemplificados por minério de ferro, ferro gusa, aço laminado e gasolina, respectivamente.



### 2.1.8 Fluxo Indireto Associado à Exportação

Conhecido como fluxo oculto ou mochila ecológica (*ecological rucksacks*), refere-se à parte da matéria sem valor comercial, gerada para produzir a mercadoria exportada e que permaneceu no país produtor. No caso do suco de laranja exportado, será todo material orgânico – folhagem, bagaço etc. –, que forma os resíduos nas etapas de colheita e produção do suco.

### 2.1.9 Memorandum

São fluxos não contabilizados para a geração de indicadores, porém importantes para completar o balanço de massa do sistema. Dividem-se em consumo de ar, geração de vapor d'água, água e dióxido de carbono.

#### 2.1.9.1 Consumo de ar

Estima-se a demanda por oxigênio e nitrogênio nos seguintes processos:

- Oxigênio para a queima de combustíveis e seus contaminantes (carbono, hidrogênio, enxofre, nitrogênio etc.);
- Oxigênio para a respiração humana e de animais de criação;
- Nitrogênio para a formação do NO<sub>x</sub> em processos de combustão;
- Ar sintético, oxigênio e nitrogênio usado em processos industriais.

Indicadores derivados da AFM não costumam contemplar esse tipo de fluxo (ar). O material erodido do solo que deveria fazer parte dos fluxos indiretos associados à extração doméstica e Fluxo Indireto Associado à Importação também não entram na contabilização dos indicadores, pois ainda é necessário mais pesquisa para que se diminuam as incertezas em sua estimativa.

#### 2.1.9.2 Geração de vapor d'água, água e dióxido de carbono

O vapor d'água é proveniente dos processos de combustão, do processo de respiração humana e de animais criados para abate, assim como da própria água contida nos combustíveis. A água é a que está contida nos produtos de biomassa, caso os fluxos não sejam expressos em base seca; e o dióxido de carbono é o produzido pela respiração humana e pelos animais para abate. A literatura oferece coeficientes de geração que podem ser utilizados para essa contabilização.

#### 2.1.10 Reciclagem interna

Os fluxos de reciclagem interna não fazem parte do balanço material pelo fato de que não atravessam os limites físicos do sistema econômico, exceto os materiais recicláveis importados ou exportados. Nesse caso, os índices de reciclagem podem ser usados para uma melhor estimativa dos fluxos ocultos da importação de metais refinados que usam como matéria-prima metais reciclados. Os indicadores de reciclagem de determinados setores podem ser úteis também para propor ações governamentais futuras e por essa razão devem ser registrados à parte.

#### 2.1.11 Acumulação de material na sociedade (estoque)

Em princípio, a diferença da quantidade contabilizada dos fluxos de entrada e dos de saída mostraria a quantidade de matéria adicionada ao estoque na sociedade, especialmente no caso de infraestruturas e edificações. Qualquer inconsistência nos dados (geração de resíduos, teor de água na biomassa, concentração dos metais no minério explorado, entre outros) seria absorvida por esse fluxo. Por esse motivo, outras formas de se estimar o estoque material na sociedade foram pesquisadas por Muukkonen (2000) e CEC (2001) considerando os fluxos mássicos utilizados por determinados setores da economia, tais como infraestrutura dos transportes, comunicação, edificações, equipamentos, entre outros.

O *World Resource Institute* (MATTHEWS, 2000) desenvolveu um método considerando a velocidade com que o material permanece na economia. Foram utilizadas quatro categorias, expressas em tempo de residência (anos):

- Fluxos com até dois anos de residência (alimentos, fertilizantes, combustíveis, material de embalagem etc.);
- Fluxos com residência de três a 30 anos (bens duráveis, automóveis etc.);
- Fluxos com mais de 30 anos de residência (infraestrutura de transportes, comunicação, edificações etc.);
- Resíduos da construção e demolição oriundos de infraestruturas já existentes.

Entretanto, a estimativa desses fluxos mássicos raramente tem sido feita (CEC, 2001) por conta das imprecisões que cercam esses dados. Para minimizar essas imprecisões, analisam-se séries históricas de acumulação do estoque na sociedade e a partir daí se elabora uma estimativa que expressaria a tendência para os fluxos de resíduos, principalmente os da construção e demolição, para as próximas décadas, assumindo-se que o tempo de residência, destinação atual, indicadores de reciclagem e perfil consumidor permanecerão constantes.

## 2.2 INDICADORES GERADOS PELA ECONOMY WIDE MFA

Neste trabalho, utilizou-se a nomenclatura inglesa dos indicadores, devidamente traduzida para a língua portuguesa, e se adotou o método de contabilização apresentado por Adriaanse (1997) e Matthews (2000). Optou-se por esse método para que os indicadores aqui apresentados pudessem ser comparados aos indicadores gerados pelas economias de outros países. Mais detalhes podem ser obtidos na lista de indicadores derivados da AFM gerados nesta tese e seus equivalentes na língua inglesa (p. 15).

Nem sempre os indicadores são de fácil compreensão, principalmente quando se propõe atingir uma faixa tão larga de usuários como no caso da AFM. Para atenuar esse fato, alguns critérios foram considerados pelo conselho da União Europeia, tais como:

- Sua representação física na economia;
- Fácil compilação;
- Disponibilidade de dados;
- Compatibilidade com as estatísticas já praticadas;
- Potencial para formulação de políticas públicas;
- Complementaridade do indicador dentro do contexto nacional.

Os indicadores são divididos em termos absolutos, normalmente expressos em t/ano, e relativos, expressos em t/hab.ano ou PIB/t. A escolha do indicador mais relevante para a análise vai depender do objetivo do estudo. Para a contabilidade nacional, os indicadores foram classificados em cinco tipos: os de entrada, saída, consumo, balanço e os de eficiência (MOLL, 2003). Alguns deles serão comentados abaixo.

### 2.2.1 Indicadores de Entrada

Existem dois indicadores de entrada: a Entrada de Material Direto – EMD e a Demanda de Material Total – DMT. A EMD representa o material usado na economia doméstica com valoração econômica nos processos de produção e serviços. É composto pelo fluxo de Extração Doméstica – ED mais Importações – IMP. Já o fluxo Demanda de Material Total – DMT é composto pela Entrada de Material Direto – EMD mais o Fluxo Indireto associado à Extração Doméstica –  $FI_{ED}$  e os Fluxos Ocultos associados às Importações –  $FO_{imp}$ . O DMT representa todo material primário (valorado economicamente ou não) que é consumido ou movimentado da natureza. Os fluxos indiretos associados à extração doméstica não processados, e, portanto, sem utilidade comercial, impactam o meio ambiente nas imediações de onde são extraídos, na forma de mudança da paisagem natural, assoreando os corpos hídricos, provocando perda da camada vegetal do solo, entre outras consequências. O fluxo oculto das importações tem seu impacto no país de origem e

deve ser considerado numa análise mais abrangente, para evitar a transferência dos danos ambientais dos países industrializados para os países exportadores.

$$\text{EMD} = \text{ED} + \text{IMP}$$

$$\text{DMT} = \text{EMD} + \text{FI}_{\text{ED}} + \text{FO}_{\text{im}}$$

### 2.2.2 Indicadores de Saída

Há dois indicadores de saída: a Saída Doméstica Processada – SDP e a Saída de Material Total – SMT. A SDP representa o material liberado para o ambiente durante o processo de fabricação ou após o seu consumo. Compõe-se de todas as emissões, quer sejam na forma gasosa, líquida ou sólida, quer ocorram de forma intencional ou involuntária. Para o balanço ser coerente, deve-se considerar a entrada de oxigênio para os processos de combustão, uma vez que as substâncias queimadas estão na forma oxidadas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ). A SMT, o outro indicador de saída, é composta pela Saída Doméstica Processada – SDP mais as Exportações – EXP.

$$\text{SDP} = \text{Somatório das Emissões}$$

$$\text{SMT} = \text{SDP} + \text{EXP}$$

### 2.2.3 Indicadores de Consumo

São dois os indicadores de consumo: o Consumo de Material Doméstico – CMD e o Consumo de Material Total – CMT. O CMD é definido como a entrada de material direto – EMD na economia interna. Deve-se observar que o seu cálculo não considera o fluxo indireto associado à extração doméstica. O outro indicador, o CMT, é formado pela demanda de material total – DMT menos as Exportações – EXP e seus Fluxos Indiretos ( $\text{FI}_{\text{Exp}}$ ).

$$\text{CMD} = \text{EMD} - \text{EXP}$$

$$\text{CMT} = \text{DMT} - \text{EXP} - \text{FI}_{\text{Exp}}$$

#### 2.2.4 Indicadores de Balanço

Há dois indicadores de balanço: a Acumulação de Material na Sociedade – AMS a Balança Comercial – BC. A AMS é a quantidade mássica que é incorporada à infraestrutura física de transporte, energia, edificações ou como bens duráveis de consumo (veículos, máquinas industriais, equipamentos domésticos etc.). Seu cálculo é feito a partir do processamento da matéria e seu valor corresponde à diferença entre o que entra e o que sai do sistema econômico em estudo. Dos indicadores, este é o mais susceptível a erros, pois absolve possíveis erros de contabilização, principalmente dos fluxos residuais de saída. O outro indicador, a Balança Comercial – BC é definida como a diferença entre tudo que se importa e exporta em um determinado período de tempo, normalmente um ano.

$$\text{AMS} = \text{EMD} - \text{SDP} - \text{EXP}$$

$$\text{BC} = \text{IMP} - \text{EXP}$$

#### 2.2.5 Indicadores de Eficiência

São dois os indicadores de eficiência: a Produtividade no Uso de Material – PRODUT e a Eficiência no Uso dos Recursos Naturais – EFICI. A PRODUT representa o quanto de riqueza (\$) uma nação pode gerar por unidade mássica (t) de recurso natural consumido e a EFICI indica o quanto de material está sendo aproveitado pelo processo fabril.

$$\text{PRODUT} = \text{PIB} / \text{DMT}$$

$$\text{EFICI} = \text{EMD} / \text{DMT}$$

De uma maneira resumida, os indicadores podem ser apresentados conforme as Figuras 2-3 e 2-4.

Classificação	INDICADORES		FÓRMULA
Entrada	EMD	Entrada de Material Direto	$EMD = ED + IMP$
	DMT	Demanda de Material Total	$DMT = EMD + IF_{ED} + FO_{imp}$
Saída	SDP	Saída Doméstica Processada	SDP = Soma Emissões
	SMT	Saída de Material Total	$SMT = SDP + EXP$
Consumo	CMD	Consumo de Material Doméstico	$CMD = EMD - EXP$
	CMT	Consumo de Material Total	$CMT = DMT - EXP - FI_{Exp}$
Balanço	AMS	Acúmulo de Material na Sociedade	$MAS = EMD - SDP - EXP$
	BC	Balanço Comercial	$BC = IMP - EXP$
Eficiência	PRODUT	Produtividade	$PRODUT = PIB / DMT$
	EFICI	Eficiência	$EFICI = EMD / DMT$

Figura 2-3 Fórmula dos indicadores gerados pela *Economy-Wide MFA*  
 Fonte: Adaptado de Moll, 2003.

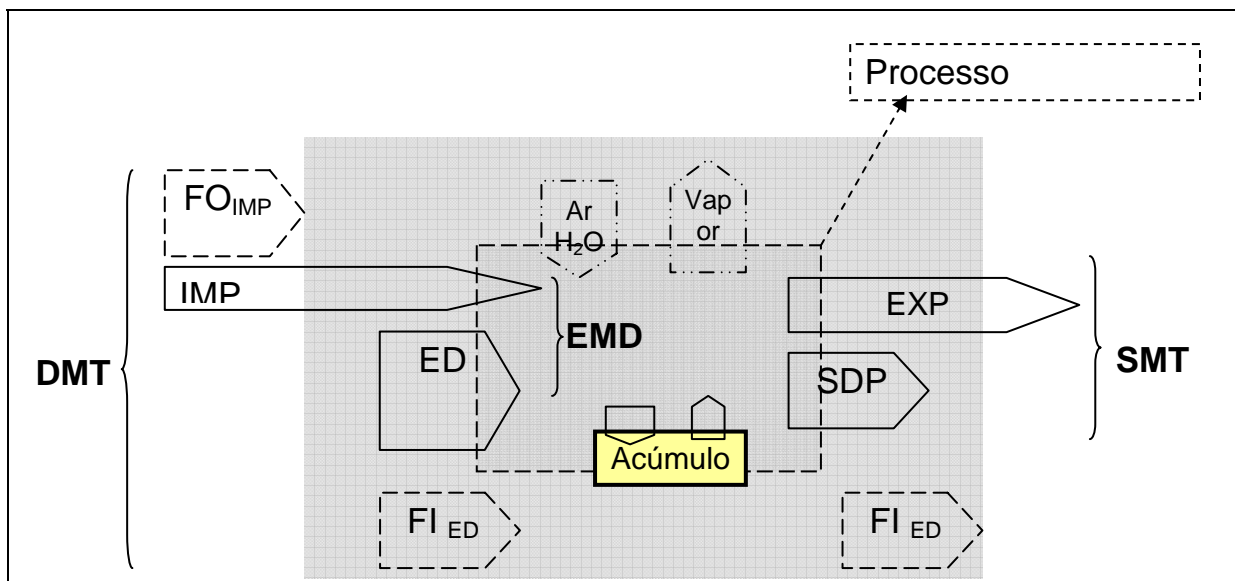


Figura 2-4 Principais indicadores derivados da AFM, na forma gráfica  
 Fonte: CEC, 2001.

Alguns indicadores relativos são usados para mostrar um consumo/emissão por habitante ou por riqueza gerada, com o intuito de desvincular a degradação ambiental do desempenho da economia. Um breve comentário sobre esse tema será realizado a seguir.

### 2.3 DESMATERIALIZAÇÃO DA ECONOMIA

Desde que as preocupações com a preservação ambiental passaram a fazer parte de agendas políticas, a economia tem sido atrelada a danos ao meio ambiente, sendo 'responsabilizada' por ações predadoras. Para nomear os esforços feitos no sentido de reduzir a exploração material e assim conseguir manter o consumo dos recursos naturais em níveis toleráveis, criou-se o termo "desmaterialização da economia" (BARTELMUS, 2002), ou seja, com o intuito de se desvincular a economia do meio ambiente. A estratégia da desmaterialização é diminuir o fluxo de matéria-prima no processo produtivo e sua acumulação na sociedade assim como o descarte de resíduos e substâncias tóxicas no meio ambiente. Essas ações levariam ao aumento da produtividade no uso dos recursos, à denominada ecoeficiência, que, no meio econômico, é medida por meio da taxa de riqueza gerada Produto Interno Bruto – PIB e pelo uso de recursos naturais Demanda de Material Total – DMT<sup>17</sup>.

A busca pelo entendimento do que sejam "níveis toleráveis" para a economia mundial passa pela discussão dos princípios que devem reger uma economia materialmente sustentável, os quais do ponto de vista de sistemas ecológicos seriam:

- Exploração de recursos naturais compatíveis com a sua capacidade natural de regeneração: a extração de recursos da natureza e a liberação de emissões poluentes ao ambiente não deve exceder sua capacidade espacial-temporal (DALE, 1990), levando-se em conta o intercâmbio comercial de produtos entre países e regiões, movimentação de massa propiciada tanto por fluxos hídricos em bacias hidrográficas quanto por emissões gasosas pela atmosfera;
- Limitação do crescimento físico da economia: o crescimento físico da tecnosfera<sup>18</sup> deve ser limitado por um equilíbrio mássico entre os fluxos de extração de matéria-prima e o fluxo de descarte de resíduos, de modo que se garanta a convivência do homem e a natureza em longo prazo. A expansão da tecnosfera, que se dá através de novas edificações e infraestruturas, não pode acontecer de forma infinita, pois o estoque físico da economia deve ser compatível com a natureza que a sustentará;

---

<sup>17</sup> Esse indicador é derivado da Análise de Fluxo de Massa e reconhecido em inglês como TMR (*Total Material Requirement*). Será detalhado nos capítulos 3 e 4.

<sup>18</sup> Sinônimo de antroposfera; refere-se à parte da litosfera e atmosfera onde o homem vive e sofre os impactos decorrentes de sua própria existência.

- Equidade intrageracional: uma região não deve pautar seu desenvolvimento à custa de outra. O impacto ambiental pelo uso dos recursos assim como o descarte de resíduos e emissões devem ser analisados e distribuídos de forma per capita, para que a riqueza dos países desenvolvidos não seja usada como direito para eles poluírem mais do que os em desenvolvimento;
- Equidade intergeracional: o bem-estar das futuras gerações não deve ser comprometido pelo uso atual dos recursos naturais e de energia, pelo descarte de material residual e o crescimento físico da tecnosfera.

Esse desacoplamento<sup>19</sup> tem sido analisado por meio de uma taxa de crescimento de uma variável econômica em relação ao consumo de recursos naturais, causadora de uma pressão ambiental. Em nível nacional, os indicadores mais acompanhados são a taxa de crescimento do produto interno bruto – PIB (\$) e o crescimento do consumo de recursos naturais (t). O indicador pode ser relativo, quando a taxa de crescimento econômico for maior do que a taxa da sua demanda por recursos naturais; ou absoluto, quando a taxa do crescimento econômico, mesmo positiva, acontecer com a diminuição da demanda mássica dos recursos naturais que alimentam essa economia, em um determinado período de tempo. Indicadores como esses têm sido aplicados a setores específicos como o da energia, transporte, agricultura e produção (OECD, 2002).

## 2.4 CONCLUSÕES PRELIMINARES

Segundo Moll (2003), as vantagens no uso dos indicadores gerados pela AFM são:

- Fornecer uma visão geral da apropriação dos recursos naturais pela economia e, junto a uma análise retrospectiva, mostrar a tendência observada no consumo de matéria e no acúmulo na estrutura física da sociedade;
- Identificar quais atividades econômicas presentes na economia de um país estão exercendo uma maior pressão nos recursos naturais, quer seja pela sua exploração, quer seja pelo destino dado aos seus resíduos;
- Prever, através dos indicadores baseados nas entradas, a ordem de grandeza dos fluxos de saída e seus impactos como resíduos;
- Permitir a distinção entre fluxos de material renovável e não renovável;
- Quantificar o crescimento do acúmulo de materiais numa sociedade e prever o volume futuro de resíduos gerados por ela;
- Identificar os fluxos materiais de extração doméstica e de importados associados às atividades econômicas para prever não só consequências ambientais não

---

<sup>19</sup> Do inglês *decoupling*.



existentes hoje como também o aumento da dependência de recursos naturais do exterior.

Como desvantagem dos indicadores gerados pela AFM, pode-se afirmar que:

- Não apresentam os impactos ambientais causadas pelos fluxos de entradas e saídas;
- Os indicadores de fluxos de saída são mais imprecisos devido à inexistência de dados estatísticos de correntes residuárias e à dificuldade de suas estimativas;
- A contabilização de fluxos primários e secundários deve ser precisa sob o risco de dupla contagem principalmente para os metais, cujas correntes secundárias podem ser utilizadas para a obtenção de outros produtos;
- Os dados dos fluxos indiretos da extração doméstica e dos fluxos ocultos das importações são poucos precisos, o que pode levar a conclusões equivocadas;
- A expansão da tecnosfera requer considerações sobre o uso do solo, de modo que o gerenciamento dos recursos de forma integrada deverá considerar não só o fluxo material como também o energético e a função da terra.

### 3 APLICAÇÃO DA AFM NO BRASIL (INVENTÁRIO NACIONAL – ANO BASE 2005)

Aplicando-se o modelo *Economy Wide MFA*, desenvolvido pela CEC (2001 e 2007), as fronteiras do sistema em estudo foram definidas como sendo as mesmas do território brasileiro; além disso, os dados estatísticos utilizados foram os disponíveis nos órgãos oficiais. Nos momentos em que houve a necessidade de se estimar fluxos intermediários, foram utilizados fontes e indicadores de trabalhos acadêmicos para se obter resultados mais coerentes com a realidade local. Nos demais casos foram utilizados indicadores sugeridos pela CEC (2001, 2007) ou outros coeficientes divulgados por trabalhos semelhantes, devidamente referenciados.

O mapeamento foi feito com base numa divisão entre os grandes fluxos de entrada e os de saída. Nas entradas, foram contabilizadas as extrações domésticas e as importações. Nas saídas, os descartes ao meio ambiente e as exportações.

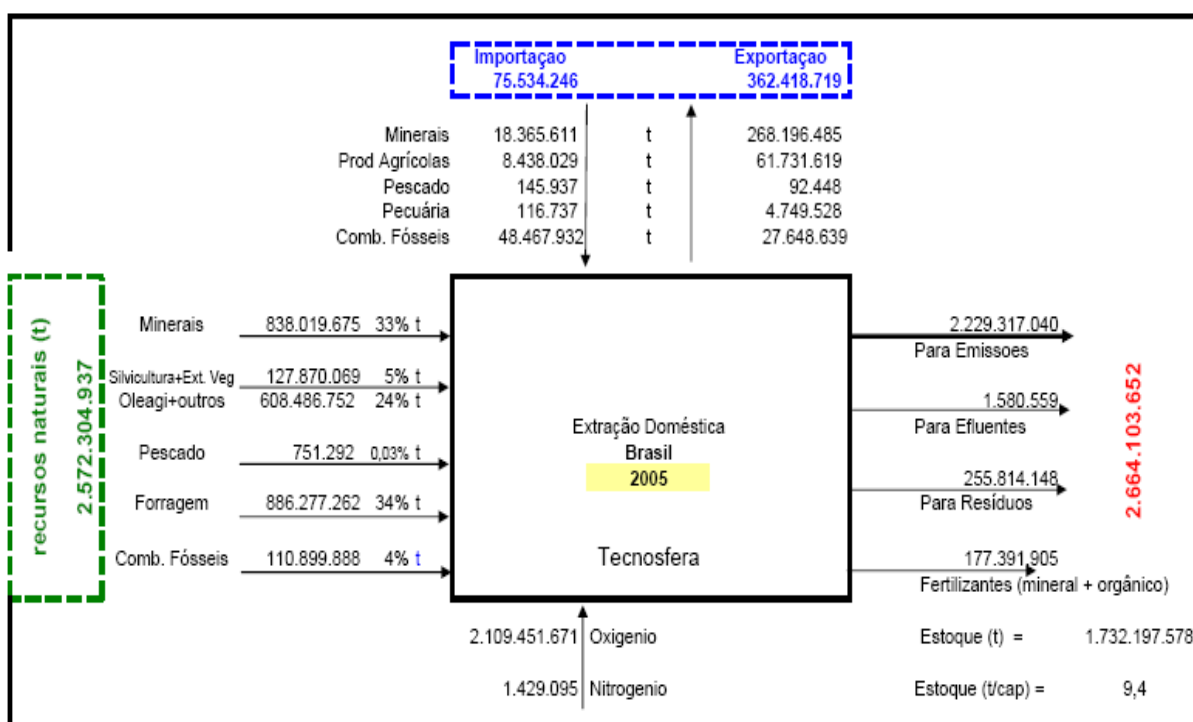


Figura 3-1 Fluxo geral da demanda dos recursos naturais. Base 2005  
Fonte: Dados do autor.

Do total de recursos naturais (em torno de 2,5 bilhões de t, base 2005) demandados pela economia brasileira (Figura 3-1), a biomassa (produtos agrícolas, pescado e forragem) representa 63%, seguida pelos minerais, com 33%, e pelos combustíveis fósseis, com 4%. A balança comercial (física) está amplamente favorável ao Brasil, sendo o volume de exportação cinco vezes superior ao de importação. Estimativas iniciais apontam para a

grande quantidade de material estocada na sociedade na forma de estruturas físicas e edificações (1,7 bilhões de t), equivalente a 9,3 t/hab.

### 3.1 A EXTRAÇÃO DOMÉSTICA

Extração Doméstica é toda matéria-prima extraída no território nacional e contabilizada pela economia. Esta foi dividida em três grandes famílias de fluxos mássicos: os minerais, subdivididos em não metálicos, metálicos e energéticos, conhecidos também como abióticos; as biomassas, subdivididas em forragem, sementes oleaginosas, silvicultura e pesca; e os combustíveis fósseis, subdivididos em petróleo, gás natural e seu líquido e carvão mineral (Figura 3.2).

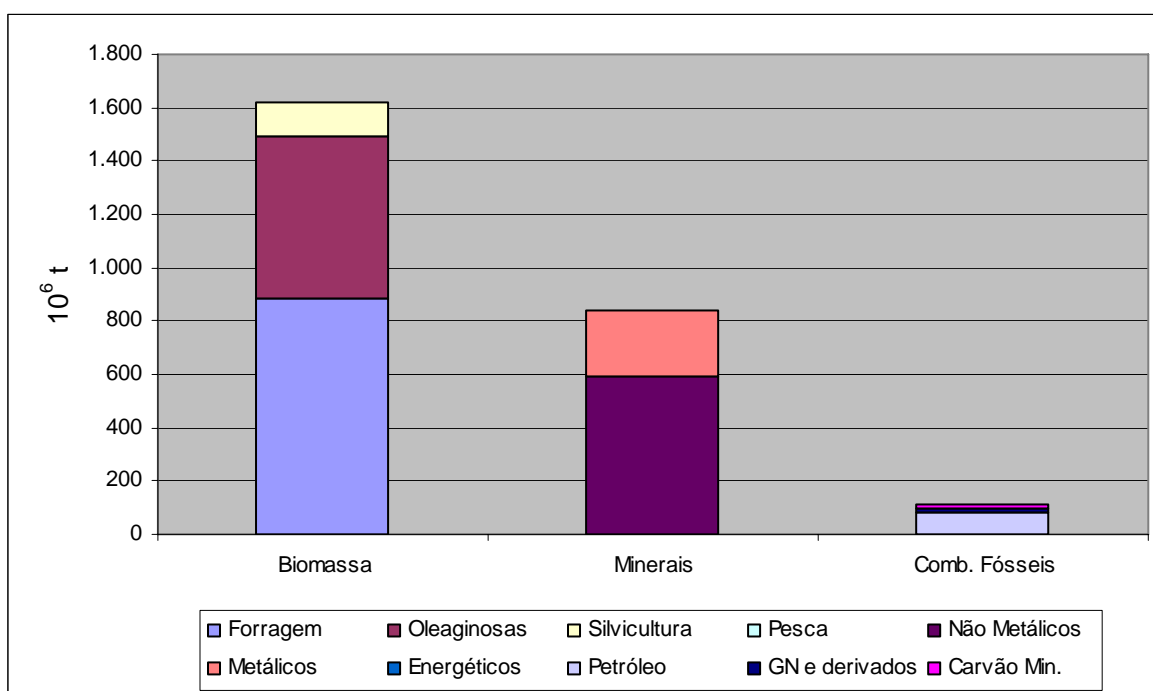


Figura 3-2 Participação dos minerais, biomassa e combustíveis fósseis no fluxo da ED  
Fonte: Dados do autor.

O setor mineral destaca-se por ter obtido um índice de crescimento econômico<sup>20</sup> de 10,9% em 2005 (MME, 2006b), muito à frente dos demais setores da economia, o que permitiu um crescimento do PIB brasileiro<sup>21</sup> de 2,3 % em relação ao ano anterior.

<sup>20</sup> Em termos mássicos o crescimento foi de 44%, o que será comentado em capítulo posterior.

<sup>21</sup> O índice de crescimento do PIB segue a referência do MME (2006b) de 2,3%, apesar da alteração sofrida em 2007 por mudança do método de quantificação realizada pelo IBGE, quando esse número foi retificado para 3,2% (BACEN, 2006). Nesse novo método de cálculo, as atividades e produtos monitorados passam de 43 e de 80 para 56 e 110, respectivamente, e o valor do PIB de R\$ 1,937 trilhões para 2,148 trilhões, um aumento de 10,9%.

A grande diversidade de ambientes geológicos do Brasil e a sua imensa extensão territorial faz com que o país seja considerado uma das maiores potências minerais do mundo, junto aos Estados Unidos, Canadá, Austrália, China, Rússia e África do Sul. Suas reservas mais significativas (Figura 3.3) quando comparadas ao resto do mundo são: nióbio (96,9%), tantalita (46,3%), grafita (26,8%), magnesita (8,9%), alumínio (8,3%), ferro (7,2%), estanho (6,7%), níquel (6,1%) e vermiculita (5,7%) (MME, 2006b). O país se destaca como o maior exportador de minério de ferro e ligas de nióbio e está entre os grandes produtores de caulim, tantalita, bauxita, grafita, amianto, cassiterita, magnesita, vermiculita, entre outros.

Substância	Reservas		Produção	
	%	Ranking	%	Ranking
Nióbio	96,9	1º	91,4	1º
Tântalo	46,3	2º	20,1	2º
Grafita	26,8	2º	10,1	3º
Alumínio	8,3	3º	13,4	2º
Vermiculita	5,7	3º	6,8	4º
Magnesita	8,9	4º	9,3	3º
Estanho	6,7	4º	4,1	5º
Ferro	7,2	5º	20,8	2º
Manganês	2,5	5º	11,8	2º
Níquel	6,1	7º	5,0	6º

Figura 3-3 Posição brasileira no *ranking* de reservas e na produção mundial  
Fonte: MME, 2006b.

No fluxo da biomassa, a estimativa da forragem, que serve de alimento para os rebanhos nacionais representou a metade de toda a biomassa produzida. O setor agropecuário, diferente dos anos anteriores, obteve um baixo índice (0,8%) de participação no PIB nacional (MME, 2006b), o menor desde 1997, em razão da quebra da safra e da febre aftosa (LAGE, 2006).

Os combustíveis fósseis tiveram seu desempenho fortemente ligado à produção de petróleo, que representou 74% em massa do total desse fluxo, com um crescimento de 10% em relação a 2004.

As considerações de cada subfluxos serão discutidas nos itens a seguir.

### 3.1.1 As Biomassas

As biomassas representam 64% do total. Essa família de fluxo foi dividida em quatro grandes grupos: as forragens para alimentação animal, as sementes oleaginosas e cereais,

a silvicultura e extração vegetal e finalmente os pescados, conforme a distribuição vista na Tabela 3-1.

Tabela 3-1 Produção de Biomassa

	Quant. (t)	%
Forragens <sup>22</sup>	886.277.262	55%
Oleaginosas e cereais	608.486.783	37%
Silvicultura e ext. vegetal	127.870.069	8%
Pescados	751.292	0,1%
Total	1.623.385.375	100%

Fonte: IBGE, 2006; MAPA, 2005; MMA, 2007; dados do autor.

Foram encontradas três bases de dados que contabilizam a produção de itens agrícolas: a do IBGE, a do Ministério da Agricultura e a da *Food and Agriculture Organization* – FAO<sup>23</sup>. Optou-se por utilizar os dados do IBGE (2006) por estes serem mais completos – contemplam os produtos da silvicultura, sementes oleaginosas e cereais. Os dados da base do Ministério da Agricultura, publicados em “Agricultura brasileira em números – Anuário 2005” (MAPA, 2005), foram usados de forma complementar para os produtos que não fazem parte da base do IBGE. A FAO possui dados médios trienais, que podem corresponder à média dos três anos considerados ou estarem expressos em um único valor representativo do período. Devido à sua imprecisão e pelo fato de os números publicados não virem acompanhados de uma análise, o uso dessa base foi descartado.

#### 3.1.1.1 Forragem para alimentação animal

Devido à inexistência de informações a respeito da produção de forragem para alimentação animal no Brasil, foram realizadas duas estimativas. A primeira usando-se a quantidade do rebanho e a demanda para alimentá-los; a segunda considerando-se a área usada para pecuária e a produção média de forragem.

##### a) Demanda para alimentar o rebanho nacional

Foi contabilizado o rebanho bovino, caprino, ovino, equino, asinino (asnos), muar (mulas) e de bubalinos (búfalos). Foram encontradas diferenças significativas de números na estatística do rebanho bovino. Houve uma variação de 170 a 196 milhões de cabeças (IBGE, 2009; MAPA, 2005), a depender da fonte consultada. O consumo em t/unidade.ano varia de acordo com a fase (crescimento, engorda,

<sup>22</sup> Estimativa feita pelo autor no item 3.1.1.1.

<sup>23</sup> A base da FAO pode ser acessada em <<http://www.fao.org>>.

adulto) e raça. Foram utilizados valores máximos e mínimos sugeridos pela CEC (2007).

O rebanho suíno foi excluído da contabilidade por se alimentar de fonte secundária e não de recurso natural (primário). A Tabela 3-2 apresenta a quantidade pesquisada, o consumo considerado e as fontes das informações.

Tabela 3-2 Produção de forragem baseada na demanda para alimentação animal

Espécie	t/unid.ano (a)	Quant. rebanho (b)	Consumo anual (t)	Fonte de (b)
Bovino	(mín.) 3,6	169.900.049	611.640.176	IBGE, 2009
	(máx.) 5,5	195.713.583	1.076.424.708	MAPA, 2005
Equino	(mín.) 2,9	5.602.000	16.245.800	IBGE, 2007
	(máx.) 4,4	5.800.000	25.520.000	Vegas, 2006
Ovino	(mín.) 0,35	13.856.747	4.849.861	IBGE, 2009
	(máx.) 0,70	13.856.747	9.699.723	
Bubalino	(mín.) 3,6	839.960	3.023.856	IBGE, 2009
	(máx.) 5,5	1.156.870	6.362.785	IBGE, 2007
Caprino	(mín.) 0,35	7.109.052	2.488.168	IBGE, 2009
	(máx.) 0,70	7.109.052	4.976.336	
Muar	(mín.) 1,8	1.386.015	2.494.827	IBGE, 2007
	(máx.) 2,6	1.386.015	3.603.639	
Asinino	(mín.) 1,8	1.187.419	2.137.354	IBGE, 2007
	(máx.) 2,6	1.187.419	3.087.289	
	Somatória dos máximos =		1.129.674.481	
	Somatória dos mínimos =		642.880.043	
	Média das somatórias =		886.277.262	

Fontes: (a) CEC, 2007; diversos.

#### b) Produtividade média da área destinada à pecuária

A Comissão Europeia (2007) sugere o coeficiente de produtividade entre 1 a 5 t/ha.ano para pastos extensivos e de 5 a 10 para pastos melhorados, sempre considerando 15% de teor de umidade. Segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 2009), em 2005, o Brasil possuía uma área destinada à agropecuária de 172.333.073 ha. Estudos realizados por Santos (2006) e Adami (2006) apresentaram diversos índices, variando de 2,4 a 7,9 t/ha.ano (em base seca) a depender do tipo de forrageira, níveis de sombreamento e o período do ano. O tipo de solo e clima também são fatores que influenciam a produtividade, índices entre 4 a 8 t/ha.ano foram pesquisados para espécies adaptadas à região nordeste e ao estado de Minas Gerais, entre elas os capins Gramão, Búfel Aridus, Elefante, Tanzânia, Cunha, Guandu e a leguminosa Leucenas (CRIAÇÃO, 2001). Essa grande faixa de produtividade na plantação e a dimensão territorial do Brasil tornam essa estimativa imprecisa. Estimativa de cálculo da produção de forragem feita recentemente por

Sendra (2008) utilizou o coeficiente de 6 t/ha.ano para calcular a produção de forragens na Catalúnia. Se utilizarmos esse valor de 6 t/ha.ano, se obtém o potencial de produção de 1.033.998.438 de t de forragem. Número este próximo ao considerado pela estimativa da demanda para alimentar o rebanho bovino.

Analisando os dois métodos, o que considera a demanda média para alimentar o rebanho nacional (886.277.262 t) e o que considera a produtividade média da área destinada à pecuária (1.033.998.438 t), optou-se pelo primeiro (média das somas máximas e mínimas).

### 3.1.1.2 Sementes oleaginosas, cereais e outros

Nessa classificação encontram-se 33 itens (Tabela 3-3). Muitos deles são *commodities*<sup>24</sup> agrícolas, caracterizadas pela monocultura, grande produção e extensas área utilizadas. A fonte dos dados é o IBGE (2006), coordenação de estatísticas agropecuária<sup>25</sup>. O ministério da agricultura apresenta em seu anuário 2005 (MAPA, 2005) uma base de dados de 1990 a 2005, cujo total contabilizado para o ano em estudo é 3,4%, menor do que o do IBGE (587.554.783 t), mas essa base foi preterida por não dar continuidade à série estatística após o ano de 2005, enquanto que a do IBGE continua sendo publicada. No entanto, alguns produtos da base do MA (não contemplados na base de dados do IBGE) foram considerados, tais como: algodão arbóreo, banana, castanha de caju, coco, guaraná, maçã, pimenta-do-reino, sisal, uva, abacaxi, alho, fumo, juta, malva e tomate, num total de 20.932.000 t.

Tabela 3-3 Produtos oleaginosos, cereais e outros

Produto	(t)
Algodão herbáceo (em caroço)	3.663.453
Amendoim (em casca)	286.515
Arroz (em casca)	13.225.663
Aveia (em grão)	510.033
Batata-inglesa	3.128.488
Cacau (em amêndoa)	235.825
Café (em grão)	2.143.852
Cana-de-açúcar	422.926.362
Cebola	1.061.004
Cevada (em grão)	323.143
Feijão (em grão)	3.012.158
Laranja	17.864.135
Mamona (baga)	161.468

continua

<sup>24</sup> *Commodities* são mercadorias produzidas em larga escala e comercializadas mundialmente que têm seus preços estabelecidos pelo comércio internacional, em bolsas de valores.

<sup>25</sup> Registra-se que 51,3% da produção de cana-de-açúcar (equivalente a 216.931.498 t) são destinados à produção do álcool automotivo (MME, 2006a).

Produto	(t)
Mandioca	26.328.536
Milho (em grão)	35.115.911
Soja (em grão)	51.138.045
Sorgo (em grão)	1.495.078
Trigo (em grão)	4.658.457
Triticale	276.657
Outros produtos	20.932.000
Total	608.486.783

Fonte: IBGE, 2006; MAPA, 2005.

A cana-de-açúcar, soja, milho, mandioca e laranja são os principais itens produzidos e respondem por 91% do total (Figura 3-4).

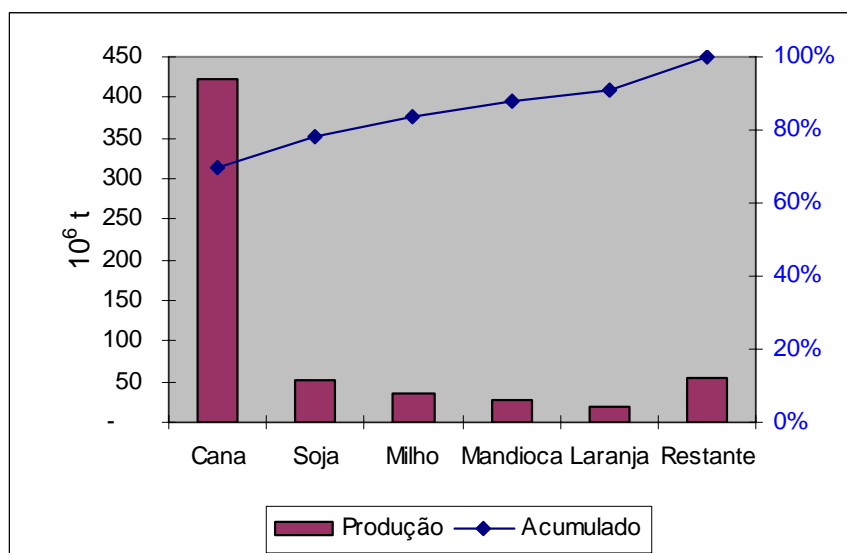


Figura 3-4 Principais itens de sementes oleaginosas e cereais produzidos  
Fonte: IBGE, 2006; MAPA, 2005.

### 3.1.1.3 Silvicultura e Extração Vegetal<sup>26</sup>

Os números sobre os produtos de silvicultura e extração vegetal (39 itens) tiveram como fonte o banco de dados do IBGE (IBGE, 2006). Salvo a “madeira em toras”, caracteristicamente são itens cuja produção é pequena e praticamente artesanal (Tabela 3.4). Alguns deles (madeiras em toras e lenha) estavam em volume (m<sup>3</sup>) e foram transformados em massa, utilizando-se o coeficiente de 0,5 t/m<sup>3</sup> (SILVA, 2005).

Madeira em toras, tanto para a indústria de celulose como para outros fins, seguidos de lenha e carvão vegetal representam 84% dos produtos classificados como silvícolas.

<sup>26</sup> A produção da silvicultura é a proveniente do cultivo de florestas – plantio, tratos silviculturais e colheita de espécies exóticas, como o eucalipto, o pínus americano, a acácia-negra e a teca, entre outras. No extrativismo vegetal, os produtos são simplesmente coletados em vegetações nativas espontâneas; podem ser produtos madeireiros (madeira em tora, lenha, carvão e nó-de-pinho) e não madeireiros (borrachas, fibras, gomas, frutos e amêndoas oleaginosas, folhas e raízes medicinais, aromáticas, corantes e alimentícias, entre outros).



Tabela 3-4 Produção da silvicultura e extração vegetal

Produto	(t)
Borrachas	
Hévea (látex coagulado)	4.557
Hévea (látex líquido)	58
Gomas não-elásticas	
Maçaranduba e sorva	49
Ceras	
Carnaúba (cera)	3.209
Carnaúba (pó)	19 143
Fibras	
Buriti	483
Carnaúba	2.264
Piaçava	86.550
Outras fibras	51
Tanantes	
Angico (casca)	231
Barbatimão (casca)	6
Outros tanantes	6
Sementes Oleaginosas	
Babaçu (amêndoa)	119.031
Copaíba (óleo)	479
Cumaru (amêndoa)	110
Licuri (coquilho)	5.178
Oiticica (semente)	1.379
Pequi (amêndoa)	5.089
Tucum (amêndoa)	736
Outros oleaginosos	221
Alimentícios	
Açaí (fruto)	104.874
Castanha-de-caju	6.097
Castanha-do-pará	30.555
Erva-mate	238.869
Mangaba (fruto)	811
Palmito	7.863
Pinhão	4.609
Umbu (fruto)	9.070
Aromáticos e medicinais	
Jaborandi (folha)	222
Urucu (semente)	127
Outros aromáticos	1.489
Madeira em tora	59.061.590
Lenha	40.482.599
Carvão Vegetal	5.498.642
Nó-de-pinho	8.189
Diversos	
Cascas de acácia-negra	280.329
Folhas de eucalipto	889.138
Resina	64.197
Total (t)	124.709.227

Fonte: IBGE, 2006.

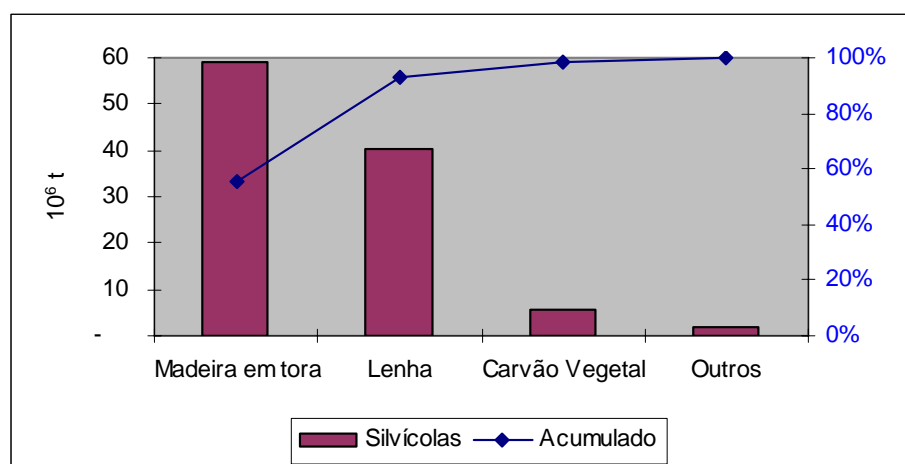


Figura 3-5 Principais itens silvícolas produzidos  
Fonte: IBGE, 2006.

#### 3.1.1.4 Pescado

A produção de pescado estimada no Brasil (Tabela 3-5) teve como fonte o banco de dados do MMA (2007). Somente a pesca extrativa – correspondendo a 751.354 t – foi considerada, uma vez que a aquicultura, que produziu 258.480 t de pescado em cativeiro em 2005, utiliza matéria-prima industrializada como alimento. Desse modo, segundo o método de contabilização, a pesca proveniente de aquicultura já foi considerada demandante de recursos naturais (primários) no momento de sua produção.

A pesca extrativa divide-se em marinha (507.859 t) e continental<sup>27</sup> (243.495 t) e tem os estados no Norte e Nordeste como os maiores produtores (60% do total).

Tabela 3-5 Pesca extrativa por regiões no Brasil

Regiões	Pesca Extrativa		Total	%
	Marinha	Continental		
Nordeste	158.132	69.288	227.420	30%
Norte	89.683	135.597	225.280	30%
Sul	156.269	3.415	159.684	21%
Sudeste	103.775	23.621	127.396	17%
Centro Oeste	0	11.575	11.575	2%
Total	507.859	243.495	751.354	100%

Fonte: MMA, 2007.

#### 3.1.2 Minerais

Os minerais representam 33% do total da extração doméstica. Foram subdivididos em metálicos (19 itens), não metálicos (26 itens) e energéticos (2 itens), conforme são

<sup>27</sup> Pesca extrativa continental é a que se realiza em água doce.

contabilizados pelo Anuário Mineral Brasileiro<sup>28</sup>, publicação do Departamento Nacional de Pesquisas Minerais – DNPM (MME, 2006c), órgão subordinado ao Ministério das Minas e Energias, e estão descritos na Tabela 3.6.

Alguns minerais são contabilizados por volume. Para a sua conversão (massa) foi utilizada a massa específica de 1,8 t/m<sup>3</sup> para rochas e cascalhos, e de 2,5 t/m<sup>3</sup> para areia, areias industriais e rochas ornamentais (CEC, 2007). Entre os metálicos, destacam-se o minério de ferro (30,9%), o titânio (3,0%), a bauxita (2,6%), o ouro (2,3%) e o estanho (2,0); e entre os não metálicos, a areia (29,8%), rochas e cascalhos (8,0%) e o calcário (6,6%). Esses oito itens são responsáveis por 85,5% do total de minerais que entram no sistema econômico como Extração Doméstica (Figura 3.6). O minério de ferro está concentrado em 60,9% (Fe), o titânio em 4,15 % (TiO<sub>2</sub>), a bauxita em 35,3% (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e o ouro e estanho em 1,21 e 508,3 g/t, respectivamente.

Tabela 3-6 - Lista de minerais metálicos (M), não metálicos (nM) e energéticos (Ener) como extração líquida contida (t/ano). Base 2005.

Metálicos	245.164.146
Alumínio (Bauxita)	11.010.007
Berílio	0
Chumbo	19.604
Cobre	182.615
Cromo	308.873
Estanho	12.221
Ferro	229.116.026
Lítio	816
Manganês	2.597.203
Monazita e Terras-Raras	958
Nióbio	87.745
Níquel	74.216
Ouro	34
Prata	36
Tântalo	22
Titânio	1.504.220
Tungstênio	118
Zinco	223.292
Zircônio	26.176

continua

<sup>28</sup> Para evitar dupla contabilização o item carvão mineral constante no Anuário Mineral Brasileiro foi transferido para a Tabela 3.7 - Combustíveis fósseis.

<b>Não Metálicos</b>	<b>592.755.412</b>
Amianto	273.605
Areia	363.429.318
Areias Industriais	7.392.822
Argilas	22.545.416
Bário	42.924
Calcário	80.379.623
Caulim	6.621.824
Cianita e outros refratários	12.000
Diatomita	7.549
Dolomito e Magnesita	6.568.447
Enxofre	71.144
Feldspato, Leucita e Nefelina-Sienito	291.978
Fluorita e Criolita	67.798
Fosfato	3.326.263
Geodos, Ágatas, Calcedônia	1.631
Gipsita	1.489.825
Grafita	95.083
Mica	15.060
Potássio	404.871
Quartzo (Cristal) e outros Piezelétricos	18
Rochas e Cascalho	97.581.746
Rochas Ornamentais	1.903.040
Rochas Ornamentais - Outras	524.013
Sal marinho	7.078.602
Talco e outras Cargas Minerais	2.536.398
Vermiculita e Perlita	110.432
<b>Energéticos</b>	<b>100.080</b>
Turfa	99.915
Urânio e outros radioativos	165
<b>Total (M+nM+Ener) =</b>	<b>838.019.675</b>

Fonte: MME, 2006c.

Os não metálicos acima referenciados são usados principalmente na construção civil na forma em que são extraídos da natureza, não sendo necessário nenhum processo para sua concentração.

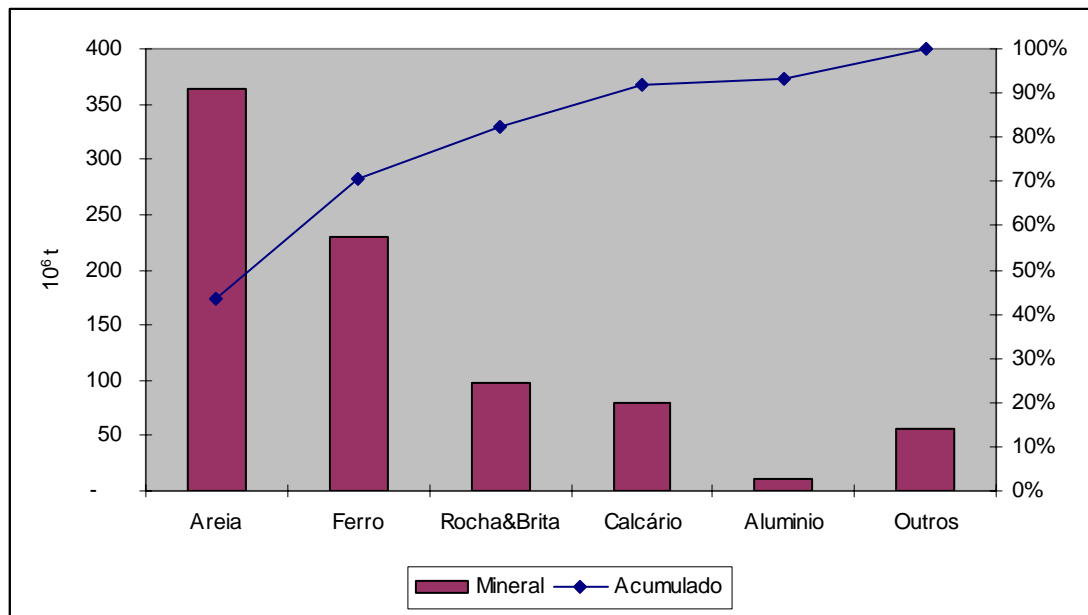


Figura 3-6 Principais itens minerais (contidos) produzidos Fonte: MME, 2006c.

### 3.1.3 Os Combustíveis Fósseis

Os Combustíveis Fósseis são compostos por combustíveis não renováveis formados num passado distante por matéria orgânica. Segue-se aqui a nomenclatura do Balanço Energético Nacional (MME, 2006a) e do Anuário Mineral Brasileiro (MME, 2006c), com o que pode ser visto na Tabela 3-7. O petróleo, que representa 74% em massa dos combustíveis fósseis, teve um aumento de 10% em relação ao ano anterior. Optou-se em manter os dados de produção “carvão mineral” (12.829.806 t) do Anuário Mineral Brasileiro (MME, 2006c), pois o valor constante no Balanço Energético Nacional (MME, 2006a) era inferior em torno de 50%.

Tabela 3-7 Combustíveis fósseis produzidos<sup>29</sup>

Produto	(t)
Petróleo	82.647.158
Gás Natural	11.327.489
Líquido de Gás Natural	4.095.435
Carvão Mineral	12.829.806
Total	110.899.888

Fonte: MME, 2006a; 2006c.

<sup>29</sup> Os dois itens “carvão metalúrgico” e “carvão vapor” do Balanço Energético Nacional foram substituídos por um item do Anuário Mineral Brasileiro, o “carvão metalúrgico”, por este ser a fonte primária da informação.

### 3.2 AS IMPORTAÇÕES

Este fluxo Importações foi dividido em Combustíveis Fósseis, Minerais, Produtos Agrícolas, Pescados e Pecuária. Os combustíveis fósseis continuam representando o maior fluxo mássico das importações (Tabela 3-8) e têm o petróleo como seu principal representante, apesar de sua importação ter sido reduzida em 24% em relação ao ano anterior. Em seguida, vêm os minerais e produtos agrícolas com 26 e 11%, respectivamente, e os pescados e produtos da pecuária, ambos com frações de 0,2%.

Tabela 3-8 Fluxos das importações

	Quant. (t)	%
Combustíveis fósseis	44.731.494	62
Minerais	18.745.571	26
Produtos Agrícolas	8.438.029	11
Pescados	146.000	0,2
Pecuária	116.737	0,2
Total	72.177.831	100

Fonte: MME, 2006a; MME, 2006c; MAPA, 2005; MMA, 2007.

#### 3.2.1 Combustíveis fósseis

Os dados sobre combustíveis fósseis importados foram obtidos no Balanço Energético Nacional e Anuário Mineral Brasileiro (MME, 2006a; 2006c). Foram contabilizadas 48.467.932 t, cujos principais produtos são o carvão mineral (17,4 milhões de t), petróleo (17,3 milhões de t) e gás natural (5,8 milhões de t), que respondem por 84% do total importado (Figura 3-7).

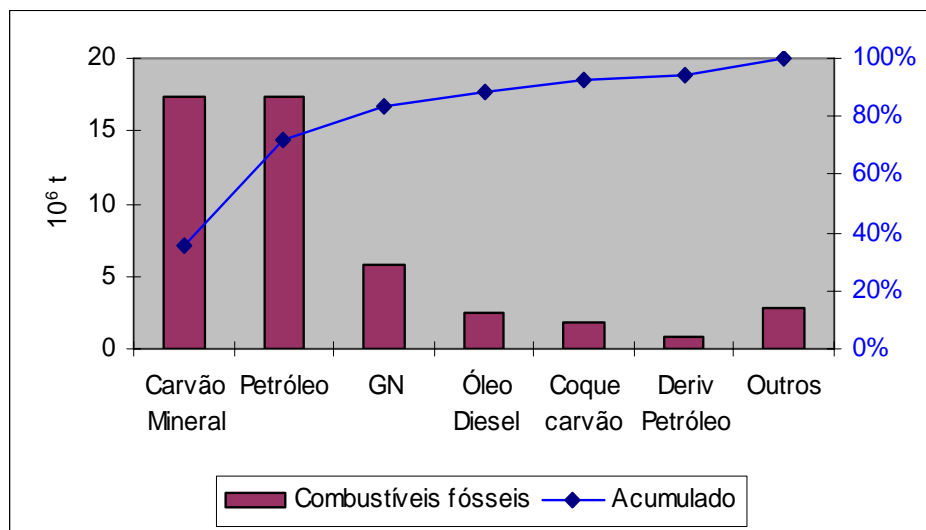


Figura 3-7 Importação dos principais combustíveis fósseis  
Fonte: MME, 2006a.

### 3.2.2 Minerais

Os minerais são acompanhados pelo Anuário Mineral Brasileiro, publicação do DNPM / MME (2006c), e seus dados estão subdivididos de acordo com a Tabela 3.9.

Tabela 3-9 Importação de minerais

	Quant. (t)	%
Bens Primários	9.528.268	51
Produtos Químicos	6.788.181	36
Manufaturados	1.760.602	9
Semimanufaturados	668.520	4
Total	18.745.571	100

Fonte: MME, 2006c.

A categoria bens primários é a mais expressiva do fluxo de importação representando 51% do total. Somente a quantidade de potássio importado (5 milhões de t) é responsável por 27% de toda a importação de minerais, consequência da forte expansão agrícola dos últimos anos, que tem implicado uma demanda crescente por minerais fertilizantes. Em seguida, vem a categoria dos produtos químicos, com 36%, a dos manufaturados, com 9%, e finalmente a dos semimanufaturados com 4% (Figura 3-8).

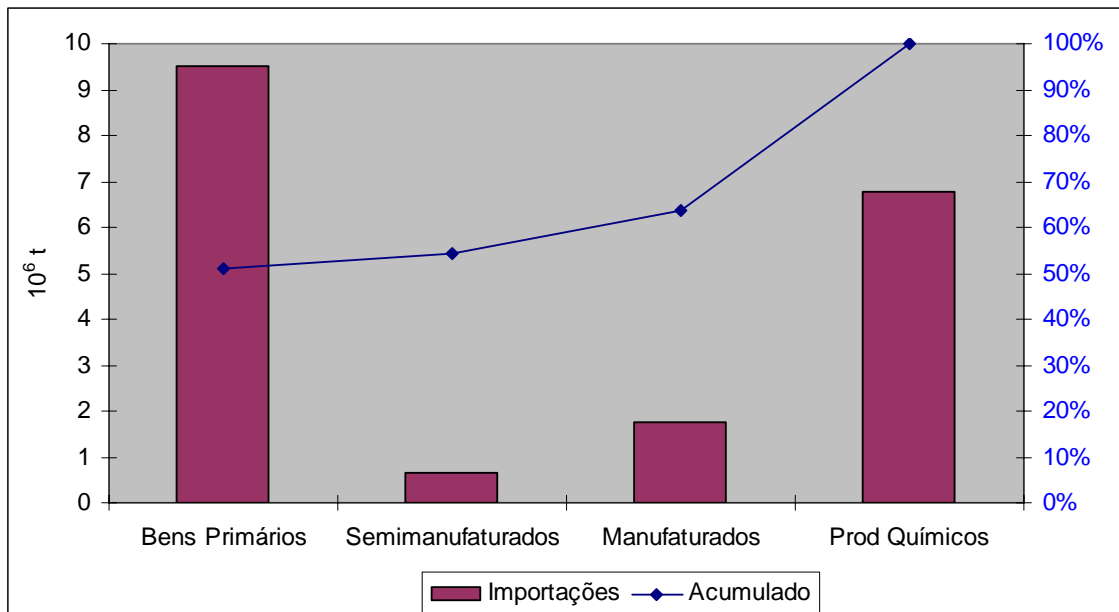


Figura 3-8 Importação de minerais  
Fonte: MME, 2006c.

### 3.2.3 Produtos agrícolas

Os dados sobre o item produtos agrícolas importados foram obtidos no Anuário 2005, publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2005). Este item é composto de 34 produtos perfazendo o total de 8.438.029 t, sendo que o trigo é o elemento de maior quantidade (5 milhões de t – 60%), em seguida vêm: a cevada (800 mil t), o milho (598 mil t), a soja (560 mil t) e o arroz (534 mil t). Só estes cinco cereais perfazem 89% do total de produtos agrícolas (Figura 3-9).

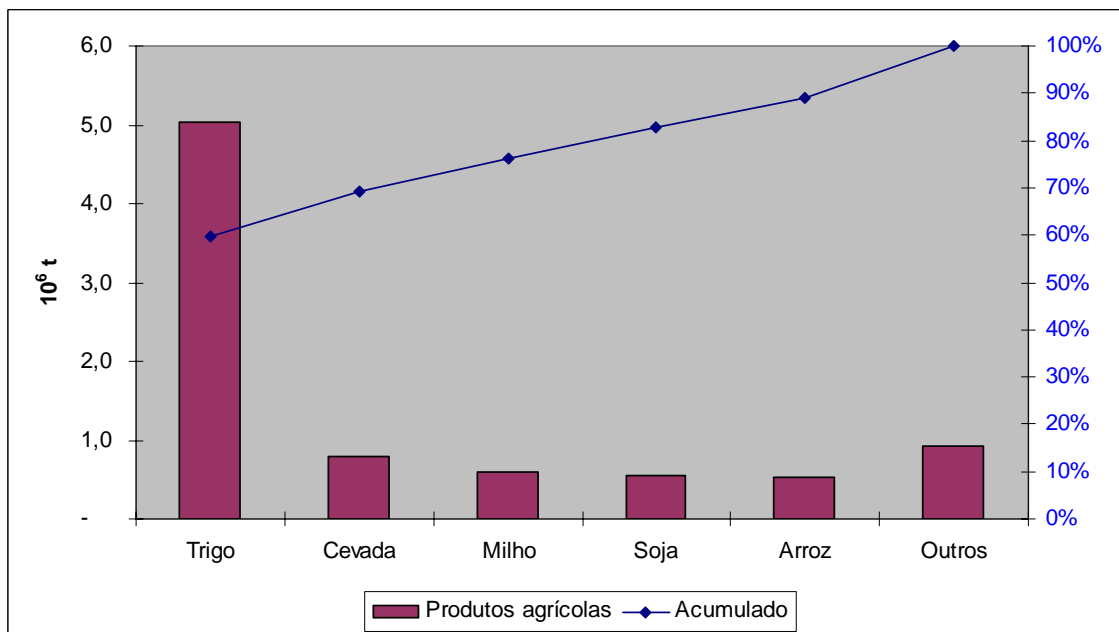


Figura 3-9 Importação dos principais produtos agrícolas  
Fonte: MAPA, 2005.



### 3.2.4 Pescado

Dados obtidos do Ibama (MMA, 2007) mostram que o Brasil importou em torno de 146 mil t de pescado. O principal fornecedor ao Brasil foi a Argentina, de quem o Brasil importou 40.105 t, basicamente de filés de merluza. Em seguida vêm: a Venezuela, com 31.897 t (principalmente sardinhas); a Noruega, com 24.495 t (bacalhau); o Chile, com 19.536 t (salmão e filés congelados) e o Uruguai, com 10.519 t (esqualos congelados). Esses cinco países fornecem 87% do total do pescado importado.

### 3.2.5 Pecuária

Os dados sobre a pecuária foram contabilizados em 116.737 t pelo Anuário 2005 (MAPA, 2005) e estão subdivididos em leite e seus derivados (72.820 t), bovinos (42.764 t), aves e suínos. Os dois primeiros respondem por 99% do total importado.

## 3.3 OS DESCARTES PARA O MEIO AMBIENTE

Os descartes para o meio ambiente correspondem a todas as matérias liberadas de volta ao meio ambiente depois de terem sido usadas na economia interna. Estes fluxos são liberados ao longo de toda a cadeia produtiva de item, no seu consumo e na sua destinação final. Foram divididos em emissões para a atmosfera, resíduos sólidos para aterros, perdas pelo uso, efluentes líquidos e perdas por dissipação (Tabela 3-10).

Tabela 3-10 Fluxos descartados no meio ambiente

	Quant. (t)	%
Emissões Atmosféricas	1.551.745.202	78%
Resíduos Sólidos	255.814.148	13%
Perdas pelo Uso	177.717.667	9%
Efluentes Líquidos	1.580.559	0,1%
Perdas por Dissipação	0	0%
	1.986.857.577	

Fonte: Dados do autor.

### 3.3.1 Emissões para a atmosfera

Fazem parte deste macrofluxo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC), hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), monóxido de carbono (CO) e o composto orgânico volátil não metano (NMVOC)<sup>30</sup>. Outros gases sugeridos pela Comissão Europeia – dióxidos de enxofre (SO<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), metais pesados, poluentes orgânicos persistentes (POP) e materiais particulados (PM10<sup>31</sup>) – não

<sup>30</sup> Foi mantida a sigla em inglês (NMVOC) devido à sua ampla divulgação no meio técnico.

<sup>31</sup> Do inglês *particulated matter*, menor que 10 micrômetros (10<sup>-6</sup> m).

foram contabilizados devido às escassas fontes de informações disponíveis. Na Tabela 3.11, a coluna “a” mostra os valores das emissões de fontes não renováveis estimados para o ano de 2005, extrapolados a partir do inventário nacional das emissões antrópicas de 1994 (MCT, 2004), tendo como fator de correção a variação do PIB brasileiro no mesmo período (1,32). Exceção se faz ao HFC’s, cujos dados são da base de dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2008). A coluna “b” mostra os gases emanados pela combustão da biomassa não considerados no inventário nacional de gases de efeito estufa, por serem oriundos dos combustíveis renováveis (álcool, biodiesel, bagaço e lenha).

Tabela 3-11 Emissões gasosas antrópicas

Gases	(a) Inventário gases efeito estufa <sup>32</sup> (t)	(b) De fontes comb. renováveis (t)	Total (a) + (b)	%
			(t)	
CO <sub>2</sub>	1.359.694.665	120.824.748	1.480.519.413	95%
CH <sub>4</sub>	16.335.520	626.690	16.962.210	1%
N <sub>2</sub> O	682.682	-	682.682	0%
HFC’s	18.344		18.344	0%
CO	41.409.902	2.506.359	43.916.261	3%
NOx	3.037.078	120.203	3.157.281	0%
NMVOG	3.266.840	40.737	3.307.576	0%
MP		1.052.037	1.052.037	0%
Cinzas		2.129.397	2.129.397	0%
Total	1.424.445.032	127.300.171	1.551.745.202	100%

Fonte: (a) MCT, 2004, (b) MMA, 2008; Vianna, 2009; EPA, 1993; EPA, 1996.

O álcool<sup>33</sup>, o biodiesel, o bagaço e a lenha consumidos em 2005 foram contabilizados em 12.169.918 t (ÚNICA, 2008); 636,6 t (MAPA, 2005), 106.469.859 t (MME, 2006a) e 63.752.369 t (IBGE, 2006), respectivamente. Para a contabilização dos gases gerados pela queima do álcool e do biodiesel foram utilizados dados citados por Vianna (2009); e para a queima do bagaço, a AP-42 (EPA, 1993). Segundo Canilha (2007), o bagaço da cana é composto de celulose (47%), hemicelulose (27%) e lignina (26%), cujos teores de carbono são: 44%, 45% e 73%, respectivamente. O teor de carbono no bagaço é de 51,8%. Considerando-se que todo o carbono queimado transforma-se em dióxido de carbono, obtém-se a quantidade de 202.290.791 t desse gás emanadas para a atmosfera. Optou-se, porém, por usar o fator de emissão da AP-42 (EPA, 1993), por este ser um coeficiente tecnicamente reconhecido e utilizado.

Para a lenha (incluindo parte da lenha usada na produção de carvão vegetal) foram adotados os coeficientes técnicos de geração de poluentes para queima em fogão de lenha

<sup>32</sup> O Inventário Nacional de Emissões gasosas antrópicas de 1994 foi atualizado para 2005, usando-se a variação do PIB. O inventário contempla as fontes não renováveis.

<sup>33</sup> O consumo de álcool refere-se à safra de 2004/2005.

segundo os fatores de emissões da AP-42 (EPA, 1996), uma vez que a maioria (50,4%) é consumida em residências. A lenha consumida nas indústrias e na agropecuária representa 35,4% e 13,7%, respectivamente (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – MME, 2006a).

As emissões de aterros e tratamentos de esgotos assim como os gases gerados pelos fertilizantes aplicados (por exemplo, o N<sub>2</sub>O) não foram considerados como “descartes ao meio ambiente” para não haver dupla contabilização, pois os mesmos foram contabilizados em “resíduos sólidos para aterros” e “perdas no uso”. Assim também ocorreu com os gases gerados pelos transportes marítimo e aéreo internacionais, que são classificados como “*bunkers*” e devem ser contabilizados como Memorandum (CEC, 2007).

### 3.3.2 Resíduos sólidos para aterros

Eles devem ser contabilizados desde a extração da matéria-prima, durante o processamento do produto, o seu consumo, a sua reciclagem até a sua destinação em aterros municipais ou privados, como normalmente acontece em relação aos resíduos os industriais.

Com a prática da reciclagem, tanto nas indústrias como na sociedade, cuidados devem ser tomados para não se contabilizar o que vai ser retirado pelas cooperativas que tem suas bases nos aterros. Nas indústrias isso é considerado, pois a seleção dos materiais recicláveis é anterior ao seu transporte e sua destinação final. Entretanto, em muitas cidades, essa seleção ocorre depois de o descarte ser coletado, transportado e contabilizado pelas empresas prestadoras de serviços. A existência desse tipo de atividade (coleta de material reciclável após o transporte pelos serviços públicos) não está contemplada nas estatísticas de coleta de resíduos municipais, tornando os dados vulneráveis a erros metodológicos.

Foram considerados cinco grandes fluxos, os resíduos sólidos municipais – RSM<sup>34</sup>, os resíduos da construção civil – C&D<sup>35</sup>, os veículos em fim de vida – VFV<sup>36</sup>, os resíduos perigosos e industriais – RP&I<sup>37</sup> e finalmente os resíduos não perigosos e industriais – RNP&I<sup>38</sup> (Tabela 3-12).

---

<sup>34</sup> Do inglês MSW = *Municipal Solid Waste*.

<sup>35</sup> Do inglês C&D = *Construction and Demolition Waste*.

<sup>36</sup> Do inglês ELV = *End of Life Vehicle*.

<sup>37</sup> Do inglês I&HW = *Industrial and Hazard Waste*.

<sup>38</sup> Do inglês I&NHW = *Industrial and Non Hazard Waste*.

Tabela 3-12 Fluxos de Resíduos Sólidos para aterros

	Quant. (t)	%
Res. Sólidos Municipais	67.233.000	26%
Res. da Construção e Demolição	70.792.676	28%
Veículos em Fim de Vida	318.527	0%
Res. Perigosos e Industriais	5.012.632	2%
Res. Não Perigosos e Industriais	112.457.313	44%
Total	255.814.148	

Fonte: IBGE, 2002, 2000, 2001, 2007a, 2007; John & Agopyan, 2001; Pinto, 1999; Fenabreve, 2008; Anfavea, 2008; Abrelpe, 2007.

### 3.3.2.1 Resíduos Sólidos Municipais – RSM

Para a estimativa do fluxo de resíduo sólido municipal – RSM, foram utilizados os dados do Banco Multidimensional de Estatística (BME) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), considerando-se não só o lixo doméstico e comercial coletado, mas também o lixo de vias públicas dos 5.475 municípios brasileiros que fizeram parte da pesquisa. Essa informação encontra-se disponível da seguinte forma: cálculo da geração per capita de resíduo sólido municipal para o ano 2000 estimado a partir de dados sobre a população no censo daquele ano (IBGE, 2000). Com a informação do valor de RSM por habitante, utilizou-se o censo de 2005 (IBGE, 2007) para se atualizar dos números referentes à população e se poder calcular a geração de RSM para o ano base da pesquisa. A partir dessa operação, chegou-se ao valor de 67.233.000 t.

### 3.3.2.2 Resíduos da Construção e Demolição – C&D

A quantidade de resíduo de construção e de demolição gerada tem como base informações de John & Agopyan (2001), que classificaram os municípios brasileiros de acordo com a geração de C&D, utilizando dados do IBGE e de Pinto (1999). Para a população de 1996, usaram-se os dados do IBGE (2001) e se obteve o coeficiente de 0,3843 t/hab.ano. Multiplicando-se esse coeficiente pela população do ano de 2005 contabilizou-se 70.792.676 t.

Verificou-se que os dados registrados no Banco Multidimensional de Estatística do IBGE mostram valores muito baixos (0,08 t/hab.ano) em relação à quantidade de resíduo de construção e de demolição gerada. Tal valor difere dos divulgados na literatura brasileira. Pinto (1999), por exemplo, registra 0,51 t/hab.ano. Desse modo, os dados daquela fonte foram descartados.

### 3.3.2.3 Veículos em Fim de Vida – VFV

Para a estimativa dos veículos em fim de vida – VFV foi usada uma curva de sucateamento (URIA apud MEYER, 2001) de veículos leves (Figura 3-10), de acordo com o

ano de licenciamento. Para os veículos pesados, considerou-se que o tempo de vida útil é de 15 anos (FENABRAVE, 2008) e que toda a frota com essa idade sai de circulação ao mesmo tempo. A quantidade de veículos posta em circulação por ano foi baseada nos dados de licenciamento da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotivos (ANFAVEA, 2008).

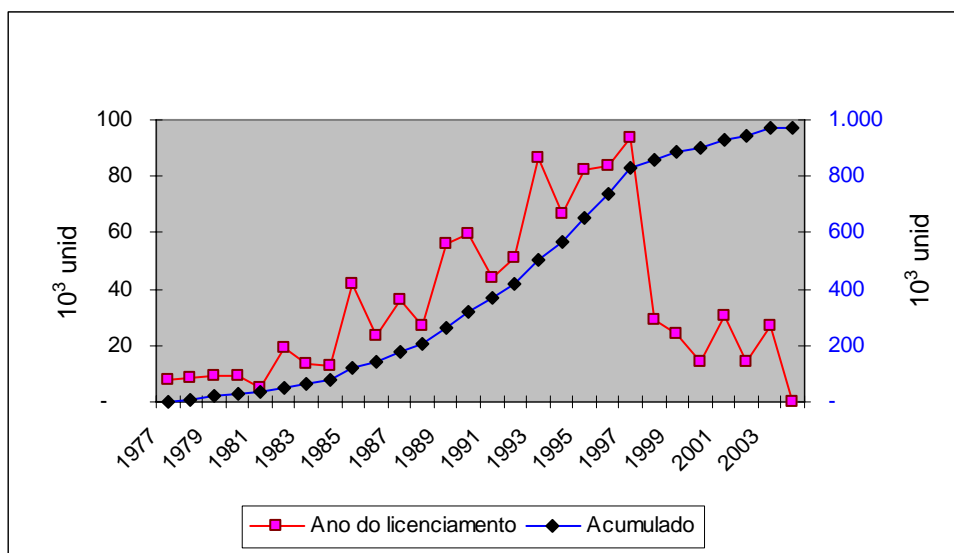


Figura 3-10 Percentual de carros / ano de licenciamento sucateados em 2005  
 Fonte: Elaborado a partir de Uria (1996) apud Meyer (2001).

A partir dessas premissas, foram contabilizadas 1.592.637 toneladas de resíduos de sucata ferrosa, dos quais 80% são reciclados e os demais 20%, o equivalente a 318.527 t, têm destino ignorado, sendo, portanto, considerados descartes para o ambiente.

#### 3.3.2.4 Resíduos Perigosos e Industriais – RP&I

A quantidade de resíduos perigosos e industriais gerada teve como base os inventários estaduais (ABRELPE, 2007) elaborados pelos seguintes estados: Acre, Amapá, Ceará, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco, Rio Grande do Sul, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo, que juntos representam 78% do PIB nacional (IBGE, 2007a). Considerou-se que a geração de resíduos perigosos industriais é proporcional ao PIB dos estados geradores. Desse modo, estimou-se a geração de resíduos dos outros estados e se obteve a quantidade total de resíduos perigosos para 2005 em 5.012.632 t.

#### 3.3.2.5 Resíduos Não Perigosos e Industriais – RNP&I

Para se estimar a quantidade de resíduos não perigosos e industriais recorreu-se às mesmas fontes e aos mesmos procedimentos das estimativas dos resíduos perigosos. A quantidade total obtida foi 112.457.313 t.

### 3.3.3 Perdas no uso

Em relação a este item foram considerados os seguintes fluxos: fertilizantes orgânicos e minerais. Os demais sugeridos pela CEC (2007) (produto da compostagem, pesticidas, gases industriais, sementes, sal usado em degelo em estradas e solventes) não foram investigados devido à escassez de dados e a sua pouca significância em termos de quantidade mássica.

#### 3.3.3.1 Fertilizantes orgânicos

Faz parte deste fluxo a matéria orgânica excretada pelos animais (conhecida também como esterco ou estrume), que pode ser usada como fertilizante na agricultura. Raramente a quantidade dessa matéria orgânica é contabilizada, de modo que a sua estimativa é baseada na quantidade de animais (MAPA, 2005; IBGE, 2009; IBGE, 2007b) e sua geração por espécie (CEC, 2007), num certo período de tempo. Em virtude da imprecisão de sua estimativa, foi contabilizado um valor mínimo de 154.296.936 t para o total do fluxo de fertilizantes orgânicos. O detalhamento da estimativa desse fluxo pode ser visto na Tabela 3-13.

Tabela 3-13 Disposição de fertilizantes orgânicos

	Quant. (base 2005)	Prod. animal / dia (kg)	% matéria seca	Total base seca (t)
Bovino (min)	169.900.049	28	8,5%	147.592.173
(max)	195.713.583	28	8,5%	170.016.390
Caprino	7.109.052	7	7,0%	1.271.454
Suíno (min)	2.343.000	7	7,1%	425.032
(max)	31.949.106	7	7,1%	5.795.728
Ovino	13.856.747	7	7,0%	2.478.279
Búfalo (min)	839.960	28	8,5%	729.673
(max)	1.156.870	28	8,5%	1.004.973
Cavalos (min)	5.602.000	7	7,0%	1.001.918
(max)	5.800.000	7	7,0%	1.037.330
Asno	1.187.419	17	5,0%	368.397
Mulas	1.386.015	17	5,0%	430.011
		Soma dos	mínimos =	154.296.936
		Soma dos	máximos =	182.402.561
			Média =	168.349.749
		Valor considerado		<b>154.296.936</b>

Fonte: MAPA, 2005; IBGE, 2007b; IBGE, 2009; CEC, 2007.

#### 3.3.3.2 Fertilizantes minerais

Os dados sobre este fluxo foram retirados de uma pesquisa realizada com base no ano de 2004 (REVISTA CAFEICULTURA, 2005). De acordo com esse estudo, o consumo

per capita chegou a 125 kg/hab. Extrapolando-se os valores para o ano seguinte, chegou-se à quantidade de 23.092.763 t.

#### 3.3.4 Emissões para efluentes líquidos

As emissões para efluentes líquidos são as substâncias liberadas pelas atividades antrópicas antes de passar pelas estações de tratamento. Representam em geral o menor fluxo (1%) dos contabilizados como “descarte no meio ambiente” (MATTHEWS, 2000). Nos países em que os esgotos domésticos são destinados *in natura* para os emissários submarinos, esse valor pode ser significativo, como é o caso do Brasil.

Para a contabilização desse item, considerou-se a concentração média do carbono orgânico total – COT (METCALF & EDDY, 1991) de 160 mg/L no efluente sem tratamento. O volume gerado para estações de tratamento foi estimado por Machado (2001). O produto da multiplicação do valor desse volume pelo COT totalizou 1.580.559 t de carbono. Portanto, o lodo produzido pelas estações de tratamento de efluentes e os gases gerados por esse tratamento não devem ser contabilizados como emissões para atmosfera. Assim, evita-se a dupla contabilização.

Outros parâmetros podem ser usados também, tais como: o nitrogênio, fósforo, os metais pesados. Entretanto, devido às escassas informações sobre o uso desses parâmetros e às dificuldades em se estabelecer o modo de sua real aplicação, eles não foram considerados.

#### 3.3.5 Perdas por dissipação

Perdas por dissipação são as destinações não intencionais de materiais ao meio ambiente. Essas perdas são uma decorrência de processos abrasivos, corrosivos e erosivos de fontes móveis ou estacionárias. Também correspondem a vazamentos e acidentes durante o transporte de algum produto. Devido às escassas fontes de dados sobre essas perdas e à sua irrelevância quantitativa, elas não foram contabilizadas.

### 3.4 AS EXPORTAÇÕES

As exportações de bens atingiram o montante de 62.475.034 t em 2005 (MME, 2006c), apesar da taxa de câmbio menos favorável aos exportadores (em janeiro o dólar valia R\$ 2,69; em dezembro, R\$ 2,29. O dólar médio do ano foi de R\$ 2,43). Esse montante significou um aumento nas exportações, o que gerou um saldo na balança comercial de R\$ 77,5 bilhões (BACEN, 2006). Em termos mássicos, os minerais representaram 74% do total exportado, seguido dos produtos agrícolas e combustíveis fósseis (16% e 9% respectivamente). A pecuária, apesar de o Brasil ocupar o primeiro lugar no *ranking* dos

exportadores de carne bovina e de frangos, representa somente 1% das exportações; é ofuscada pela exorbitante massa de minerais exportados. Um resumo da contabilização dos fluxos mássicos pode ser visto na Tabela 3-14 e as considerações pertinentes a cada subfluxos nos itens a seguir.

Tabela 3-14 Fluxos das exportações

	Quant. (t)	%
Minerais	268.382.000	73%
Produtos agrícolas	61.731.619	17%
Combustíveis Fósseis	31.500.233	9%
Pecuária	4.749.528	1%
Pescados	92.448	0,03%
Total	366.455.828	

Fonte: MME, 2006a; MME, 2006c; MAPA, 2005; MMA, 2007.

#### 3.4.1 Minerais

Os minerais exportados totalizaram 268.253.884 t (MME, 2006c). Foram classificados como bens primários, semimanufaturados, manufaturados e produtos químicos. Os bens primários responderam por aproximadamente 89% da pauta das exportações, seguidos de longe pelos produtos semimanufaturados (6%) e manufaturados (4%). Os produtos químicos têm quantidade exportada insignificante (Figura 3-11). Sessenta tipos de minerais foram exportados em 2005, destacando-se o minério de ferro com 243.900.009 t (91% do total na classificação por tipo de mineral) e o alumínio com 10.874.388 t (4%).



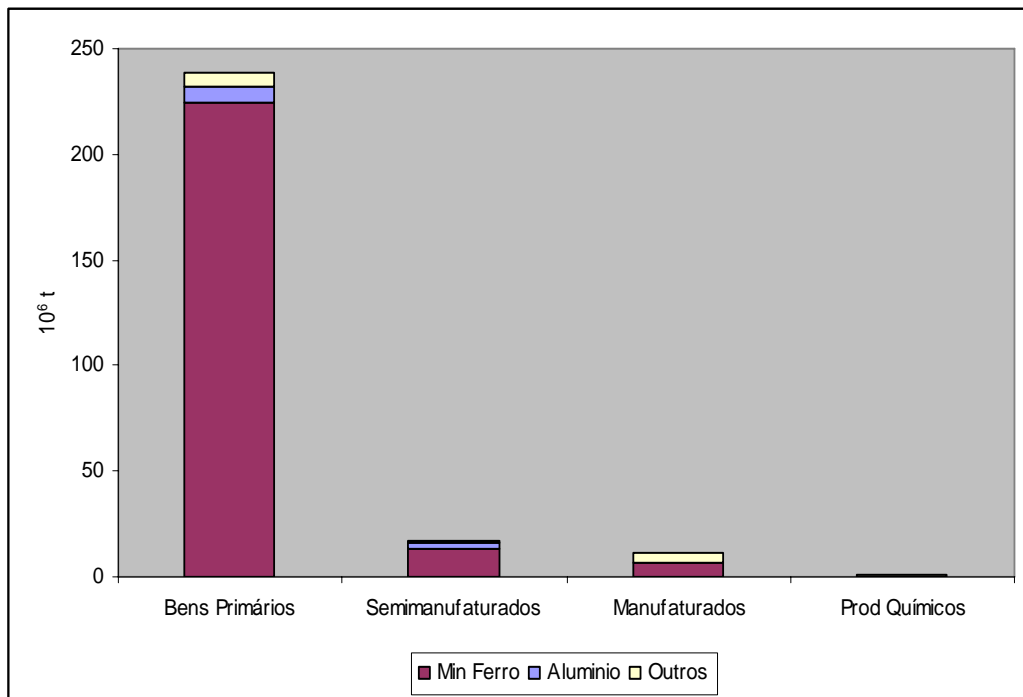


Figura 3-11 Exportação dos principais produtos minerais  
Fonte: MME, 2006c.

### 3.4.2 Produtos agrícolas

Os 35 produtos constantes da pauta de exportação agrícola totalizaram 61.731.619 t (MAPA, 2005), sendo os principais: a soja, com 39.555.241 t (64%); o açúcar e o álcool da cana, com 11.640.206 t e 3.980.794 t (19% e 6%, respectivamente). O café, o milho e a laranja contribuem com 1% cada um, totalizando 97% das exportações (Figura 3.12).

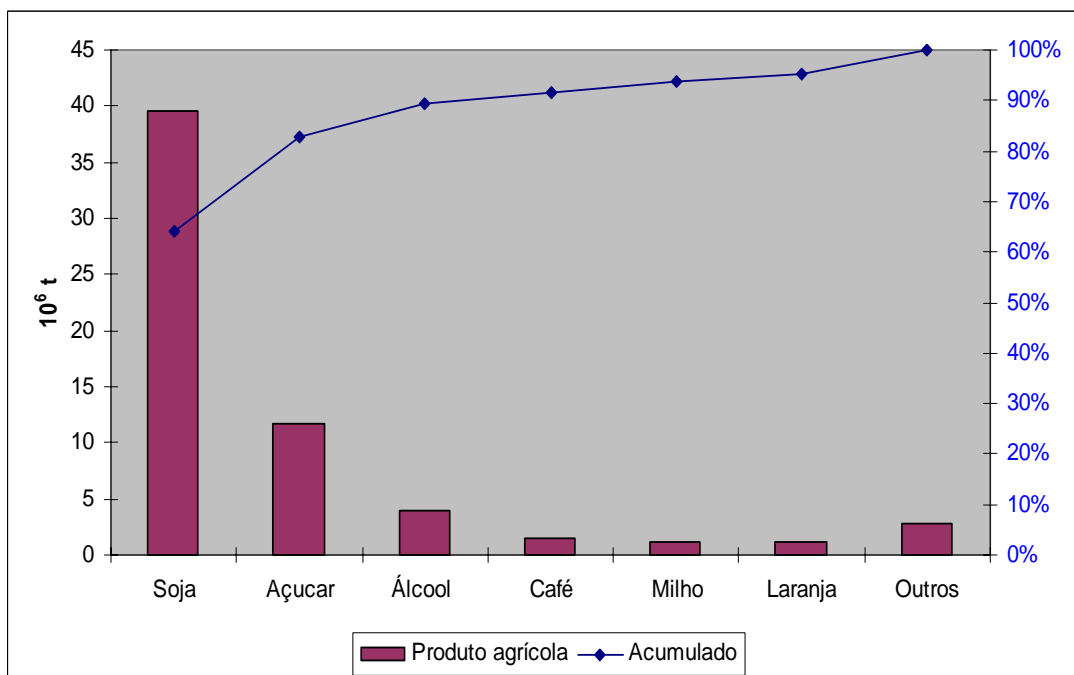


Figura 3-12 Principais produtos agrícolas exportados  
Fonte: MAPA, 2005.

### 3.4.3 Combustíveis fósseis

O petróleo (50%) e o óleo combustível (31%) foram os principais produtos exportados (Tabela 3-15), totalizando 27.519.439 t (MME, 2006a). Os principais compradores do petróleo brasileiro são países da América Central e do Sul (47%), seguidos da Ásia (19%), Europa (18%) e Estados Unidos (16%).

Registra-se que a quantidade de 3.980.794 t de etanol exportado equivale a 14,5% do fluxo de exportação de combustíveis fósseis, ainda que esse combustível não tenha sido incluído neste item, e sim no fluxo de produtos agrícolas.

Tabela 3-15 Combustíveis fósseis exportados

	Quant. (t)	%
Petróleo	13.859.100	50%
Óleo combustível	8.639.000	31%
Derivados Petróleo	2.140.334	8%
Gasolina	1.998.165	7%
Óleo Diesel	882.840	3%
Total	27.519.439	100%

Fonte: MME, 2006a e 2006c.

### 3.4.4 Pecuária

Dos quase 4.750 mil t que formaram a pauta de exportações (MAPA, 2005), as aves representaram 61%, os bovinos 25%, os suínos 13% e o restante (2%) é composto por leite e seus derivados (Tabela 3-16).

Em 2005, a exportação de carne de aves apresentou um aumento de 15% em relação ao ano anterior. A principal região compradora continua sendo o Oriente Médio (848,5 mil t), seguido de perto pela Ásia (756,9 mil t), depois pela União Europeia (387 mil t), a Rússia (258, 1 mil t), a África (191,7 mil t) e pela América do Sul (114,8 mil t) (BOCCHINI, s.d.). Quanto à carne de boi, os principais compradores foram a Rússia, a União Europeia, os Estados Unidos, o Egito, o Chile e a China. Apesar de 75% da produção de carne de boi ser destinada ao mercado interno, o Brasil ostenta o título de maior exportador de carne, não apenas bovina, mas de frangos também.

Tabela 3-16 Produtos pecuários exportados

	Quant. (t)	%
Aves	2.875.882	61%
Bovinos	1.190.516	25%
Suínos	604.764	13%
Leite e derivados	78.366	2%
Total	4.749.528	100%

Fonte: MAPA, 2005.

### 3.4.5 Pescado

Apesar de 109 itens constarem da pauta de exportação de pescados, o que totaliza 92.449 t, (MMA, 2007), somente os camarões congelados, peixes frescos resfriados e peixes congelados representam 60.434 t (65%). Os principais compradores foram a Espanha com 24.047 t (basicamente camarões), seguida pela França e pelos Estados Unidos com 19.494 e 19.122 t, respectivamente. Os estados do Ceará e Rio Grande do Norte exportaram 36.282 t, o equivalente a 39% do total exportado.

## 3.5 FLUXO INDIRETO ASSOCIADO À EXTRAÇÃO DOMÉSTICA

Esse item refere-se a todo fluxo removido pelos processos de extração e de manufatura que não é quantificado como produto final. A divisão feita aqui é igual a dos fluxos da extração.

Tabela 3-17 Fluxos Indiretos da Extração Doméstica

	Quant. (t)	%
Biomassa	2.133.813.457	82%
Minerais	380.532.012	15%
Combustíveis Fósseis	85.269.431	3%
Total	2.599.614.900	100%

Fonte: Dados do autor.

### 3.5.1 Biomassa

Os fluxos indiretos dos produtos agrícolas classificados como “oleaginosas, cereais e outros” foram contabilizados em 2.133.813.457 t e os dos produtos da silvicultura, em 95.116.532 t, considerando-se os coeficientes do Instituto Wuppertal. A contabilização de produtos da silvicultura foi subdimensionada, uma vez que 5,5% de seus componentes não foram calculados por não existirem coeficientes para produtos tropicais. Sendra (2008) estima a quantidade de fluxo indireto de pescado produzido em 0,25 t/t, o que perfaz

187.823 t. Já o fluxo indireto relativo à produção de forragem foi estimado em 68.933.229 t e corresponde ao produto da multiplicação da área (172.333.073 ha) usada pela pecuária (IBGE, 2006) pelo coeficiente de 0,4 t/ha (VIEIRA, 1996).

No Brasil o processo de colheita da cana-de-açúcar provoca impacto ambiental devido à queima da palha antes do corte manual da cana. Isso ocorre basicamente por duas razões: por haver regiões em que o processo de plantio é ainda muito rudimentar ou por a plantação estar em terreno onde o declive não permite a colheita mecanizada. Pesquisas mostram que, a depender do método usado na mensuração, as quantidades de poluentes podem variar quase 100% (Tabela 3-18). Nesse trabalho adotou-se a quantidade de 88.302.703 t como sendo a massa de gases e material particulado a ser acrescida ao fluxo indireto da biomassa, além do corte manual em 60% da área plantada (ÚNICA, 2008) e o teor de carbono na palha de 45% (GOMES & GUERRA, 2008).

Tabela 3-18 Emissões atmosféricas geradas na queima da palha da cana

Método	Indicadores utilizados	Poluentes gerados (t)
1	140 kg palha / t cana produzida	
	MP = 3 kg / t de palha	114.729
	CO = 35 kg / t de palha	1.338.500
	HC = 5 kg / t de palha	191.214
	CO <sub>2</sub> = Por diferença de Carbono	62.221.114
2	20 t palha / há de cana plantado	
	MP = 3 kg / t de palha	222.192
	CO = 35 kg / t de palha	2.592.240
	HC = 5 kg / t de palha	370.320
	CO <sub>2</sub> = Por diferença de Carbono	120.502.128
3	12,4 t de folha seca / há plantado	
	CO = 92 g / kg matéria seca	4.928.712
	CO <sub>2</sub> = 1.551 g / kg matéria seca	83.091.661
	Metano = 2,7 g / kg matéria seca	144.647
	N <sub>2</sub> O = 0,07 g / kg matéria seca	3.750
	NO <sub>x</sub> = 2,5 g / kg matéria seca	133.932
	Corte manual em 70% da área	
<b>Total (t)</b>		<b>88.302.703</b>

Fonte: método 1: Araripe, 2008; método 2: Orlando, 2007; método 3: IPCC, 2006 apud Vianna, 2009.

### 3.5.2 Minerais

Os coeficientes utilizados para o cálculo dos fluxos indiretos dos minerais foram baseados nas informações sobre a concentração de cada mineral presente no minério extraído da natureza (MME, 2006c). Na falta do teor médio de alguns minerais, foram utilizadas as informações contidas no sumário mineral 2006 (MME, 2006b), o que totalizou 380.532.048 t.

### 3.5.3 Combustíveis fósseis

A estimativa do FI dos combustíveis fósseis levou em consideração os coeficientes do Instituto Wuppertal para o petróleo, carvão mineral, gás natural e líquido de gás natural, totalizando 85.269.431 t.

## 3.6 FLUXO OCULTO ASSOCIADO ÀS IMPORTAÇÕES

Para a estimativa dos fluxos ocultos associados às importações dos minerais, biomassa e combustíveis fósseis (Figura 3-13) foram utilizados os mesmos coeficientes usados no cálculo dos fluxos indiretos da extração doméstica, para cada um dos produtos. O total encontrado foi 432.899.838 t.

Na classificação dos minerais, destacam-se os fluxos ocultos da prata, do cobre, fosfato e enxofre, representando 22, 21, 15 e 15%, respectivamente. Na biomassa sobressai o trigo, com 47% do fluxo total dessa categoria, e finalmente o carvão mineral que representa 87% do fluxo oculto dos combustíveis fósseis.

Foram feitas algumas considerações para o cálculo do fluxo oculto ligado à importação da prata. Para a estimativa de cálculo de reserva da prata (MME, 2006b), considerou-se que somente 1/3 é proveniente das minas que exploram a prata propriamente dita e que os 2/3 restantes são um subproduto da exploração do cobre, níquel, zinco e chumbo. Esse mesmo fator (1/3) foi aplicado para o cálculo dos fluxos ocultos ligados às importações da prata. Aplicou-se a concentração de 2,1 g/t somente para 1/3 das 410 t de toda a massa importada, ou seja, para 136,7 de prata, o que correspondeu a 65.296.209 t.

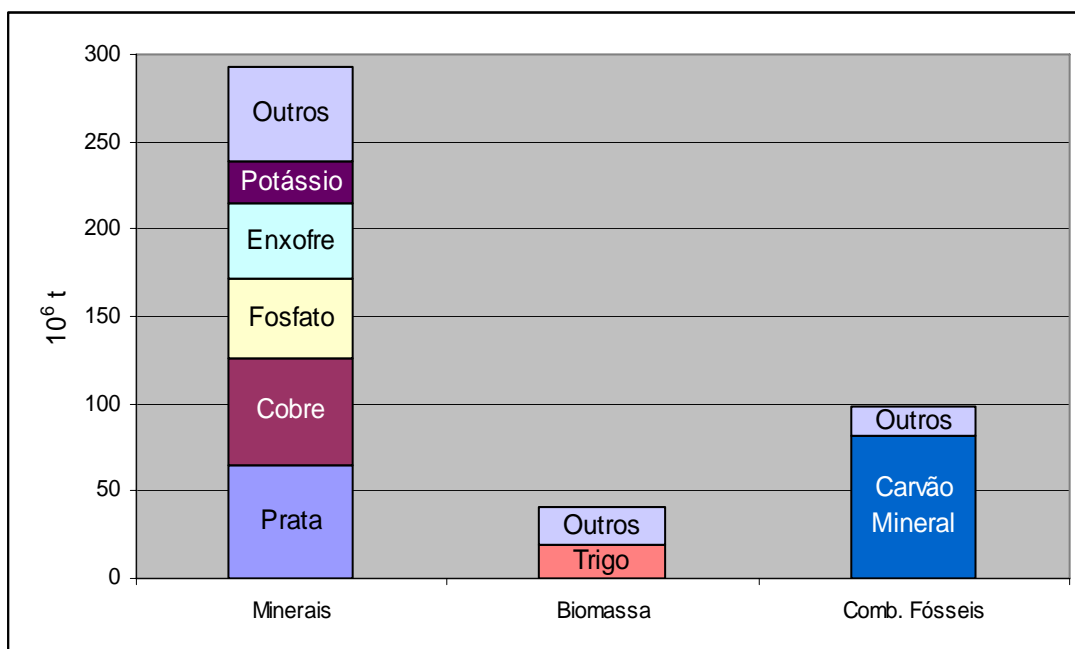


Figura 3-13 Fluxos ocultos ligados às importações  
 Fonte: Dados do autor.

### 3.7 FLUXO INDIRETO ASSOCIADO ÀS EXPORTAÇÕES

Para a estimativa dos fluxos indiretos associados às exportações, foram utilizados os mesmos parâmetros que propiciaram a estimativa dos fluxos indiretos da extração doméstica (Figura 3-14). Chegou-se ao total de 901.443.764. O mesmo procedimento aplicado no item anterior em relação à importação da prata foi utilizado, ou seja, foram feitas iguais considerações para a estimativa do fluxo indireto das exportações da prata (item 3.6). Foram contabilizadas, desse modo, 161 milhões de toneladas.

O minério de ferro gerou um fluxo indireto de 157 milhões de toneladas, seguido pelo cobre e ouro (52 e 25 milhões, respectivamente). Na classificação de biomassa, a soja com 323 milhões de toneladas representa 72% na sua categoria, seguida do café, com 63 milhões (14%). E finalmente na categoria de combustíveis fósseis sobressai o fluxo de derivados de petróleo com 12 milhões de toneladas (72%), seguido do petróleo bruto, com 4 milhões (24%).

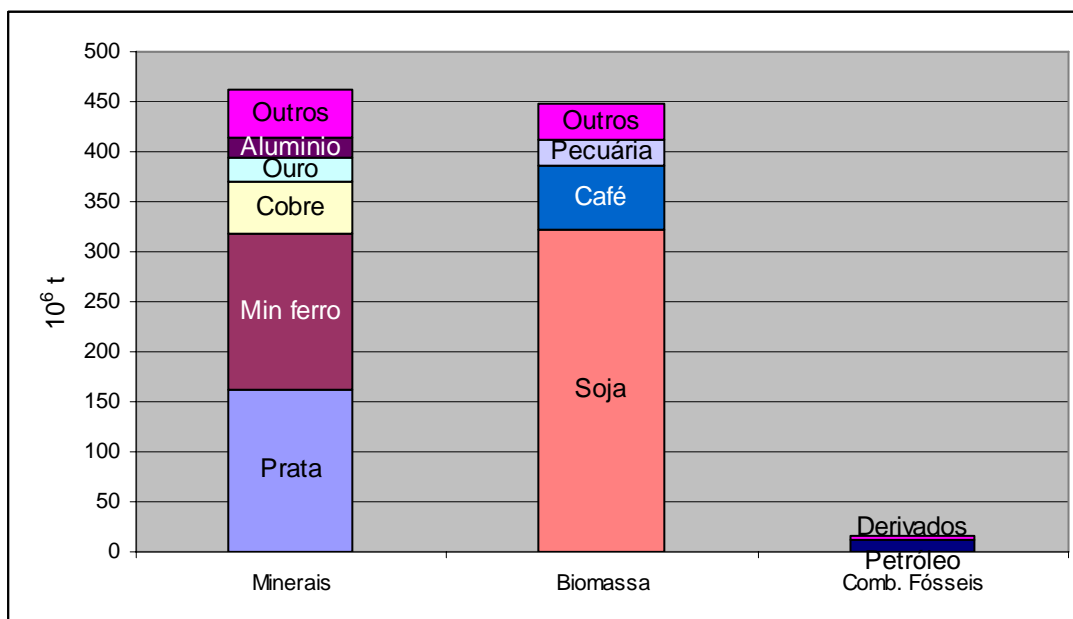


Figura 3-14 Fluxo ocultos ligados às exportações  
 Fonte: Dados do autor.

### 3.8 ITENS DE ENTRADA PARA BALANÇO – MEMORANDUM

Dentre os itens que não são usados como indicadores estão os gases oxigênio e nitrogênio, que participam dos processos de combustão, respiração, produção de fertilizantes e reações paralelas (formação de vapor de água), processos estes conhecidos pelo método EW-MFA como *Memorandum* (Tabela 3-19). Não foi considerado o oxigênio consumido em estações de tratamento de efluentes nem em aterros, pois esses ambientes foram considerados fora dos limites antropogênicos.

Tabela 3-19 Fluxos de oxigênio e nitrogênio para balanço

Processos	Oxigênio	Nitrogênio
Combustão	1.178.453.294	1.431.693
Respiração animal	492.779.518	0
Formação de água	447.881.786	0
Total (t)	2.119.114.598	1.431.693

Fonte: Dados do autor.

#### 3.8.1 Oxigênio e nitrogênio para o processo de combustão

Para a contabilização do oxigênio e do nitrogênio, levou-se em consideração a emissão dos gases do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas (MCT, 2004), a queima de combustíveis renováveis (etanol, bagaço da cana, biodiesel e lenha) e a palha da cana-de-açúcar queimada no processo de colheita manual. Os gases considerados foram os

dióxidos de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e óxido nitroso. O total contabilizado foi 1.178.453.294 t para o oxigênio e 1.431.693 t para o nitrogênio.

### 3.8.2 Oxigênio para respiração humana e animal

Para se estimar a quantidade de oxigênio necessária para oxidar o carbono no processo de respiração, foram utilizados coeficientes citados por Sendra (2008). O valor obtido foi 492.779.518 t.

### 3.8.3 Oxigênio para a formação de vapor d'água durante os processos de combustão, queima da palha da cana e respiração.

Se levarmos em conta o teor de hidrogênio existente em cada combustível fóssil, no etanol queimado, no processo de respiração animal e na queima do bagaço da cana-de-açúcar seriam necessárias 447.881.786 t de oxigênio para formar estequiometricamente o vapor de água. Tanto a queima do biodiesel quanto da palha da cana-de-açúcar não foram consideradas nesta pesquisa. A primeira por representar uma quantidade insignificante; a segunda pelo desconhecimento da geração de vapor d'água a partir desse processo de queima.

## 3.9 ITENS DE SAÍDA PARA BALANÇO – MEMORANDUM

O vapor d' água faz parte do *Memorandum* não só como um item de entrada, mas integra também os itens de saída desse balanço. O fluxo de saída de vapor d' água gera 503.867.009 t, de acordo com o que está descrito na Tabela 3-20 abaixo.

Tabela 3-20 Fluxo de vapor d'água para balanço

Processos	Vapor de água	%
Combustão	171.676.201	34%
Respiração animal	277.188.479	55%
Formação de Água	55.002.329	11%
Total (t)	503.867.009	100%

Fonte: Dados do autor.

### 3.9.1 Vapor de água gerado no processo de combustão (oxidação do H<sub>2</sub>)

Considerando-se a queima dos combustíveis fósseis e o etanol (MME, 2006a) e estimando-se o teor de hidrogênio dentro de cada tipo de combustível, obteve-se a quantidade estequiométrica de vapor de água gerado nesse processo como sendo de 171.676.201 t.



### 3.9.2 Vapor de água gerado no processo de respiração humana e animal

Partiu-se do princípio da reação inversa da fotossíntese, em que para cada molécula de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) queimada, gera-se igual número de moléculas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ). Portanto, dividiu-se a quantidade de  $CO_2$ , já calculada anteriormente, pelo seu peso molecular (44) e multiplicou-se o quociente obtido por 18 (peso molecular da água). Assim obteve-se o valor de 277.188.479 t de vapor de água.

### 3.9.3 Vapor de água gerado no processo da queima da palha da cana

Segundo Canilha (2007), o bagaço de cana-de-açúcar é composto por celulose (47%), hemicelulose (27%) e ligninas (26%). Considerando-se as respectivas fórmulas químicas, obteve-se a quantidade estequiométrica de vapor de água possível de ser formada: 55.002.329 t.

## 3.10 CONCLUSÕES PRELIMINARES

Os recursos renováveis (biomassa – 63%) constituem a maior demanda de recursos naturais da economia brasileira; em segundo lugar estão os não renováveis (minerais – 33 e combustíveis fósseis – 4%). Esta condição é inversa à dos países industrializados. A forragem, produzida para alimentar o rebanho nacional, representa a metade de toda a biomassa colhida, ratificando o impacto ambiental do setor agropecuário e a importância da biomassa na economia nacional pelo seu potencial de produção dos biocombustíveis em substituição aos derivados do petróleo, uma vez que o Brasil ainda possui terras agrícolas disponíveis.

O setor que mais demanda recursos não renováveis (areias e argila) é o setor da construção civil, responsável pelo consumo de mais de 50% do material explorado. Os minérios de ferro e o alumínio são os dois minerais de maior expressão na pauta de exportação. Dos combustíveis fósseis, o petróleo é o mais importante e estratégico na conjuntura econômica e política, por ser a base da economia energética mundial.

A pecuária bovina é um setor econômico de alto impacto ambiental, pois demanda uma área em torno de 200 milhões de hectares (praticamente um hectare para cada cabeça de gado). Metade da biomassa colhida em todo território nacional é para alimentação do rebanho bovino; isso, porém, pouco contribui na balança comercial (em termos mássicos), pois representa somente 25% entre os produtos pecuários exportados e 0,3% do total de mercadorias exportadas.

As exportações brasileiras têm obtido saldo positivo, muito mais pela quantidade mássica crescente do que pelos preços decrescentes praticados pelo mercado internacional. Os minerais representam 73% em massa, seguidos pelos produtos agrícolas com 16%. O modelo econômico brasileiro segue o padrão de exportação de bens primários (*commodities*). Nesse sentido, o minério de ferro (244 milhões de t) ocupa 91% do volume de todos os minerais exportados. Os produtos da biomassa mais representativos na pauta das exportações são a soja com 39,6 milhões de t e os derivados da cana (açúcar e álcool), com 11,6 e 4 milhões de t, respectivamente.

Dos fluxos indiretos e ocultos, caracterizados por imprecisões em suas contabilidades, destacam-se os associados à extração doméstica do setor agrícola, representando 90% do total na sua categoria (ED). Dos fluxos indiretos associados às exportações, os da soja, dos minérios de ferro e da prata constituem os mais volumosos.

Os fluxos de material reciclados internamente não fazem parte da contabilidade da AFM, porém podem ser úteis para dimensionar o consumo real de determinado material (metais principalmente) numa economia nacional.

Vale observar a necessidade de atenção redobrada para aqueles produtos que se enquadrem em duas categorias, por exemplo, o álcool, que pode ser classificado na exportação no item combustíveis ou em derivados agrícolas.

No capítulo a seguir, descrevem-se alguns indicadores gerados a partir da aplicação do método de quantificação da AFM para os anos de 1997 e 2001. Com esses indicadores, foi possível realizar uma análise comparativa com outros países cujos dados estão disponíveis em artigos e relatórios técnicos.

#### 4 INDICADORES DA AFM NO BRASIL PARA OS ANOS 1997, 2001 E 2005

Foram contabilizados os indicadores de entrada, saída, consumo, balanço e os de eficiência, segundo a classificação de Moll (2003). O Apêndice A mostra esses indicadores em termos absolutos (t) calculados para anos de 1997, 2001 e 2005. Para uma análise histórica foi atribuído o valor 100 para os indicadores do ano de 1997, cujos desempenhos no período de estudo podem ser visto na Figura 4-1, que será referência gráfica para os comentários ao longo deste capítulo.

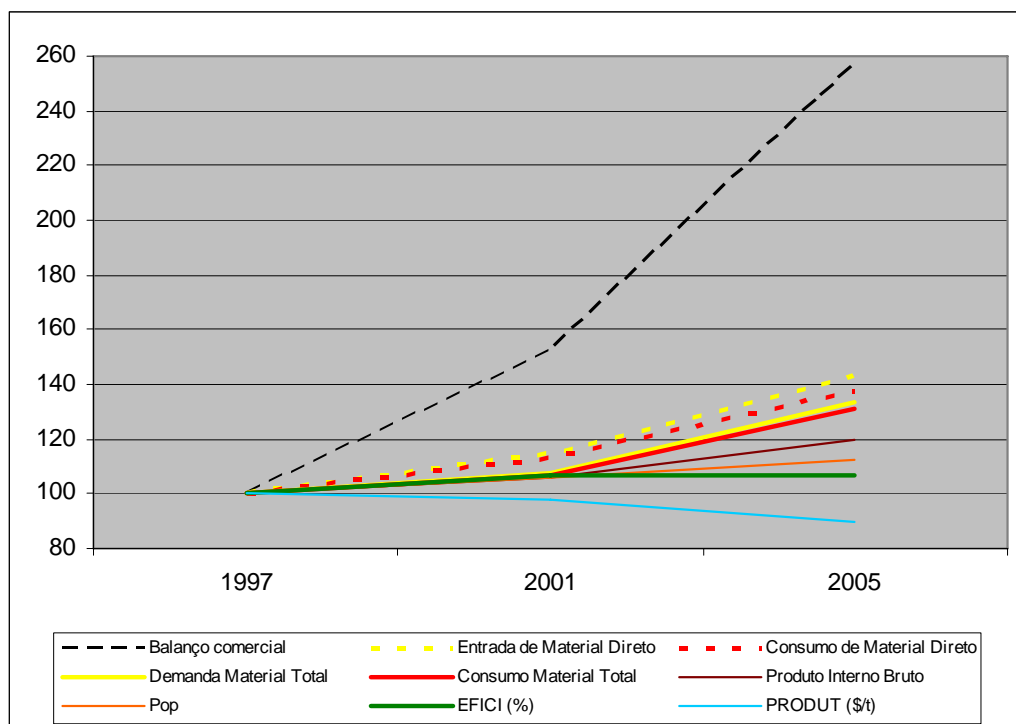


Figura 4-1 Desempenho dos indicadores derivados da AFM na base 100 (1997)  
Fonte: Dados do autor.

##### 4.1 INDICADORES DE BALANÇO

O indicador da balança comercial (BC) foi o que apresentou maior crescimento (157%) nesse período (1997 a 2005), o que representa uma consequência da política governamental de atingir a autossuficiência em determinados setores (principalmente de combustíveis fósseis) e de manter um perfil de exportação de *commodities* tanto minerais como agropecuária (Figura 4-2). Essa variação nas exportações ocorreu principalmente na segunda metade do período em estudo (2001 a 2005), quando se concentraram dois terços dessa diferença. Em termos absolutos, a variação nesse último período nas exportações foi em torno de 110 milhões de toneladas, sendo que as *commodities* minérios de ferro, soja e petróleo representaram 74, 10 e 8 milhões, respectivamente. As importações permaneceram na ordem de 76 milhões de t.

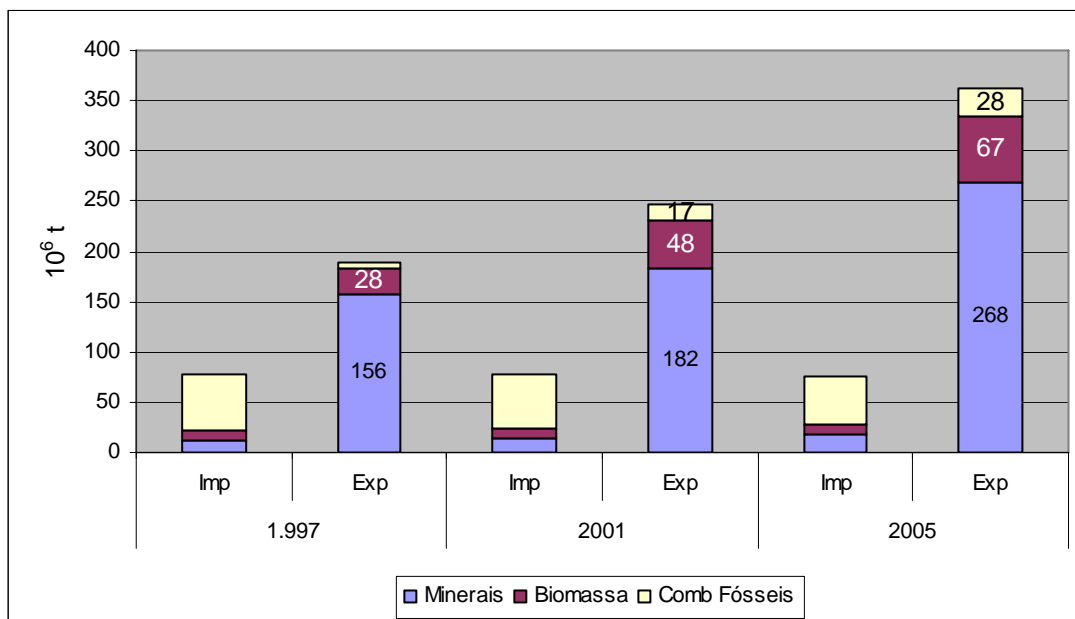


Figura 4-2 Perfil da balança comercial brasileira  
 Fonte: Dados do autor.

O aumento do comércio internacional e uma maior integração de diferentes regiões do mundo são características dos atuais processos de globalização. Entre 1990 e 2006, o volume de exportação mundial aumentou em média 5,5% ao ano, enquanto a produção cresceu somente 2,5%. Segundo a Organização Mundial do Comércio (WTO, 2007), o crescimento no comércio foi maior para produtos manufaturados (6%), seguidos de produtos agrícolas (4%) e combustíveis / minerais (3%).

Alguns estudos mostram evidências no aumento da externalização dos impactos ambientais de países industrializados através do comércio e aumento das exportações feitas por países que não são da OCDE. Ao mesmo tempo a dependência de importações de minerais aumentou nos países mais industrializados. Na Europa essa dependência atinge 83% para o minério de ferro, 80% para a bauxita e 74% para o cobre (CEC, 2006). Isso é acompanhado pelo aumento da pressão ambiental, uma vez que a tecnologia de produção nos países emergentes é mais intensiva em termos de material, energia e emissões do que a que se utiliza nos países industrializados (SHUI; HARRIS, 2006).

O indicador de Acúmulo de Material na Sociedade (AMS) para 2005 foi contabilizado como 9,3 t/hab.ano.

#### 4.2 INDICADORES DE CONSUMO

O consumo de material doméstico – CMD apresentou uma variação de 37% (4,1% ao ano), bem acima do crescimento da população, que foi de 12%. Essa diferença é atribuída ao aumento do poder de consumo do brasileiro nesse período.

#### 4.3 INDICADORES DE ENTRADA DE MATERIAL

Influenciada pelo aumento nas exportações e principalmente pelo consumo interno, a entrada de material direto – EMD cresceu 43% no período pesquisado. A variação do indicador demanda de material total – DMT e consumo de material total – CMT apresentou uma diferença de três pontos percentuais entre si (34 e 31%, respectivamente). Quando se compara o consumo de material direto – CMD com a entrada de material direto – EMD (seis pontos percentuais a maior para a entrada), fica claro que os fluxos indiretos contabilizados na DMT e os fluxos indiretos não contabilizados nas exportações exercem influência sobre essa variação. O impacto ambiental causado pelos fluxos indiretos não contabilizados nos países importadores das mercadorias que compõem esse fluxo será discutido no item que trata da desmaterialização da economia. Outros indicadores derivados das entradas de material (EMD e DMT) serão analisados no item a seguir.

#### 4.4 INDICADORES DE EFICIÊNCIA

A diferença da variação do consumo (CMD = 37%) com relação à demanda de material total – (DMT = 34%) é explicada pela melhoria na eficiência em termo mássicos (EFICI) obtida nesse período (7%). Isso representa uma melhoria na eficiência no uso dos recursos naturais de somente 1,0% ao ano, muito pouco quando comparado com o crescimento da economia medido pelo PIB de 20% (2,3% ao ano). Quando a análise é feita por período, identifica-se que essa eficiência ocorreu entre 1997 e 2001, permanecendo estagnada no período seguinte. A economia brasileira, que aproveitava 44% da demanda material total em 1997, passou a aproveitar 47% em 2001 e continuou nesse patamar até 2005. Essa visível estagnação do indicador eficiência mássica na segunda metade do período estudado, na verdade, oculta uma melhoria da eficiência no uso dos recursos naturais, pois os fluxos indiretos referentes às mercadorias exportadas não são abatidos quando se faz o cálculo desse indicador.

Fica evidente que os países importadores deixam de contabilizar o fluxo material indireto e usam a variação do indicador EMD para justificar melhoria no uso de recursos naturais em suas economias nacionais.

O índice da produtividade (PRODUT), traduzido pelo total de riqueza produzido pelo país (PIB) dividido pela demanda de matéria total (DMT), apresentou variação negativa (-

10%). Isso implicou uma redução de 203 para 182 US\$ de PIB para cada tonelada de DMT consumida (ver Apêndice A). Detalhando-se por período, verifica-se que essa variação se deve ao segundo período (2001 a 2005), quando houve um aumento de praticamente 100% na quantidade exportada. No entanto, isso não se refletiu na riqueza gerada, pois o perfil das mercadorias exportadas pelos países emergentes é formado por *commodities* minerais e da agropecuária, cujos preços são estabelecidos pelas bolsas de valores internacionais, ficando os produtores a mercê do mercado comprador.

As *commodities* minerais, representadas pelo minério de ferro e alumínio, têm sido os principais produtos exportados, atingindo em 2005, 244 e 11 milhões de toneladas, respectivamente (MME, 2006c). Os metais, diferentes das outras *commodities*, têm se mantido em alta, surpreendendo os analistas econômicos pela longevidade desse ciclo, que normalmente tende a perdurar em média 29 meses (IEA, 2008). Já os ciclos de baixa tendem historicamente a ser não apenas mais longos (39 meses) como mais intensos.

O minério de ferro é o principal item da pauta de minerais exportados (224.162.139 t), representando 82% dessa categoria e aproximadamente 63% de todas as mercadorias exportadas em 2005. O valor dessa *commodity* tem se mantido alto, atingindo um índice de 164 (1997 = 100). Para o cálculo desse índice, foi considerado um deflator de 0,2% ao mês, referente a uma inflação de 2,43% ao ano estimada, para os países industrializados, para o período de 1995 a 2004 (HELBLING, 2006). A Figura 4-3 apresenta também os índices para o petróleo (184), que saiu de um patamar de exportação de 129 mil toneladas para 13,9 milhões de toneladas; e para o alumínio (108), que saiu de 5,8 para 10,9 milhões de toneladas. Para todas essas *commodities*, a variação foi positiva no período estudado (1997 a 2005). Os índices sem a aplicação do deflator (24% ao final do período estudado) também podem ser visualizados na referida figura.

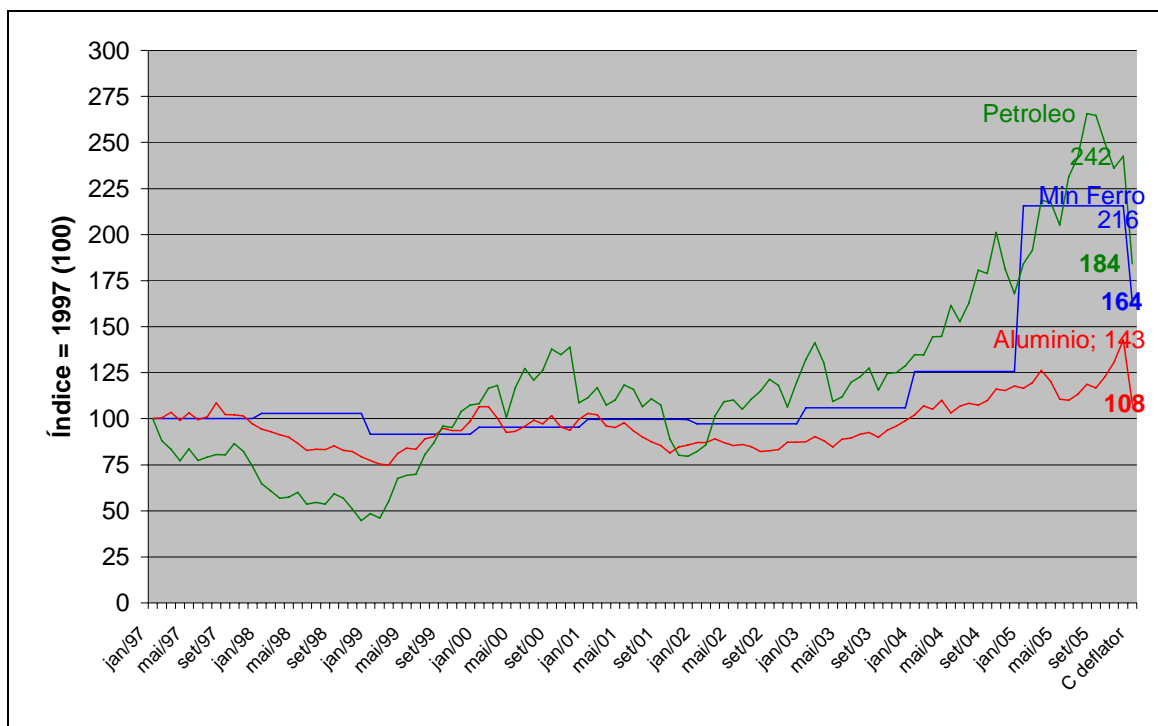


Figura 4-3 Evolução dos preços das principais *commodities* minerais exportadas  
 Fonte: <www.indexmundi.com>.

Quanto às *commodities* agrícolas (Figura 4-4), o comportamento dos preços tem se mantido em baixa. Entre os produtos mais exportados pelo Brasil, a soja (em grãos) manteve-se com o preço mais baixo, com um índice de 61. Quando se compara este índice com o do ano de 1997 (100), percebe-se que a soja desvalorizou-se 39% a longo desses 9 anos. Mesmo assim, o Brasil, que exportava 19,5 milhões de toneladas em 1997, duplicou suas exportações (39,6 milhões de toneladas) de soja e seus derivados em 2005. Desvalorização de 34% ocorreu também para o café (arábico), sendo que na maior parte do período permaneceu em baixa, chegando ao índice de 31 (-69%) em outubro de 2001. Para o açúcar, o preço teve um comportamento de baixa em todo o período (1997 a 2005), recuperando-se ao final de 2005 quando voltou ao índice de 99, igual ao de 9 anos atrás. Isso também representou menor rentabilidade para os produtores nacionais.

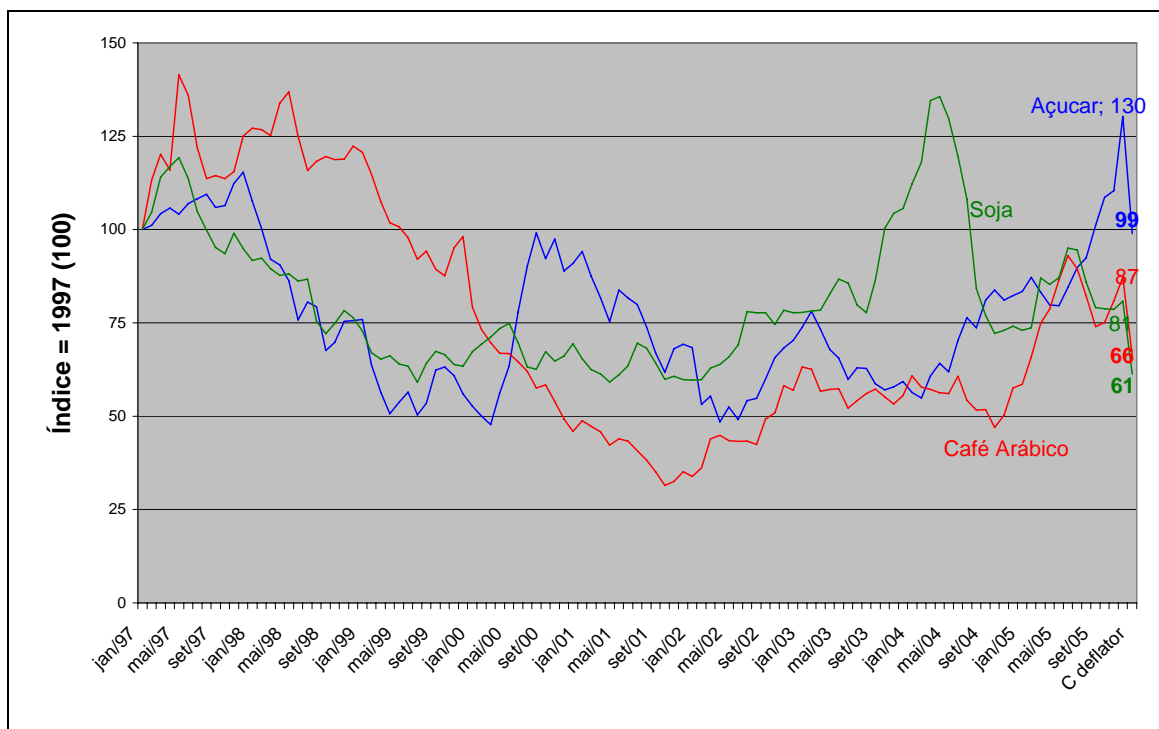


Figura 4-4 Evolução dos preços das principais *commodities* agrícolas exportadas  
 Fonte: <www.indexmundi.com>.

O Brasil é o maior exportador de carne de frango, que é também a *commodity* animal mais comercializada pelo Brasil, com índice (84) de variação de preço negativo em 16% (Figura 4-5). Mesmo permanecendo em baixa durante todo o período, as exportações de frango praticamente quintuplicaram, passaram de 673 mil para 2,9 milhões de toneladas em 2005. A carne bovina<sup>39</sup>, com 1,2 milhões de toneladas comercializada em 2005 (eram somente 60 mil t em 1997), apresentou um crescimento de 1.900%, porém permaneceu só um pouco acima do patamar de preços praticados em 1997 (índice de 108).

A carcinicultura, que tem o Nordeste como a principal região exploradora, sofreu muito com a grande queda do preço do camarão, cujo índice de variação em 2005 estava em 47 (menos da metade do preço praticado em 1997). Isso se reflete na queda das exportações de pescado como um todo, a partir de 2003, e também no retorno da balança comercial negativa no segmento da pesca (MMA, 2007).

<sup>39</sup> O Brasil é o maior exportador mundial.



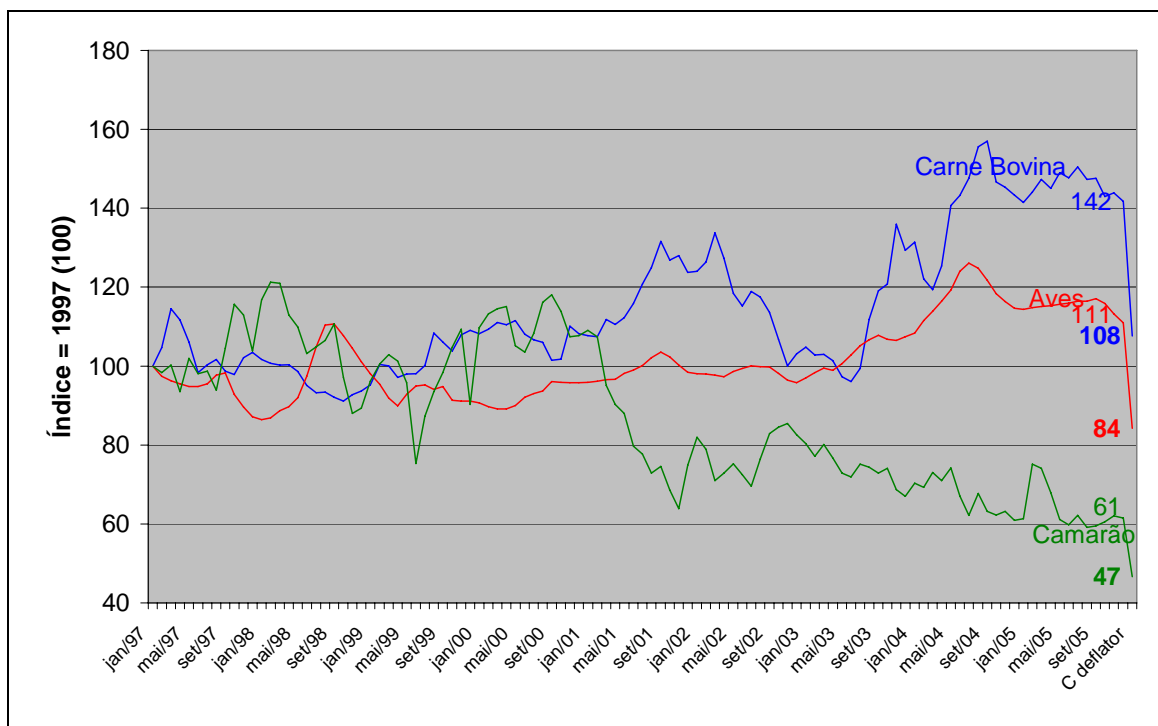


Figura 4-5 Evolução dos preços das principais *commodities* de subprodutos animais exportados  
 Fonte: <www.indexmundi.com>.

Fatos tais como o crescimento da renda por habitante, a rápida industrialização e o crescimento populacional têm impulsionado a demanda pelas *commodities*, principalmente os minerais metálicos. Um exemplo disso é a economia chinesa, que foi a responsável por cerca de 90% do aumento do consumo mundial de cobre entre 2000 e 2006. Sozinha, ela absorve 40% da soja comercializada no mundo. Acrescente-se a isso o crescimento das vendas de carros de passeio, que quintuplicaram no período de 2001 a 2007, levando também a um aumento no consumo dos combustíveis fósseis.

Do lado da oferta, deve-se considerar a depreciação do dólar americano, pois as *commodities* ainda são negociadas nessa moeda e, em momentos de baixa do dólar frente a outras moedas, os grandes produtores, notadamente os produtores de petróleo, buscam aumentar os preços de seus produtos como forma de manter seu poder de compra.

As transmissões de preços entre diferentes *commodities* é outro fator a ser considerado, pois um aumento no preço do petróleo leva a um efeito cascata em outros segmentos como os seus substitutos (biocombustíveis) e derivados (plásticos, fertilizantes, defensivos agrícolas).

A crescente produção dos biocombustíveis pode aumentar os preços dos seus insumos como o milho, soja, palma etc. Outro fator a ser considerado é o estoque de diferentes tipos de *commodities* como, por exemplo, o milho e o trigo, que historicamente

estão no nível mais baixo dos últimos 20 anos, o que os torna especialmente sensíveis à demanda no curto prazo. Mais recentemente, a produção do etanol produzido a partir do milho nos Estados Unidos passou de 6,5 para 26,1 milhões de m<sup>3</sup>, impulsionada pela busca por um combustível renovável e pelos preços crescentes do petróleo. Para isso, 27% da produção do milho nos estados foram desviados do ramo alimentício para o de combustíveis.

Os ciclos de baixa e de alta dos preços das *commodities* não podem ser explicados de forma simplificada por aumento na demanda ou da oferta. Estudos desenvolvidos na Indonésia, Costa Rica e Papua - Nova Guiné (DIAZ, 2006) mostraram que, após longos períodos de prosperidade à custa de suas riquezas naturais constituídas por minerais e florestas, suas economias entraram em processos de estagnação. Apesar da necessidade de se valorar os estoques e serviços ambientais, o Brasil ainda não dispõe de indicadores que possam realmente expressá-los. O Produto Interno Bruto (PIB) tem sido o principal indicador econômico para se analisar quanto de recurso natural é necessário para se gerar riqueza no país. Vale observar que, no período estudado, o Brasil passou a gerar menos riqueza para cada unidade mássica (t) que extrai da natureza. Tanto o indicador PIB/EMD como o PIB/DMT (US\$/t) diminuíram (16% e 8% respectivamente). Em 1997, gerava-se 203 US\$/t de matéria total (DMT = diretos e indiretos); em 2005, esse número caiu para 182 US\$/t. Considerando-se somente a matéria usada (EMD) na economia, esse valor era de 468 US\$/t em 1997 e passou a 392 US\$/t em 2005.

Outro indicador, usado pela OCDE (1996), é a relação kg EMD por 100 US\$ de riqueza gerada. Ela propõe como meta para os próximos 30 a 50 anos a redução pela metade no consumo dos recursos naturais não renováveis (Declaração de Carnoule) e, para um futuro mais distante, dado as necessidades dos países em desenvolvimento, os países industrializados teriam que reduzir sua intensidade material (DMT/PIB) em dez vezes (Fator 10). A estimativa da OCDE é de que para o atendimento dessa meta os países teriam que reduzir a intensidade de consumo atual de 300 para 30 kg DMT/100 US\$ de PIB. O Brasil está muito distante desse patamar, pois seus indicadores aumentaram de 493 (1997) para 552 (2005) kg TMR / 100 US\$ PIB, sendo necessário aplicar um fator 18 caso queira atingir esse desempenho ambiental (Figura 4-6).

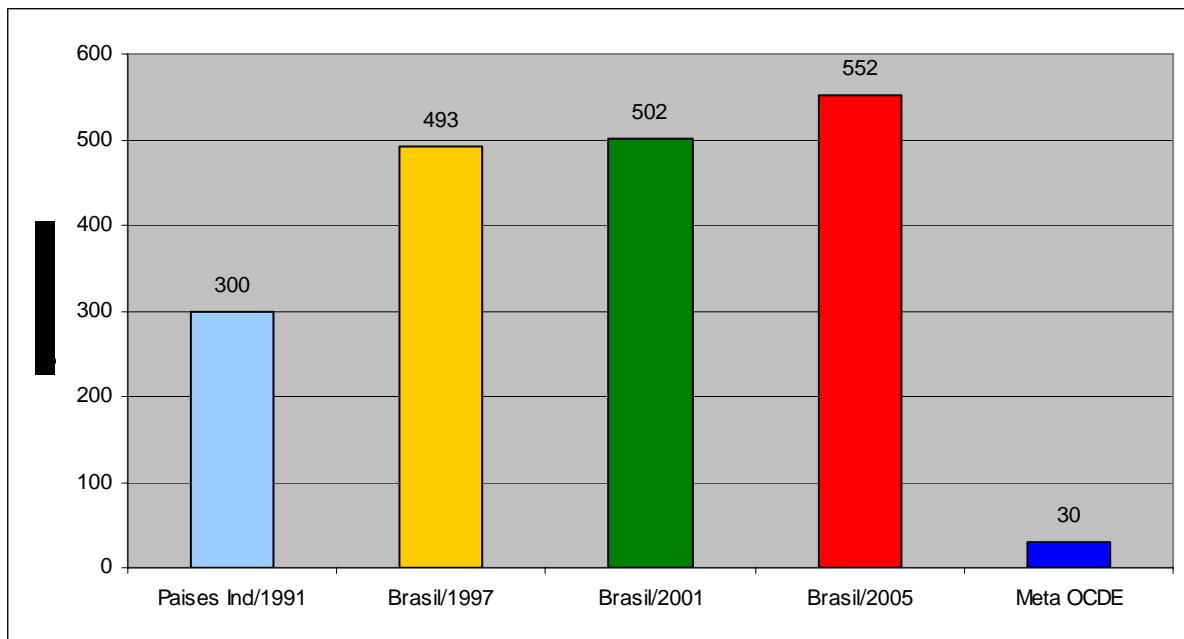


Figura 4-6 Indicador de intensidade no consumo de recursos naturais versus PIB  
 Fonte: Adriaanse, 1997; dados do autor.

#### 4.5 INDICADOR DE SAÍDA

No que se refere à saída doméstica processada – SDP, foram contabilizadas para o Brasil, em 2005, aproximadamente 2,7 bilhões de t, sendo 2,2 bilhões de t, o equivalente a 84%, dispersos na forma de gases. Em seguida vieram os resíduos sólidos e as perdas no uso, 10 e 7% respectivamente. Para efluentes líquidos, foram contabilizados somente 1,6 milhões de t, equivalente a 0,1% do total.

Dos indicadores da MFA, os de saída são os mais questionados devido à estimativa dos seus componentes, principalmente os fluxos gasosos que utilizam coeficientes poucos precisos. Outro fator complicador é a estimativa de perdas por corrosão de estruturas e de material deslocado por processos de erosão. A erosão dos solos devido a atividades agrícolas foi considerada nos fluxos indiretos, mas não deixa de ser polêmica, pois são utilizados valores muito variados. Em virtude dessas imprecisões os dados referentes a 1997 e 2001, não foram contabilizados, sendo priorizadas as análises dos outros indicadores.

#### 4.6 COMPARAÇÃO DE INDICADORES DO BRASIL COM PAÍSES EUROPEUS

Considerando a demanda por recursos naturais de uma sociedade (Entrada de Material Direto) como fator 1000, a Figura 4-7 apresenta perfis de fluxos mássicos distintos

obtidos em economias de países europeus no ano 2000, além de mostrar esses mesmos perfis na economia brasileira em 2005.

A Holanda caracteriza-se por ter 68% das suas necessidades materiais importadas, somente 32% são extraídas em seu território. Isso reflete o tipo de economia praticada por aquele país, em que mais da metade (51%) da produção é exportada e somente 49% ficam para o consumo interno. Salienta-se também que a Holanda é a porta de entrada mais utilizada pelo modal marítimo (porto de Rotterdam) na Europa, servindo como um entreposto comercial. A Alemanha possui um perfil mais próximo à média dos países europeus: 71% das suas necessidades são extraídas de seu próprio território e os 29% restantes são provenientes da importação. De tudo que o país produz, 84% são para o consumo interno e os 16% complementares são exportados.

O Brasil possui uma características de grande produtor: sua extração doméstica representa 97% de todo material processado pela economia brasileira; os 3% restantes vêm da importação. 84% de tudo que o país produz são consumidos internamente, ainda que as exportações tenham aumentado muito nos últimos anos, notadamente o minério de ferro, soja e petróleo.

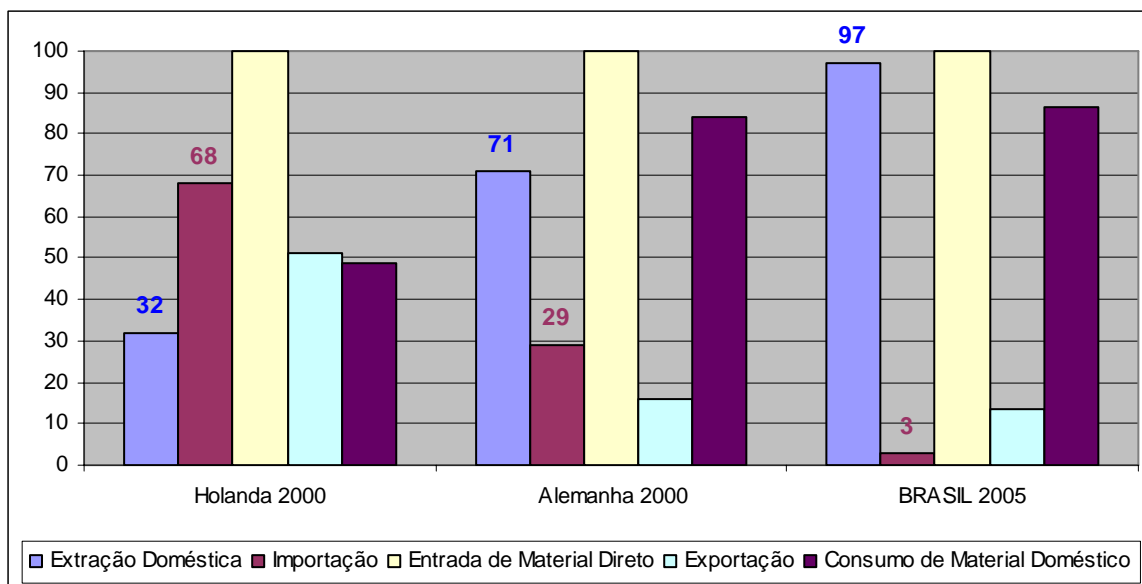


Figura 4-7 Comparação de perfil dos fluxos mássicos  
 Fonte: Moll, 2003 e dados do autor.

Analisando a entrada de material direto – EMD por habitante, o Brasil (base 2005) localiza-se em último lugar (ordem decrescente) quando comparado com os países da União Europeia (EU-15) ocidental (base 2000), conforme mostrado na Figura 4-8. Quando

comparado com os países da União Europeia (EU-14) oriental (Figura 4.9), o Brasil fica no terceiro quartil (ordem decrescente), atrás de países como Romênia, Bulgária, Eslovênia entre outros. Isso demonstra o baixo consumo, por habitante, de recursos naturais pelo mercado interno brasileiro, apesar de haver defasagem de 5 anos nos dados estatísticos.

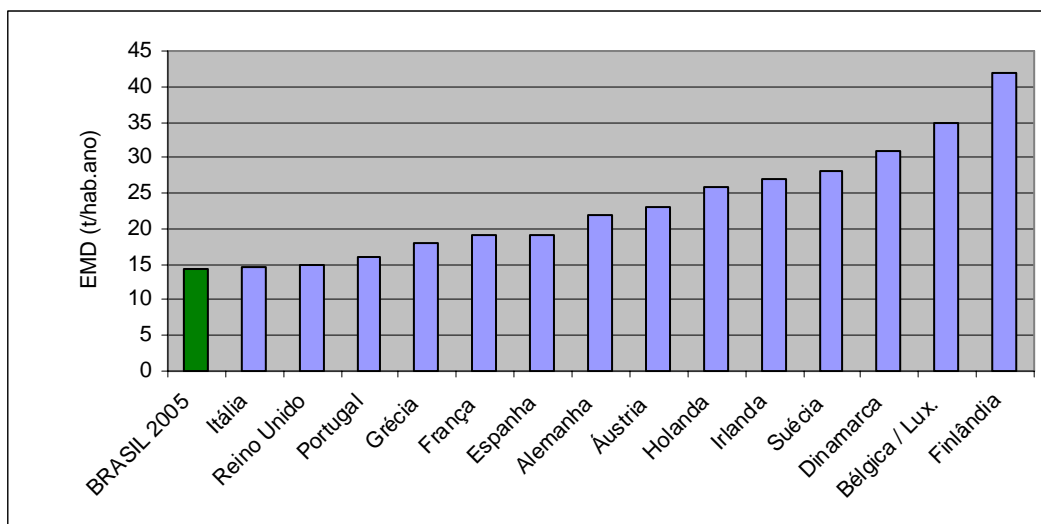


Figura 4-8 Comp. da EMD / hab. do Brasil (2005) e União Europeia (EU-15) ocidental (2000)  
Fonte: Moll, 2003; dados do autor.

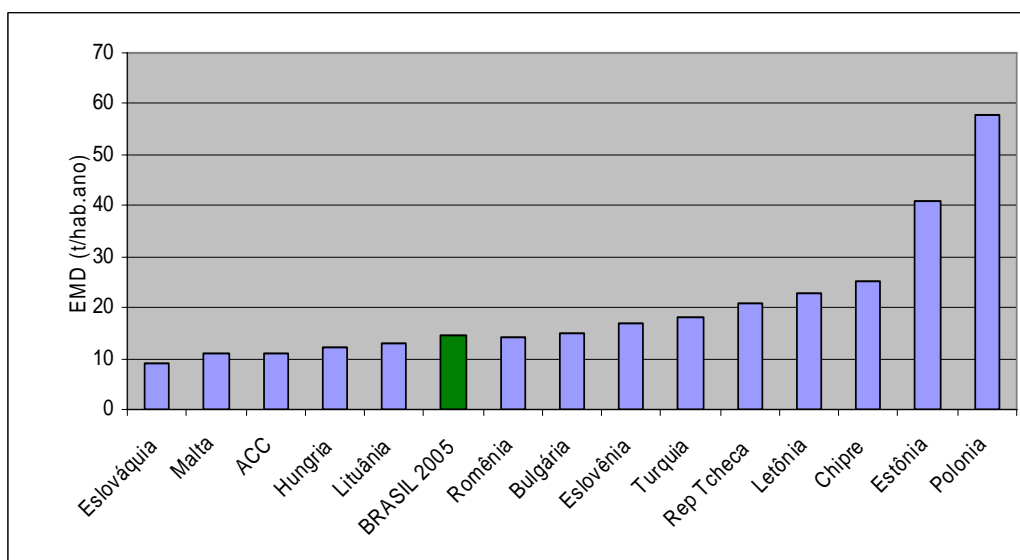


Figura 4-9 Comp. da EMD / hab. do Brasil (2005) e União Europeia (EU-14) oriental (2000)  
Fonte: Moll, 2003; dados do autor.

Baseado no índice de produtividade (€ PIB/t EMD), o Brasil com 274 Euros/t EMD está no mesmo patamar (230 Euros/t EMD) de países que foram incorporados à União

Europeia numa segunda etapa (EU-14), enquanto os países EU-15 são de 4 a 5 vezes mais produtivos, com um indicador de 1.200 Euros/t EMD (MOLL, 2003).

O indicador brasileiro de saída de material processado por habitante (SMP t/hab.ano) indica que o Brasil situa-se num patamar superior ao Japão, à Áustria e Alemanha e inferior à Holanda e aos Estados Unidos. Há, porém, 10 anos de defasagem, pois os dados do Brasil são de 2005 enquanto que as informações dos demais países são de 1996 (Figura 4-10). O Brasil ratifica a tendência de países emergentes possuírem indicadores de consumo menores e indicadores de saída maiores, devido à baixa eficiência com que a sua população lida com os recursos naturais, principalmente na disposição de matéria na biosfera. Os Estados Unidos são o país que contabiliza a maior quantidade não só de entrada, mas também saída de material para a biosfera, sendo seu índice praticamente o dobro dos índices de países europeus.

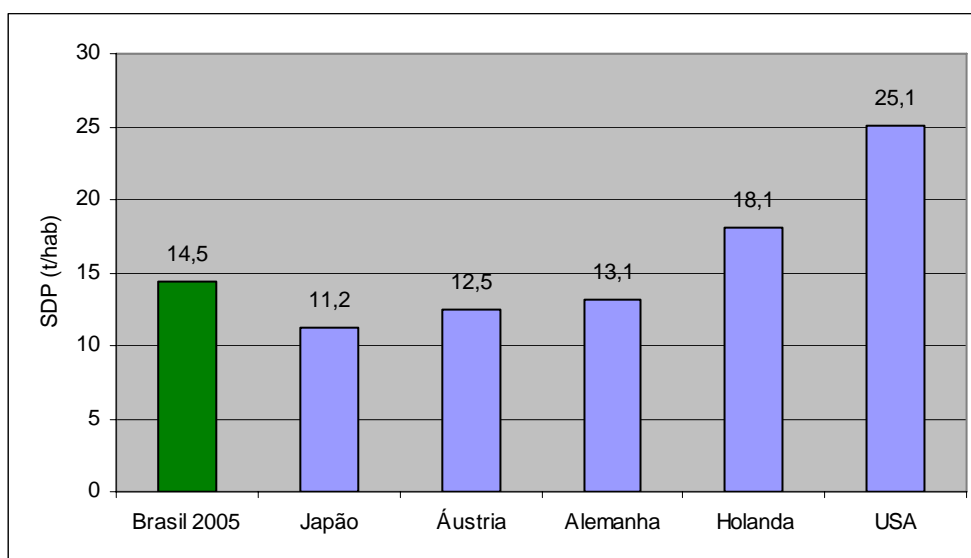


Figura 4-10 Comp. do SDP / hab. do Brasil (2005) e outras economias industrializadas (1996)  
Fonte: Matthews, 2000; dados do autor.

Quando se compara o indicador quantidade estimada de material que fica acumulado na sociedade na forma de infraestruturas, edifícios, bens duráveis, o Brasil em 2005, com 9,3 t/hab.ano, equipara-se a países industrializados da União Europeia, conforme visto na Figura 4-11, inclusive à frente de países como Japão e Estados Unidos, todos com ano base 1996. O acúmulo de material na sociedade é sinal de economia crescente – quando há grandes investimentos em infraestruturas físicas urbanas.

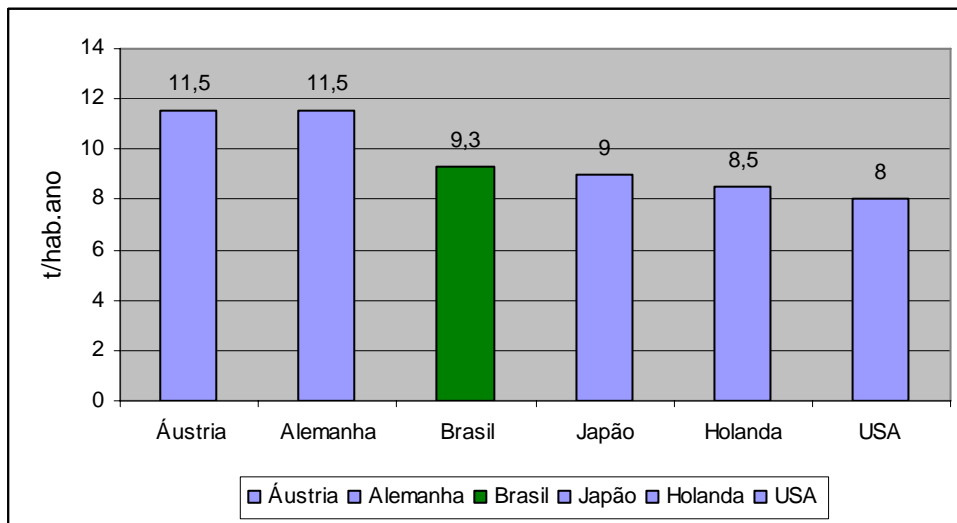


Figura 4-11 Comparação do AMS / hab. Brasil, base 2000, e demais países, 1996  
 Fonte: Matthews, 2000; dados do autor.

Em média a entrada de material direto por habitante (EMD t/hab.ano) na União Europeia (EU-29) é de 18 t/hab.ano e a renda média por habitante é de 10 mil euros. O Brasil com 14 t/hab.ano e 3.900 euros/hab.ano fica na média inferior tanto no consumo quanto na renda média (Figura 4-12).

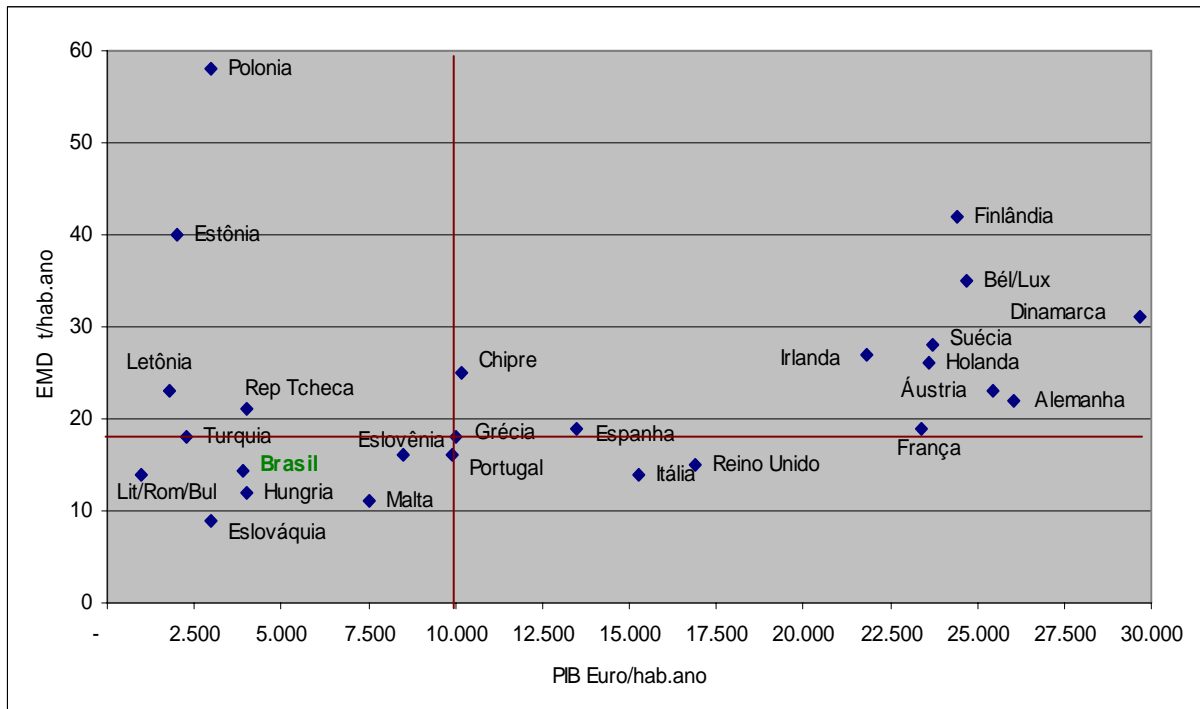


Figura 4-12 Comparação de indicadores de entrada e geração de riqueza por habitante  
 Fonte: Moll, 2003; dados do autor

Numa análise mais detalhada, verifica-se que o Brasil apresenta um indicador de menor consumo (14 t/hab) em comparação com Portugal (15,5 t/hab), mas obteve um valor

de PIB menor (4 mil euros contra 5,5 mil de Portugal), mesmo se considerando a defasagem de uma década na obtenção dos dados, conforme pode ser visto na Figura 4-13.

A Irlanda apresentou o maior crescimento do PIB por habitante (de 7,5 para 14 mil euros), porém é uma das maiores consumidoras de recursos naturais (entrada de material direto – EMD) da União Europeia, com aproximadamente 35 t/hab, perdendo somente para a Finlândia, com 40 t/hab (Figura 4-13).

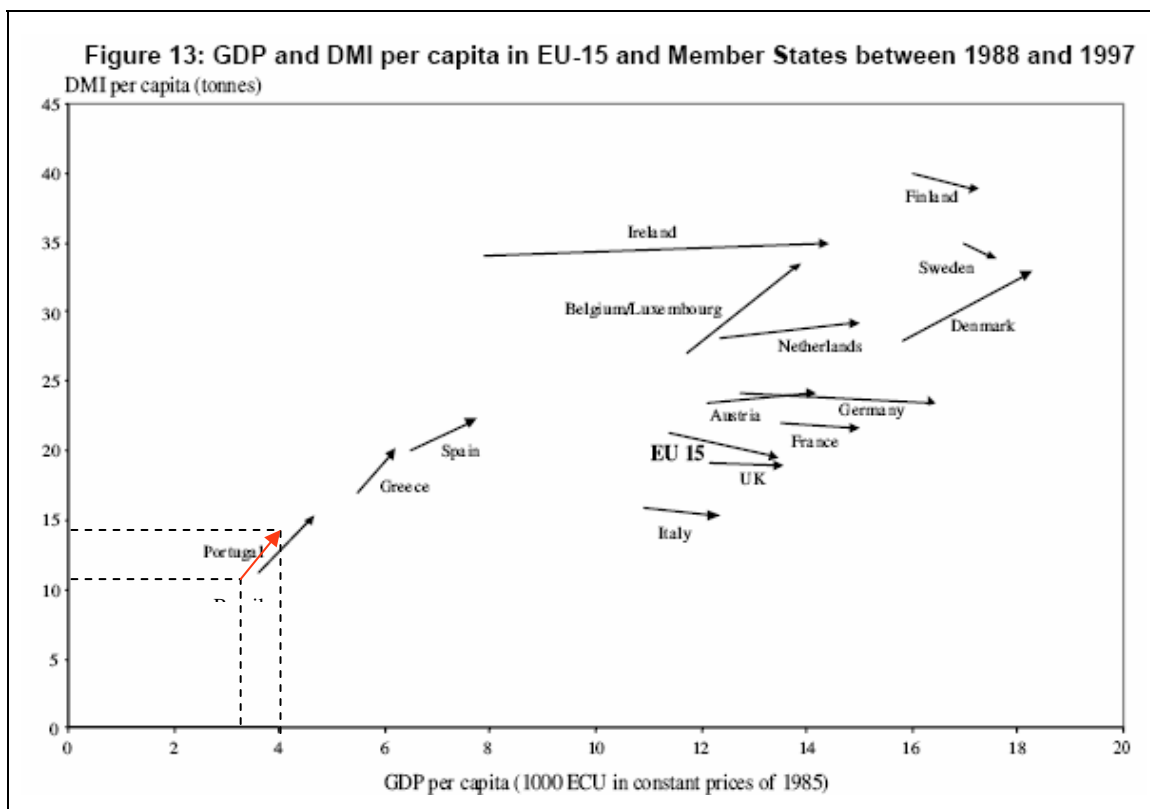


Figura 4-13 Variação do PIB e EMD, ambos por habitante, para o Brasil (1997–2005) e demais países para o período de 1988 a 1997  
 Fonte: DEFRA, 2002; dados do autor.

Um importante indicador divulgado pela OCDE é o coeficiente de desacoplamento (OECD, 2002), que mede a variação relativa da entrada de material direto – EMD junto com a variação do crescimento da economia medido em PIB (Fig. 4-14).

$$\text{Coeficiente de desacoplamento} = 1 - (X_{\text{amb}} / Y_{\text{ref}})_{t+1} / (X_{\text{amb}} / Y_{\text{ref}})_t$$

Quanto mais próximo de 1 o coeficiente de desacoplamento estiver, maior será a variação da taxa de crescimento da economia (\$) e a taxa de entrada de recursos naturais (t). A análise do período de 1980 a 1997 mostrou que dos 15 países da União Europeia (EU-15) somente a Grécia apresentou taxa negativa (-0,13), indicando que o crescimento da sua



economia está acontecendo com uma taxa maior de entrada de material direto – EMD com relação a sua taxa de crescimento econômico (PIB). A Dinamarca apresentou a mesma variação na taxa de crescimento e de consumo, portanto coeficiente zero. A Irlanda foi o país que teve o fator mais alto, indicando uma alta taxa de crescimento econômico e uma pequena variação no seu consumo de material direto (EMD). Todavia, este país possui um dos mais altos consumos por habitante da Europa (35 t/hab), o que indica, portanto, que o fator de desacoplamento é um indicador relativo: é importante para medir a variação do desempenho da economia em relação à variação de impacto ambiental num determinado período de tempo, mas apresenta a desvantagem de não indicar valores absolutos de consumo.

O Brasil obteve um fator de desacoplamento de -0,19 para o período de 1997 a 2005, ratificando a materialização da sua economia.

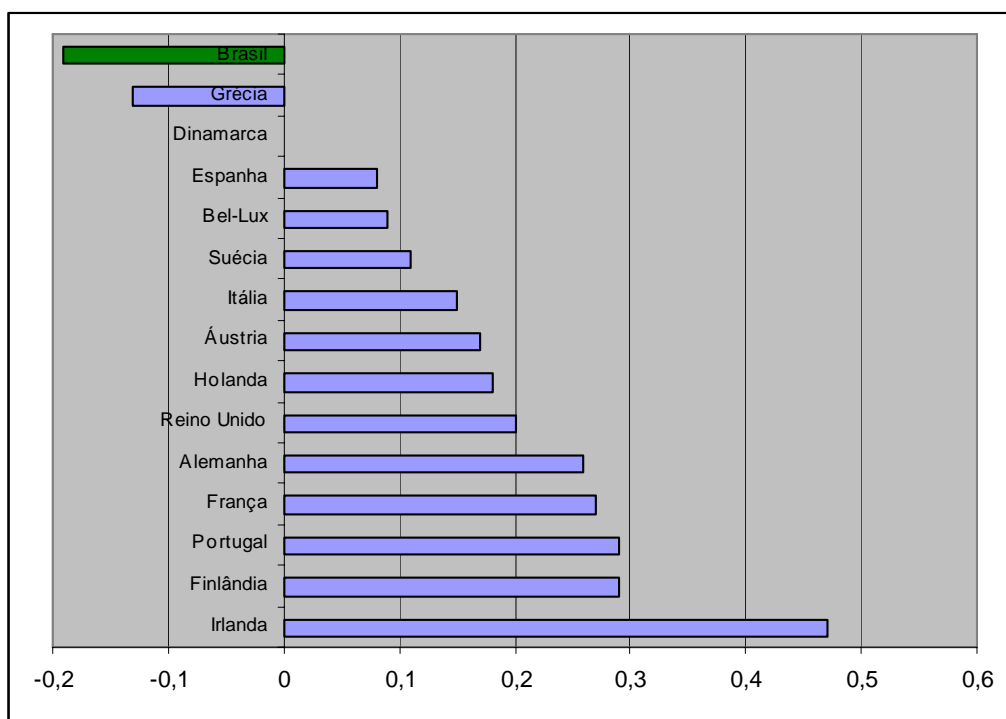


Figura 4-14 Coeficiente de desacoplamento do Brasil comparado com outros países da EU  
 Fonte: OECD, 2002; dados do autor.

#### 4.7 CONCLUSÕES PRELIMINARES

O Brasil apresentou aumento no consumo de recursos naturais em todos os indicadores de entrada e consumo para o período de 1997 a 2005: entrada de material direto (43%), demanda material total (31%), consumo material direto (37%) e consumo de material total (29%). A balança comercial foi o que mais cresceu (153%). Apesar de a eficiência mássica ter melhorado em 7%, o indicador de produtividade (\$/t) foi negativo em

9%. Em outras palavras, comparando o desempenho de 1997 com o de 2005, a economia brasileira está perdendo 10 US\$ em cada tonelada de produto exportado (127 para 117 US\$/t). Essa variação tem sido influenciada principalmente pelos preços das *commodities* agrícolas soja, açúcar e café, que estão 39, 1 e 13% menores quando comparados aos preços de referências (1997). Os preços das *commodities* variam no mercado internacional não apenas em razão das previsões de oferta e demanda (como aconteceu num passado recente), mas também por causa das oscilações do mercado financeiro. As *commodities* se transformaram em bens ativos para os especuladores do mercado de futuro, estando assim expostas ao mercado financeiro globalizado.

O minério de ferro é o grande responsável pelo salto em massa da balança comercial no período estudado, pois dos 110 milhões de t de aumento, 74 foram desse produto. A soja contribuiu com 10 e o petróleo, com 8 milhões.

O indicador de produtividade do Brasil em 2005 (kg DMT / 100 US\$ PIB) é 1,8 vezes menor que o dos países industrializados (OCDE), onde com 300 kg de material (DMT) consegue-se gerar 100 US\$ para o PIB nacional. No Brasil são necessários 552 kg (base 2005). Os países industrializados terão que aplicar o Fator 10 e o Brasil o Fator 18 para obterem o mesmo desempenho. Portanto urge a necessidade de se rever a atual política desenvolvimentista do governo brasileiro que se baseia na exportação de bens primários, de baixo preço no mercado internacional e determinado não pelos produtores, mas por seus consumidores.

O indicador de entrada de material direto (EMD / base 2005) do Brasil se compara às economias dos países europeus orientais (EU-14) (base 1997); mesmo assim abaixo da média, atrás de Romênia, Bulgária, Eslovênia, Turquia, República Tcheca, Letônia, Chipre, Estônia e Polônia.

Uma característica positiva que pode ser observada a partir dos indicadores é a de que o Brasil pouco depende dos recursos naturais externos, pois sua extração doméstica atende 97% da sua demanda, o que não acontece com muitos países. A Alemanha, por exemplo, tem 70% de sua demanda atendida por seus recursos internos e a Holanda, somente 30%.

Para 2020, em se mantendo esse perfil de desempenho contabilizado para o período de 1997 a 2005, estima-se o consumo nacional de entrada de material direto por habitante (20 t EMD/hab, base 2005) igual ao de um europeu ocidental (EU-15, base 1997), porém com pouca geração de riqueza, pois o PIB/hab nacional brasileiro atingiria algo em torno de 5.500 euros, o menor de toda a Europa ocidental e um dos mais baixos da Europa oriental (EU-14, base 1997).

No capítulo seguinte, será feita uma análise sobre a incerteza dos números e será discutida a desmaterialização de economias nacionais – que, de acordo com os países desenvolvidos, seria um resultado da aplicação de suas políticas econômicas e ambientais.

## **5 ANÁLISES DE INCERTEZAS: DESMISTIFICANDO A SUPOSTA DESMATERIALIZAÇÃO DA ECONOMIA ALEMÃ E JAPONESA**

O termo desmaterialização da economia é definido como sendo uma menor variação no uso do recurso natural quando se estabelece uma comparação entre esse uso e o crescimento econômico de um país, normalmente medido pelo PIB. Em alguns casos, a relação de comparação é estabelecida entre o crescimento econômico de um país e a menor geração de impactos ambientais, sejam eles emissões de gases efeito estufa, resíduos sólidos, substâncias tóxicas, entre outras (OECD, 2002). Outro termo usado para expressar o impacto ambiental causado pelas atividades econômicas e que tem o mesmo sentido da “desmaterialização” é o desacoplamento<sup>40</sup> da economia, que em outras palavras refere-se às variações da taxa da pressão ambiental em relação ao crescimento da economia. Um exemplo em nível macro é a comparação da taxa de consumo dos recursos naturais e a taxa de crescimento econômico; ou em nível setorial, a variação na taxa de emissão de dióxido de carbono equivalente.

Os termos “desmaterialização” e “desacoplamento” da economia têm sido usados com os adjetivos: forte (absoluta) e fraco (relativa) (DE BRUYN, 2000). A desmaterialização é absoluta quando a taxa de crescimento da economia (PIB) é positiva e a taxa de consumo de recursos naturais é zero ou negativa, para um mesmo período de tempo. É relativa quando a taxa de consumo de recursos naturais é positiva, porém menor do que a taxa de crescimento econômico (PIB). Ambos os termos, desmaterialização ou desacoplamento, não devem ser usados quando a taxa de impacto ambiental for maior do que a outra taxa de referência.

A escolha de um indicador de desacoplamento depende da variável a ser monitorada. A OCDE (2002) apresenta o potencial de uso de 31 indicadores, tanto em nível nacional como em níveis setoriais. Entretanto, a conceituação estabelecida pela OCDE não contempla a capacidade da autodepuração do ecossistema impactado, ou seja, mesmo que o indicador apresente uma tendência de redução do impacto ambiental causado, seja este relativo ou absoluto, outras variáveis devem ser analisadas para um melhor diagnóstico da situação. Um exemplo disso é o caso da Irlanda. Este país duplicou o seu PIB/hab nos anos

---

<sup>40</sup> Do inglês “*Decoupling*”.

90 enquanto o consumo de recursos naturais por habitante se manteve estável. No entanto, antes de se emitir um diagnóstico preciso é necessário analisar outras variáveis, pois o referido consumo nesse país era o dobro da média dos países da União Europeia.

As análises dos indicadores de desmaterialização ou desacoplamento da economia podem subsidiar a elaboração de cenários futuros, a partir de projeções da pressão ambiental causada pelo crescimento econômico dos países consumidores e produtores. Um dos 31 indicadores de desacoplamento sugeridos pela OCDE é referente à entrada de material direto – EMD na economia e à sua variação por unidade de PIB.

Análises históricas da EMD e do PIB têm sido usadas para afirmar que a economia dos países da União Europeia (EU-15) tem diminuído suas demandas por recursos naturais, chegando a uma desmaterialização da economia que varia de zero, na Dinamarca, a 47% na Irlanda (OECD, 2002), para o período de 1980 a 1997. A Grécia foi o único país a apresentar valor negativo (-13%), ou seja, consumiu mais 13% de recursos naturais para gerar uma mesma unidade de riqueza (Figura 4-14).

Adriaanse (1997) publicou em seu artigo “*Resource flows: The material basis of industrial economies*” um diagnóstico da desmaterialização relativa de quatro países, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Holanda. As referências aos bancos de dados utilizados, divulgadas pelo autor em seu trabalho, permitiram a obtenção de mais informações, o que tornou possível uma análise mais crítica da contabilização desses indicadores, apresentada a seguir. Salienta-se que trabalhos usando indicadores da AFM (EMD, DMT, CMD e CMT) comprovadamente já desmistificaram a desmaterialização para as economias do Chile, Equador, México, Peru e Espanha (GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, 2008).

A relação entre a degradação ambiental e o crescimento econômico, na forma gráfica, aproxima-se de uma função quadrática (curva do U invertido) conhecida como Curva de Kuznets<sup>41</sup> para o meio ambiente (Figura 5-1). Essa relação é uma hipótese que se baseia no pressuposto de que numa sociedade onde a renda por habitante seja maior, o cidadão demandará infraestruturas mais eficientes e um ambiente mais limpo. Para o caso específico da Espanha, país que possui uma alta renda por habitante (13.000 euros/hab.ano), era de se esperar um ponto de flexão na curva de consumo, ratificando a hipótese da curva de Kuznets.

---

<sup>41</sup> Análogo a relação “desigualdade de renda” versus “crescimento econômico”, postulado por Simon Kuznets (1955 apud ROTHMAN, 1998).

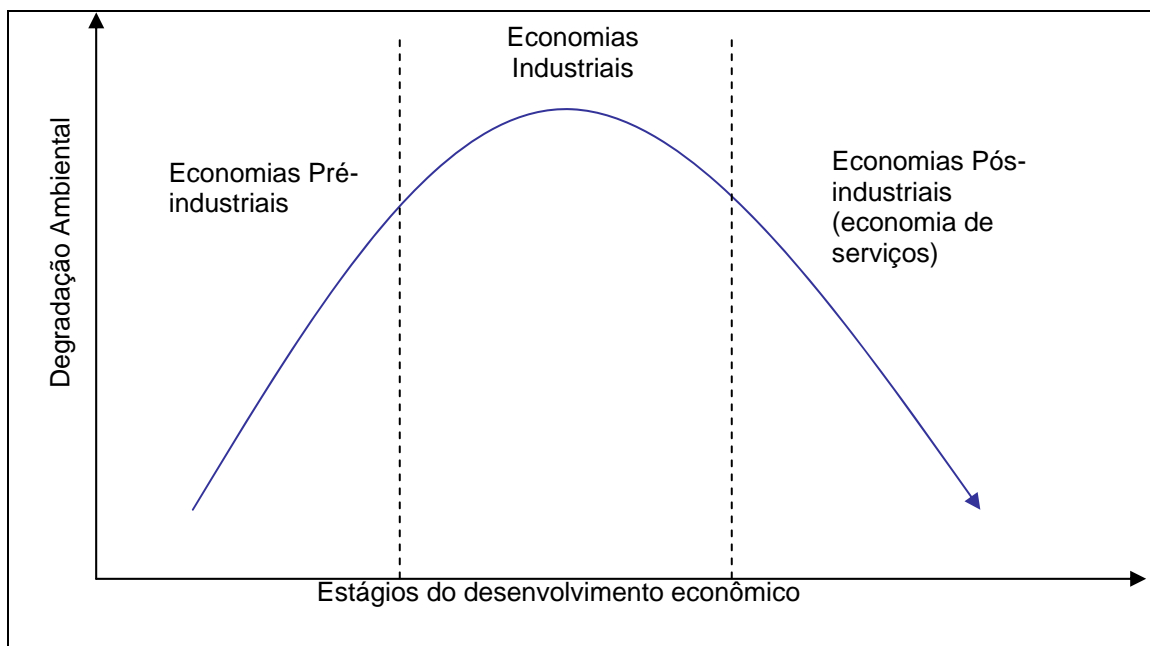


Figura 5-1 Curva de Kuznets para o meio ambiente  
 Fonte: Panayotou, 2003.

Alguns autores (JANICKE, 1989; GROSSMAN; KRUEGER<sup>42</sup>, 1991, 1995; SHAFIK; BANDYOPADHYAY<sup>43</sup>, 1992; HETTIGE; LUCAS; WHEELER, 1992; PANAYOTOU, 1993; SELDEN; SONG, 1994; PAUDEL, 2005; MAZZANTI, 2006), usando dados empíricos que comprovavam a redução principalmente de emissões (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, material particulado, com o uso de tecnologias de abatimento (tecnologias de fim de tubo), sugerem que o crescimento econômico, medido pela renda por habitante, seja o responsável por essa melhoria. No entanto, outros (PEZZEY, 1989; DE BRUYN; OPSCHOOR, 1997; AZOMAHOU, 2006; DEACON, 2006; RICHMOND; KAUFMANN, 2006) afirmam que em longo prazo e para outras variáveis, essa hipótese não se sustentaria, pois inicialmente apresentaria a curva U invertida (função quadrática) para em seguida assumir o formato de curva N (função cúbica) – Figura 5-2. Caviglia-Harris (2009) exemplifica esse caso com as emissões de CO<sub>2</sub> pelos países desenvolvidos, que aumentam com a renda média dos habitantes do país.

<sup>42</sup> Considerado o primeiro estudo de repercussão usando a curva de Kuznets para o meio ambiente, este estudo faz parte do relatório de potenciais impactos ambientais do NAFTA.

<sup>43</sup> Este estudo, que foi publicado no relatório do Banco Mundial “*World Development Report 1992*”, serviu como referência a essa hipótese.

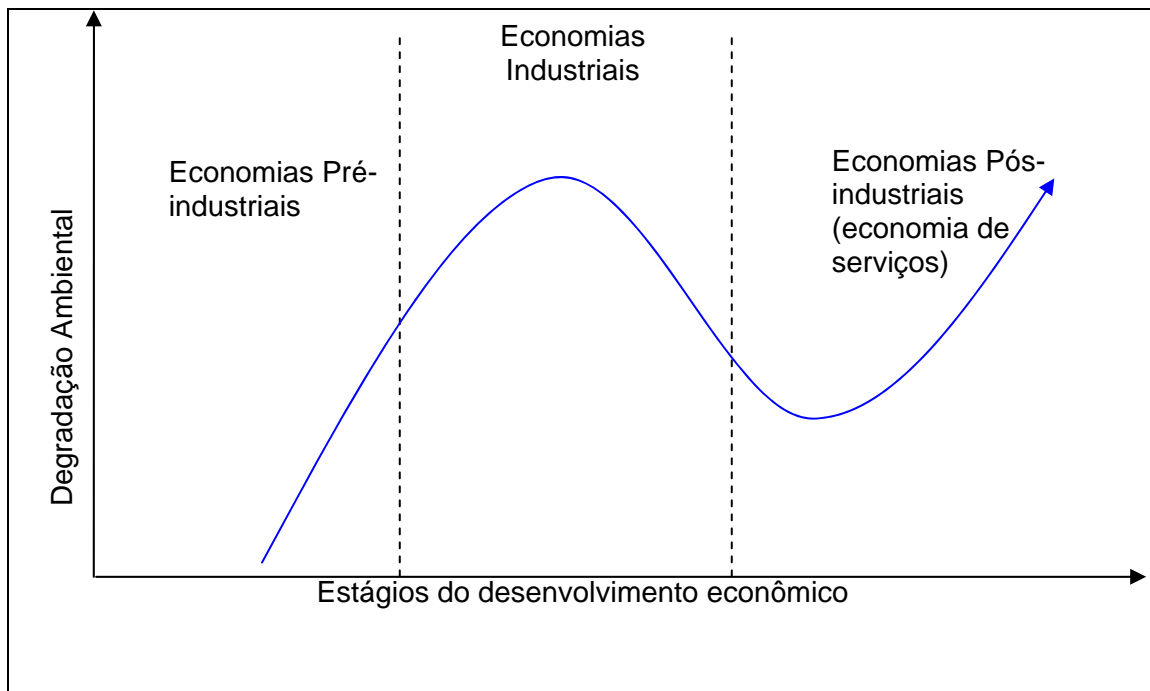


Figura 5-2 Curva N  
 Fonte: De Bruyn, 1998.

Stern (1996) argumenta que os altos níveis de renda em que as variáveis ambientais declinam não se replicam para a maioria dos países, pois a pressão ambiental mundial continua a crescer. E que essa redução no impacto causado pelos países de alta renda se dá com a transferência das indústrias poluidoras para os países de baixa renda. Isso explicaria a hipótese de a curva de Kuznets para o meio ambiente estar comprovada somente para os países que têm suas economias baseadas em serviços e nos quais o fluxo de importações representa uma parcela significativa no seu perfil de consumo. Arrow (1995) e Stern (1996) também argumentam que, se estabelecida uma relação de impacto ambiental versus renda por habitante, representada pela curva de Kuznets (U invertido), ela seria parcial e não contemplaria a transferência dos impactos ambientais das importações de produtos finais, oriundos do comércio internacional (distribuição das atividades (indústrias) poluidoras).

Bagliani (2008) ressalta ainda que políticas ambientais nacionais possam resultar em exportação da pressão ambiental como aconteceu, por exemplo, na Finlândia e em outros países europeus. Em um determinado momento, esses países adotaram políticas de proteção de suas florestas sem que houvesse uma redução simultânea do consumo de madeira. Em decorrência, a pressão sobre as florestas russas aumentou drasticamente. Caso similar ocorreu nas décadas de 80 e 90, quando ocorreu uma forte expansão das florestas japonesas, provocando altas taxas de desflorestamento na Indonésia para atender à demanda por madeira no mercado interno japonês (GIAMPIETRO, 1998). Há também o

exemplo da Espanha, onde a disponibilidade de melhorias tecnológicas no uso do material alavancou o consumo total dos recursos naturais, em vez de diminuir. Nesse caso, a melhoria na eficiência no uso material reduziu o custo e aumentou a demanda, o que foi potencializado pelo alto poder aquisitivo da população (GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, 2008).

A teoria sueca do comércio internacional, conhecida como Hecksher-Ohlin (ISTAKE, 2003), se baseia na hipótese de que, desde que haja livre comércio, os países em desenvolvimento se especializariam, de um modo intensivo, na exportação de bens relativos aos fatores produtivos mais abundantes que possuísem. Já os países desenvolvidos se especializariam em capital humano e tecnologia, transferindo, assim, o impacto ambiental para os países em desenvolvimento. Saliente-se ainda que políticas ambientais cada vez mais restritivas tendem a transferir atividades poluidoras para os países em desenvolvimento (LUCAS, 1992). Consequentemente, isso mostraria um declínio irreal do impacto ambiental ao longo do desenvolvimento econômico de uma sociedade, induzindo a hipótese de ser verdadeira a curva de Kuznets para o meio ambiente. Diante da voracidade com que a sociedade contemporânea consome os recursos naturais comprovadamente finitos, os países emergentes de hoje, quando ultrapassarem o estágio de desenvolvimento econômico industrial, não encontrarão outros países para absorverem suas externalidades ambientais. A inexistência de restrições em legislações ambientais locais também pode ser considerada um atenuante para que se estabeleça o comércio de mercadorias intensivo-poluidoras e para que haja investimentos em tais produtos.

A vasta literatura em economia ecológica mostra que enquanto o padrão de produção em países desenvolvidos tornou-se mais limpo, seu padrão de consumo continua crescente quanto ao impacto ambiental (PANAYOTOU, 2003). Um exemplo disso é a crescente geração municipal de resíduos como o resultado final do hábito de consumo do cidadão.

Realizando análises a partir do consumo de recursos naturais, Vehmas (2007) não encontrou qualquer evidência de que a redução absoluta seja uma tendência contínua no período estudado (1980 a 2000) nos países da União Europeia. Pelo contrário, sua análise ratificou que a continuidade do atual modelo econômico levará ao aumento da pressão ambiental, em vez do desacoplamento da economia versus meio ambiente, o que mostra que o crescimento econômico está mais para a raiz do problema do que para a solução.

Os indicadores derivados da AFM mostram o aumento da pressão sobre os recursos naturais globais, porém a uma taxa inferior ao desempenho do PIB. As prováveis causas são:

- Desenvolvimento tecnológico voltado para a ênfase na redução dos custos e aumento da lucratividade;

- Mudança no padrão de consumo, saindo das *commodities* intensivas em material para os serviços intensivos em trabalho;
- Mudança na divisão internacional do trabalho caracterizada pela externalização dos processos intensivos, ou seja, transferência da extração de matéria-prima e produção industrial para os países em desenvolvimento.

Fischer-Kowalsky e Amann (2001) comentam o erro induzido ao se comparar indicadores mássicos (t) e sua relação econômica com base em PIB (\$) de economias em distintos estágios de desenvolvimento econômico. As economias em estágios iniciais possuem como características ter alto volume de material movimentado (entrada/consumo) e baixo valor agregado a essa massa movimentada (*commodities*), enquanto que as economias maduras, onde o setor de comércio e serviços predomina, apresentam baixo volume de material movimentado, porém com altíssimo valor agregado (Figura 5-3).

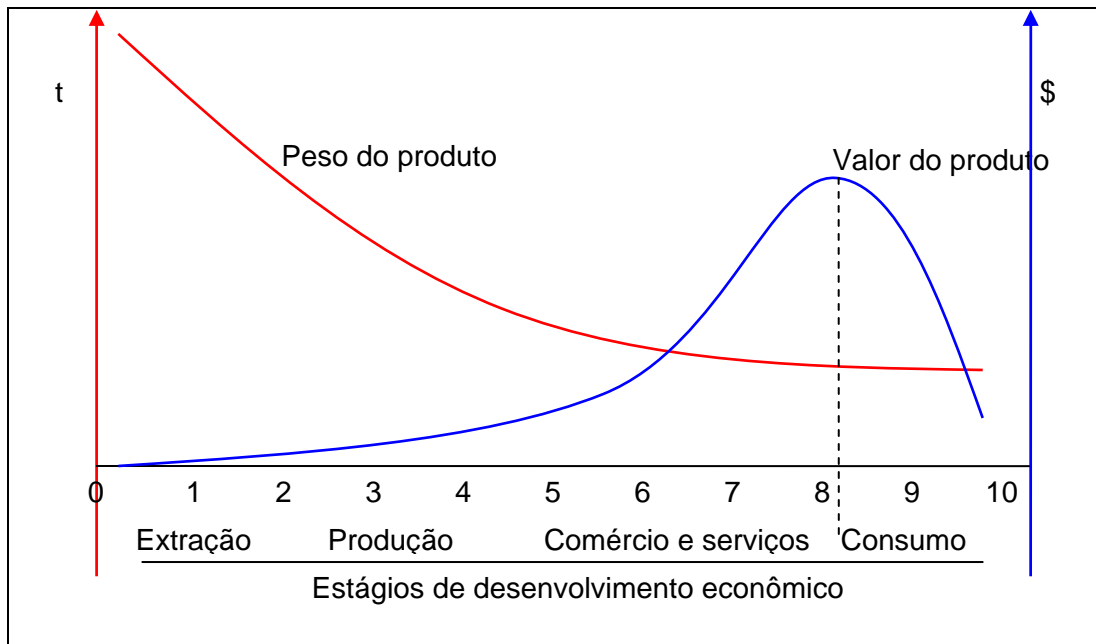


Figura 5-3 Total de material movimentado e seu valor agregado  
 Fonte: Adaptado de Fischer-Kowalsky; Amann, 2001.

### 5.1 ANÁLISE DO CONSUMO DOS RECURSOS NATURAIS PELA ALEMANHA

A Alemanha foi um dos casos escolhidos, porque, entre os países da OECD, apresenta o maior indicador de DMT/hab (86 t/hab.ano, base 1991) (ADRIANSE, 1997). O perfil dos indicadores mudou bruscamente com a unificação das Alemanhas (República Federativa com a República Democrática) ocorrida no ano de 1991 (Figura 5-4). Para o período completo (1980 a 1994), a variação do seu PIB<sup>44</sup>/hab foi de +20%. Tomando a entrada de material direto por habitante (EMD/hab) como indicador, há uma variação de

<sup>44</sup> A preços constante de 1985.



+16%; já se for usado o fluxo demanda de material total (DMT/hab), a variação é de +2% (Figura 5-4). Assim, não fica caracterizada a chamada desmaterialização absoluta da economia. Considerando a relação entre os fluxos demanda material total e entrada de material direto e o PIB (DMT/PIB e EMD/PIB), ou seja, a quantidade de recursos naturais (t) para gerar uma unidade de riqueza (DM\$<sup>45</sup>), a variação foi de -15% e -4%. Nesse caso, observa-se a desmaterialização relativa da economia.

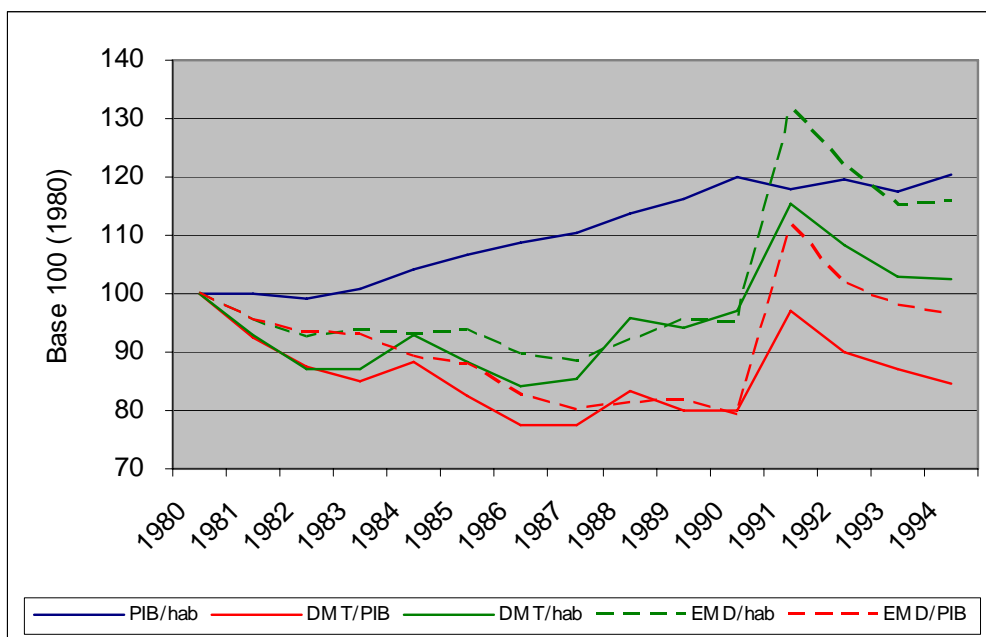


Figura 5-4 Variação dos indicadores da economia alemã  
 Fonte: Adriaanse, 1997; dados do autor.

Esses indicadores foram bastante influenciados pela situação econômica muito distinta entre as duas Alemanhas. Houve um alto investimento em infraestruturas na antiga Alemanha Oriental e o consumo de recursos naturais por habitante chegou a aumentar mais de 30% no ano da sua unificação.

Considerando apenas a análise feita até o ano de 1990, os números da antiga Alemanha Ocidental mostram uma suposta desmaterialização da sua economia em termos absolutos (t/ano), pois a demanda de material total (DMT) e entrada de material direto (EMD) apresentaram redução de -1 e -3%, respectivamente. Pesquisando as causas que poderiam ter levado à redução absoluta do consumo nesse período de tempo, identificou-se a mudança do perfil das importações. Detalhando os números e dividindo-os em subfluxos (Tabela 5.1), os bens primários importados diminuíram em 13% (33,7 milhões de t), os semimanufaturados aumentaram em torno de 10% (10,6 milhões de t) e os produtos finais em 133% (23,3 milhões de t). Isso leva a crer que para a contabilização do indicador EMD

<sup>45</sup> DM\$ = Marco alemão.

não houve alteração quantitativa nesse período, pois o que se deixou de importar de bens primários foi substituído pelo somatório dos semimanufaturados e produtos finais. Entretanto, houve ganhos ambientais no âmbito do território alemão nessa mudança de perfil, pois a economia alemã passou a atender a uma demanda muito maior com produtos finais provenientes da importação, eliminando assim necessidades energéticas e de outros insumos indispensáveis para fabricação daqueles produtos.

Tabela 5-1 Resumo das importações alemãs com fluxos ocultos dos produtos finais estimados

Subfluxos	1980	1990	1994
Bens Primários	254.624.000	220.925.000	257.632.000
Semimanufaturados	102.068.000	112.661.000	124.687.000
Produtos Finais	17.559.000	40.850.000	46.165.000
Total da Importação	374.251.000	374.436.000	428.484.000
FO <sub>IMP</sub> dos Bens Primários	1.081.046.000	905.742.000	915.668.000
FO <sub>IMP</sub> dos Semi-Manufaturados	419.329.000	627.913.000	596.399.000
FO <sub>IMP</sub> dos Produtos Finais	<i>95.944.000</i>	<i>302.810.000</i>	<i>293.684.000</i>
Total dos FO(parcial)	1.500.375.000	1.533.655.000	1.512.067.000
<i>Total dos FO (c/produtos finais)</i>	<i>1.596.310.000</i>	<i>1.836.465.000</i>	<i>1.805.751.000</i>

Fonte: Adriaanse (1997) e dados da tabela completados pelo autor (*em itálico azul*)

Quanto ao indicador de demanda material total (DMT), que leva em consideração os fluxos ocultos das importações, quantitativamente ele também não variou. No entanto, observam-se dois fatos que podem direcionar a sua contabilização: o primeiro foi a substituição na importação de bens primários por produtos finais, transferindo para o país exportador o passivo referente ao consumo energético do seu processamento. Isso foi facilmente identificado tanto pela queda na extração doméstica (ED) de 18%, quanto pela importação dos produtos não renováveis energéticos<sup>46</sup> (-14%). O segundo refere-se aos fluxos indiretos que seriam contabilizados pelo aumento da importação dos produtos finais. Todavia, esses fluxos são constituídos dos mais diferentes segmentos produtivos, o que tornaria a realização de sua estimativa algo altamente complexo, assim eles não foram contabilizados neste trabalho. Portanto, os indicadores EMD não são os mais recomendados para expressar a suposta desmaterialização da economia, uma vez que a substituição da extração doméstica (ED) ou dos bens primários importados por produtos finais pode levar a conclusões tendenciosas. É necessário também melhorar as formas de se chegar às estimativas dos fluxos ocultos de produtos finais, pois o fato de haver

<sup>46</sup> Não renováveis energéticos = carvão (lignite e *hard coal*), petróleo e gás natural.

dificuldades para se conhecer esses valores não serve como justificativa para deixar de considerá-los na contabilização da DMT.

Essa conclusão é ratificada por Bartelmus (2002) quando o autor afirma que pelo menos parte do crescimento da Alemanha parece ter sido possível pela importação de sustentabilidade, presumivelmente de países em desenvolvimento. Observação semelhante foi feita pela OECD, quando o consumo de material direto – CMD dos países que compõem a organização no período de 1980 a 2005 foi analisado: “*A tendência nos indicadores de desacoplamento pode refletir ganhos na eficiência, mas também simples troca no perfil de consumo, e, em alguns casos a substituição da extração doméstica por importação de semimanufaturados ou produtos finais.*” (OECD, 2008, p. 41).

#### 5.1.1 Estimativa de cálculo do fluxo oculto dos produtos finais importados pela Alemanha

Com base na Tabela 5-1 e na falta de dados para se calcular os fluxos ocultos dos produtos finais importados, foi feita uma estimativa considerando-se um coeficiente 50% maior do que o coeficiente<sup>47</sup> dos semimanufaturados. Depois disso, obteve-se um novo valor total do fluxo oculto da importação (Figura 5-5) e não ficou mais caracterizada a existência de desmaterialização da economia absoluta pelo indicador demanda de material total (DMT) para o período de 1980 a 1990, uma vez que houve um aumento de 4% no consumo mássico absoluto.

Quando a relação entre a demanda material total e o PIB é analisada, a indicação de que há uma desmaterialização relativa permanece, porém, quando a DMT é relacionada com a população, esta não se configura (Figura 5-5). Isso pode ratificar a necessidade de se aprofundar um método de cálculo dos fluxos ocultos dos produtos importados que considere:

- A real quantidade de matéria não movimentada e não contabilizada pelo sistema econômico, desde a extração da matéria-prima até o produto final;
- A representatividade do fluxo de importados no fluxo de demanda material total;
- A representatividade do subfluxo de produtos finais no fluxo de importados total;
- A confiabilidade dos coeficientes usados para estimar os fluxos ocultos, dentro de cada categoria de bens primários, semimanufaturados e produtos finais.

O mais recomendável é utilizar o indicador de demanda de material total – DMT, pois este inclui não só o que é diretamente contabilizado pela economia nacional (EMD e IMP) como o fluxo indireto associado à extração doméstica –  $FI_{ED}$  e o fluxos ocultos das

---

<sup>47</sup> Coeficiente = (fluxo oculto X) / (fluxo X movimentado pela economia).

importações –  $FO_{EXP}$ . Assim, a substituição de recursos naturais extraídos dentro do país (ED) por produtos finais importados não mascararia os fluxos indiretos, que não deixariam de ser contabilizados.

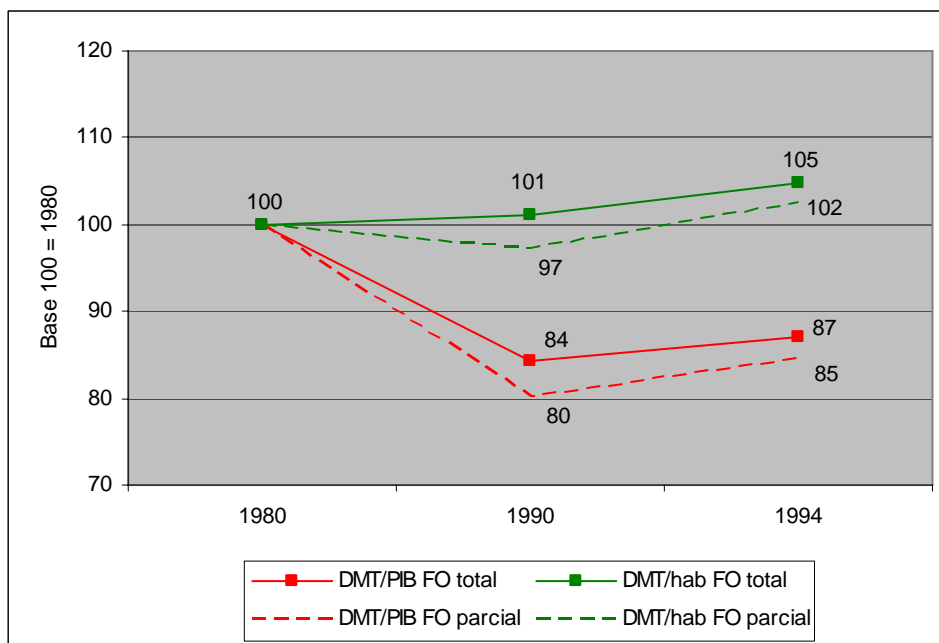


Figura 5-5 Indicadores da economia alemã  
Fonte: Adriaanse, 1997; dados do autor.

## 5.2 ANÁLISE DO CONSUMO DOS RECURSOS NATURAIS PELO JAPÃO

Entre os quatro países pesquisados<sup>48</sup> por Adriaanse (1997), o Japão apresentou o menor valor de DMT/hab (46 t/hab, base 1991) e EMD/hab (17 t/hab). A população variou somente 7% ao longo dos 14 anos da pesquisa (0,5% ao ano), enquanto que a DMT e a EMD variaram 27 e 5%, respectivamente. Analisando os indicadores entrada de material direta (EMD) e demanda de material total (DMT) com relação à população (hab), da forma convencional, houve desmaterialização relativa para o primeiro (-1%) e não houve para o segundo (+19%) (Figura 5-6). A variação do seu PIB<sup>49</sup>/hab para o período analisado (1980 a 1994) foi de +48%. Com relação ao PIB, ambos indicadores caracterizam a desmaterialização relativa, pois os quocientes dessa relação variaram -20 e -33%, para a demanda material total e entrada de material direta, respectivamente. A relação DMT/PIB passou de 121 para 97 kg de matéria para cada mil yen de riqueza gerados.

<sup>48</sup> Os outros dois, além da Alemanha e Japão, foram Estados Unidos e Holanda, ambos com um DMT de 84 t/hab, base 1991.

<sup>49</sup> A preço constante de 1985.

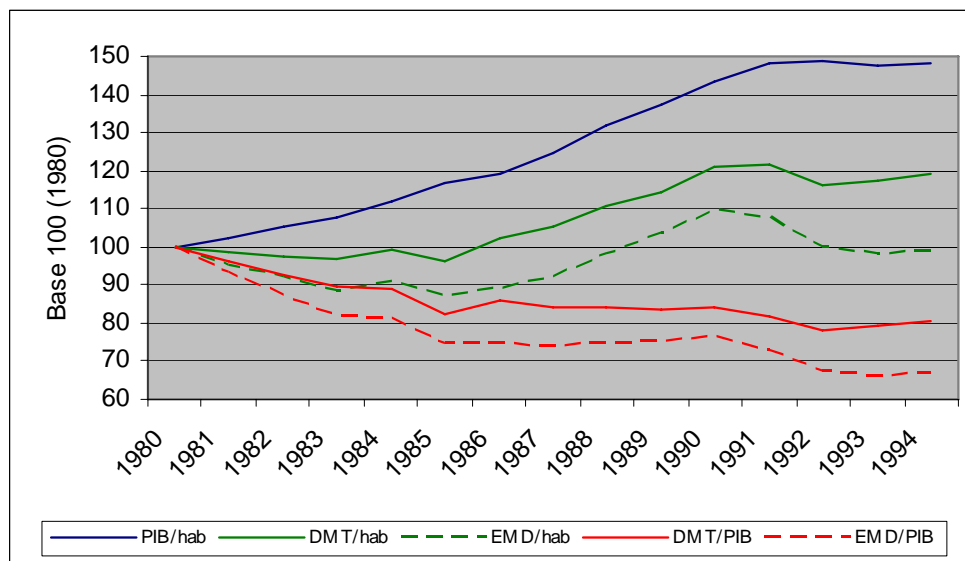


Figura 5-6 Variação dos indicadores da economia japonesa  
 Fonte: Adriaanse, 1997; dados do autor.

Ao se observar a variação dos indicadores com e sem os fluxos indiretos (DMT e EMD), percebe-se que os seus valores têm se distanciado ao longo do período em estudo, isso pode ser resultado de uma melhor utilização dos recursos naturais, ou então de ter havido uma mudança do perfil de importação, com a substituição de bens primários por produtos finais. Detalhando-se os valores das importações e dividindo-os em subfluxos (Tabela 5-2), os bens primários importados aumentaram em 12% (71 milhões de t), os semimanufaturados e os produtos finais tiveram um acréscimo de 81 e 83% (22 e cinco milhões de t), respectivamente, repetindo a mudança do perfil das mercadorias importadas, a exemplo da Alemanha. Quando se analisa a contabilização do indicador EMD/hab, nota-se que ele caiu na primeira metade do período em estudo, recuperou-se no início da segunda metade e, daí em diante, veio a estabilizar-se em um mesmo patamar: 5,5 t/hab. O aumento em torno de 100 milhões de t nas importações veio atender ao crescimento da população, ao aumento de 10% no consumo por habitante e a uma pequena queda na extração doméstica (0,2%).

Nessa mudança de perfil das mercadorias importadas, foi possível observar que das 100 milhões de t a mais, importadas no período, aproximadamente 80% referem-se ao aumento da importação de *commodities* energéticas (carvão e gás natural, com 50 e 30 milhões de t, respectivamente) para suprir a redução dos energéticos produzidos internamente, que foi de 11 milhões de t (-48%). Houve também uma queda na quantidade de petróleo importada, cuja redução foi de 14 milhões de t (-6%).

Tabela 5-2 Resumo das importações japonesas com fluxos diretos e ocultos (t)

Subfluxos	1980	1994	Variação (t)	Var. %
Bens Primários	570.000.000	641.000.000	71.000.000	12%
Semimanufaturados	27.000.000	49.000.000	22.000.000	81%
Produtos Finais	6.000.000	11.000.000	5.000.000	83%
Total da Importação	603.000.000	701.000.000	98.000.000	16%
FO <sub>IMP</sub> dos Bens Primários	1.645.000.000	2.466.000.000	821.000.000	50%
<i>FO<sub>IMP</sub> dos Bens Primários</i>	<i>2.451.000.000</i>	<i>2.628.000.000</i>		
FO <sub>IMP</sub> dos Semimanufaturados	<i>111.000</i>	<i>274.000.000</i>		
FO <sub>IMP</sub> dos Produtos Finais	<i>37.000</i>	<i>92.000.000</i>		
Total dos FO (parcial)	1.645.000.000	2.466.000.000		
<i>Total dos FO (c/produtos finais)</i>	<i>2.599.000.000</i>	<i>2.995.000.000</i>		

Fonte: Adriaanse (1997) e dados da tabela completados pelo autor (*em itálico azul*).

A estimativa dos recursos naturais consumidos pelo Japão utilizou o mesmo coeficiente dos bens primários e semimanufaturados usados pela Alemanha. Para os produtos finais, considerou-se 50% a mais do coeficiente dos semimanufaturados. Observa-se que nos concentrados minerais houve uma expressiva redução de 24 milhões de t (16% do total), sendo o minério de ferro e a bauxita (18 e 4 milhões de t, respectivamente) os mais significativos. Em termos relativos, os minérios de manganês e níquel tiveram uma redução de 67 e 25%. Assim como a Alemanha, o Japão também passou a substituir os bens primários por semimanufaturados (+81%) e produtos finais (+83%) (Tab. 5.2), para atender às demandas por recursos naturais da sua sociedade. Consequentemente, as necessidades energéticas e de outros insumos indispensáveis para a fabricação daqueles produtos diminuíram. Isso, conforme já foi comentado anteriormente, não altera os indicadores EMD e DMT na mesma proporção.

A Figura 5-7 apresenta as variações nas importações dos principais bens primários não renováveis e os semimanufaturados relativos aos mesmos. Pode-se identificar um aumento de praticamente 300% na importação do ferro semimanufaturado, enquanto que na forma de minério a sua importação teve uma queda de 13%. Os derivados do alumínio subiram 170%, já a bauxita caiu 67%. O cobre teve um perfil diferenciado, pois tanto o seu minério quanto os semimanufaturados desse metal tiveram um aumento de 33 e 67%, respectivamente.

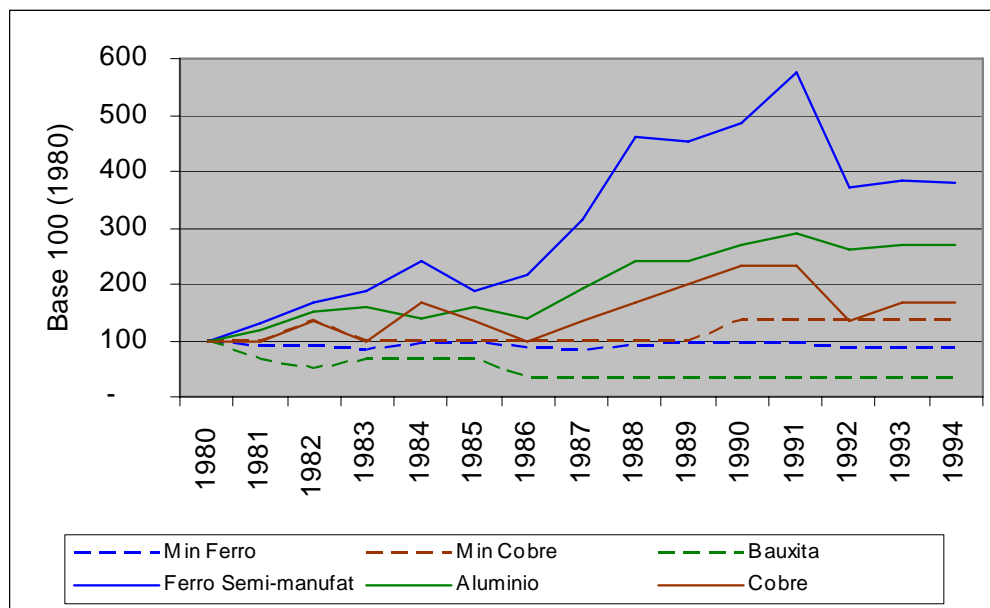


Figura 5-7 Variação das importações minerais, base 100 (1980)  
 Fonte: dados do autor, adaptados de Adriaanse (1997).

Quanto ao indicador DMT/hab, que leva em consideração os fluxos ocultos das importações, aumentou 19% no período estudado, passando de 38 para 45 t/hab.

Em geral, o setor da construção civil é o que mais consome recursos naturais (19,5 t/hab, equivalente a 45% de tudo que é consumido ao ano). Entretanto, o setor que teve maior aumento relativo no período foi o energético (68%), passando de 7,4 a 12,5 t/hab. A mesma observação feita na análise da contabilização do indicador DMT da Alemanha merece ser repetida: é necessário avaliar com maior cuidado a substituição de produtos importados classificados como bens primários por produtos semimanufaturados e por produtos finais para que seus respectivos fluxos ocultos sejam contabilizados.

O fato de haver complexidade para se estimar os fluxos ocultos de equipamentos que possuem componentes de diversos segmentos produtivos não justifica a não contabilização desses fluxos para o cálculo do indicador. Os dados apresentados por Adriaanse (1997) para o caso do Japão, somente contabilizam de forma satisfatória<sup>50</sup> os fluxos ocultos das importações dos bens primários. Os semimanufaturados (49 milhões de t) tiveram seus fluxos ocultos subestimados por um fator médio de 4 t/t, praticamente o mesmo coeficiente dos bens primários. Além disso, não foram computados os fluxos ocultos do gás natural importado e os fluxos indiretos da extração interna de minerais (apesar da sua pequena quantidade). Os produtos finais (11 milhões de t), assim como no caso da Alemanha,

<sup>50</sup> Apesar de o artigo citar textualmente os bancos de dados de onde foram obtidos os coeficientes para a estimativa dos fluxos ocultos das exportações, não foi possível se chegar os mesmos números usados naquele trabalho. Conforme a própria OCDE reconhece, os dados relativos aos fluxos ocultos estão subestimados carecendo de novas estimativas devido à sua imprecisão (OECD, 2002, p.48).

aparentemente não tiveram seus fluxos ocultos contabilizados. Muito provavelmente, o baixo indicador de DMT do Japão (46 t/hab) é devido à falha na contabilização dos fluxos ocultos associados às importações daquele país.

### 5.2.1 Estimativa de cálculo do fluxo oculto dos produtos finais importados pelo Japão

Conforme a Tabela 5-2, preenchida com a estimativa dos fluxos ocultos dos produtos finais importados a partir de coeficientes utilizados para a Alemanha, foi estimado um novo valor para a demanda material total (DMT). Observa-se que o valor final, que poderia caracterizar a desmaterialização da economia para o período em estudo, não variou, ou seja, o indicador DMT/PIB continua apontando apenas uma desmaterialização relativa. Já o DMT/hab não conduz a essa mesma constatação.

Quanto à atualização dos indicadores DMT, tanto relacionado com o PIB quanto o por habitante, eles teriam uma pequena variação a mais (de 9 a 21%) (Figura 5-8). O valor máximo de demanda material total de 46 t/hab referenciado por Adriaanse (1997) foi recalculado em 50 (base 1991).

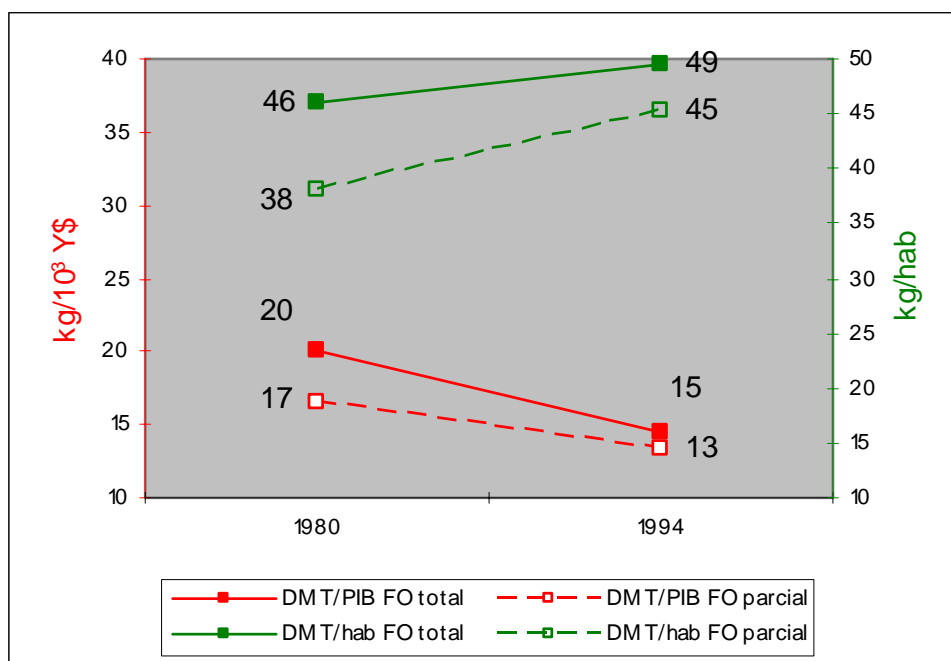


Figura 5-8 Indicadores de demanda material direta (DMT), com e sem fluxo oculto de produtos finais importados  
 Fonte: Adriaanse, 1997; dados do autor.

O Programa EuroStat, que regularmente publica indicadores de entrada e consumo de material para todos os Estados membros (OECD, 2002 e 2008), deixou de contabilizar os indicador de demanda de material total – DMT e o de acúmulo de material na sociedade –



AMS. O primeiro, devido à imprecisão dos cálculos para os fluxos indiretos e ocultos no indicador; o segundo, por causa da imprecisão dos coeficientes usados.

#### 5.2.2 Analisando a tendência de consumo dos metais nos países industrializados: o caso do alumínio no Japão

O alumínio é o metal não ferroso mais usado. É de fácil reciclagem, pois não perde suas características independentemente do número de vezes do seu reaproveitamento. A sua produção e seu consumo aumentaram mais de 20 vezes desde os anos 50. Além disso, de 1980 a 2005, a extração do minério da bauxita (minério que contém o alumínio) e a produção da alumina aumentaram 78% (2,4% ao ano). Nesse mesmo período, o consumo de alumínio aumentou 107% (3,1% ao ano), sendo que, em 2005, a reciclagem correspondeu a 20% da produção do alumínio primário (OECD, 2008).

O Japão não produz bauxita e, em 1980, importava 6 milhões de t, que eram transformadas em cerca de 1,1 milhões de t de alumínio para atender a uma demanda interna de aproximadamente 1,9 milhões de t (Figura 5-9). A importação da bauxita era principalmente da América do Norte (Canadá e Estados Unidos), a de alumínio já processado, dos Estados Unidos e em menor quantidade do Brasil, Ásia e Oceania. O processo de obtenção do alumínio é extremamente energo-intensivo, demandando muita energia. Numa sociedade como a do Japão, que importa grande parte das suas necessidades energéticas, era de se esperar que essa atividade de processamento fosse delegada a outros países. Na década seguinte (1990), apesar de o consumo de alumínio ter aumentado para 2,5 milhões de t, o país praticamente deixou de importar a bauxita, optando por comprar o alumínio já processado ou seus produtos finais. Os Estados Unidos continuavam sendo o principal fornecedor atendendo a cerca de 30% da demanda japonesa, seguidos de perto pelo Brasil e pela Austrália. No ano 2000, a produção japonesa de alumínio primário praticamente parou, e, para atender a todas as suas necessidades (estabilizadas em 2,2 milhões de t), o país passou a importar o alumínio manufaturado e seus produtos finais principalmente da Austrália, Europa e do Brasil. Essa mudança do perfil das importações, de bens primários para produtos processados e finais, ao mesmo tempo em que diminui as necessidades energéticas da economia local, mascara uma diminuição na demanda por recursos naturais, se utilizados os indicadores parciais de contabilização mássica como o EMD. Indiretamente isso reduz também a importação de bens energéticos (carvão, gás natural e petróleo) e de insumo para o processo de manufatura, assim como diminui os fluxos residuais (sólidos, líquidos e gasosos) para o meio ambiente.

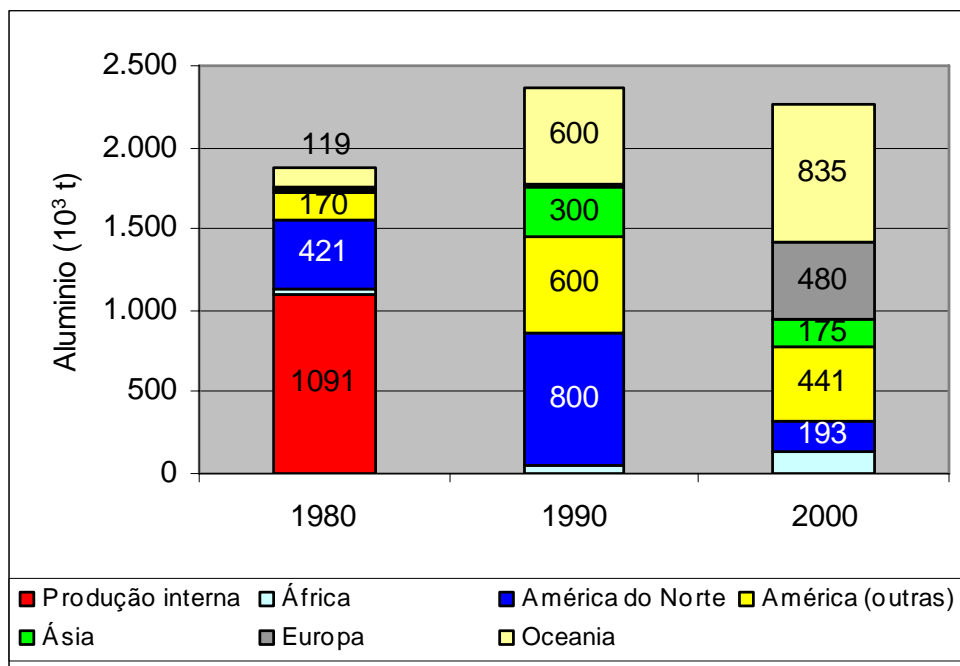


Figura 5-9 Produção e importação do alumínio demandada pelo Japão  
Fonte: OECD, 2008.

Não só os indicadores de entrada de material direto – EMD como os indicadores de saída doméstica processada – SDP, usados nos programas governamentais, são beneficiados por essas mudanças.

A transferência desses impactos para os países exportadores, conforme é mostrado na Figura 5-10, não é devidamente computada. Tais impactos, na forma de emissões de gases efeito estufa, por exemplo, não são valorados e considerados no preço final do produto comercializado. Existe o preço no mercado internacional da *commodity* alumínio e há um deflator que estabelece o preço da bauxita. A depender da concentração e da presença de outras impurezas que o minério apresente, seu preço varia um pouco mais ou um pouco menos, o que não chega a alterar muito o preço final. O preço do alumínio, ao longo do período 1985-2000<sup>51</sup>, apresentou uma variação em dólar de 46% – contra uma inflação média para os países industrializados de 46% também – mesmo com um aumento no consumo de 3,1% ao ano. E quanto menores forem os custos de produção (mão de obra, insumos e principalmente energia) maior será o retorno do investimento, razão pela qual, para os países em desenvolvimento, esse tipo de negócio tornou-se mais atrativo.

Uma análise mais abrangente, do ponto de vista ambiental, mostraria que para cada tonelada de alumina processada (refinada) para se obter o alumínio primário, gera-se, em

<sup>51</sup> A análise foi feita para este período porque o banco de dados do preço da *commodity* alumínio está restrito a esses 15 anos.

média, 12,7 t de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub> eq). O deslocamento dessa produção não só levaria a uma redistribuição das emissões de CO<sub>2</sub> eq., como a um possível aumento do CO<sub>2</sub> global, uma vez que os processos produtivos em países em desenvolvimento mostram uma maior intensidade de consumo energético, maior volume de material usado e maior geração de emissões, devido à tecnologia do processo, a determinados procedimentos, requerimentos legais menos restritos etc.

Para a emissão de gás carbônico equivalente, a análise é semelhante ao processo de produção e importação do alumínio demandado, o que pode ser visto na Figura 5-10. Em 1980, a emissão de CO<sub>2</sub> equivalente para a demanda do alumínio no Japão era em torno de 3 milhões de t; 65% eram provenientes da etapa do processamento da bauxita e alumina em terras japonesas, ficando o restante nos países exportadores. Em 1990, foi feita uma estimativa de 4 milhões de t de CO<sub>2</sub> equivalentes sendo emitidos; 50% foram contabilizados como sendo devidos às exportações da Austrália; 30%, dos Estados Unidos e o restante 20%, dos fornecedores asiáticos. Em 2000, com a mudança consolidada do perfil das importações (menos bens primários e mais produtos finais), a Austrália contabilizou 60% do CO<sub>2</sub> equivalente, seguida pelos países asiáticos e europeus exportadores de produtos finais.

O Brasil, apesar de ser um exportador de alumínio para o Japão, não aparece como um grande emissor pelo fato de a matriz energética nacional estar baseada em energia hidroelétrica, diferentemente dos países envolvidos nessa análise.

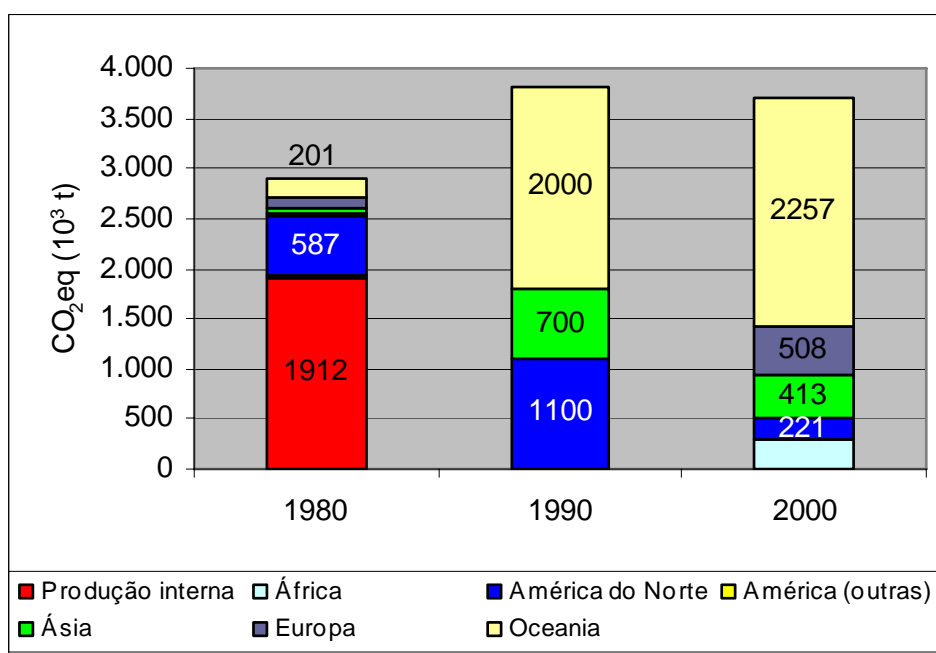


Figura 5-10 Emissão de CO<sub>2</sub>eq gerada pela produção do alumínio  
Fonte: OECD, 2008.

### 5.3 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Não há desmaterialização ou desacoplamento da economia com relação à demanda pelos recursos naturais se não houver uma mudança brusca de hábitos de consumo. De nada adianta, por exemplo, a adoção de políticas de proteção a florestas nos países industrializados se o consumo de madeira permanecer o mesmo. Isso aumentaria a pressão sobre as florestas de países onde o controle do desmatamento é incipiente. Florestas russas e de países do sudeste asiáticos foram devastadas com a implantação de políticas florestais restritivas na Finlândia e Japão, respectivamente. Como tais mudanças levam muito tempo (muitas gerações), foram criados indicadores mássicos relacionando essa demanda com indicadores econômicos no intuito de atenuar os protestos de ambientalistas exigindo ações governamentais. Enquanto isso, outras economias têm que fornecer o suporte material para os países industrializados, mas o fato de se ter indicadores mássicos divulgados já indica a possibilidade de se discutir o problema de forma mais transparente. Alguns países, a exemplo dos Estados Unidos na questão das mudanças climáticas, não se comprometem com metas de redução absoluta. Outros, sem saber exatamente o que essas metas representam, estabelecem valores relativos (intensidade no consumo) em prazos distintos, de forma setorial ou não.

O procedimento de contabilização das metas estabelecidas pelo Japão é tendencioso, uma vez que só considera os fluxos diretos. O Japão é um dos países que ratificaram sua preocupação com a gestão dos recursos naturais (ME, 2000, 2003) e elaboraram entre outros planos oficiais o “Plano Fundamental para o Estabelecimento de uma Sociedade baseada no Ciclo Material para 2010”, com objetivos e metas específicos, entre eles:

- O aumento em 40% na produtividade nos recursos, definidos como a relação do produto interno bruto com a entrada de material direto (PIB/EMD);
- A taxa de reciclagem de 40% em determinados segmentos produtivos;
- A redução em 50% nos fluxos de saída de material processado (SMP), tendo como base o ano de 2000 (OECD, 2008).

Seriam metas bastante arrojadas para um período relativamente curto (uma década), uma vez que o seu alcance envolve mudanças não só no padrão de produção mas também no padrão de consumo de toda uma sociedade. Entretanto, os indicadores utilizados (EMD/PIB e SMP) não contemplam a existência de transferência dos impactos ambientais para os países exportadores. Por exemplo, a substituição na importação de bens primários por produtos acabados diminuiria tanto a entrada de material direto (EMD) quanto a saída de material processado (SMP) no Japão, sem que ocorresse uma mudança no padrão de consumo japonês. Além disso, essa substituição também reduziria a necessidade energética

industrial, diminuindo a demanda por importação de combustíveis fósseis (petróleo e carvão mineral). Isso permitiria que tais metas fossem atingidas em curto espaço de tempo. O mais recomendado seria o indicador demanda material total (DMT), desde que seus fluxos ocultos, principalmente os dos produtos finais importados, sejam devidamente contabilizados.

Para a Alemanha, faz-se a mesma crítica. O país elaborou a “Política Nacional de Estratégia em Desenvolvimento Sustentável” (FEDERAL GOVERNMENT OF GERMANY, 2004) e determinou como sendo um de seus objetivos a melhoria na produtividade material e energética, com meta de fator 2 (redução em 50%) para o período de 1994 a 2010<sup>52</sup>. Porém incorreu no mesmo equívoco do Japão quando optou pelo mesmo indicador (EMD/PIB), restringindo o seu uso apenas para os recursos não renováveis. A Alemanha possui um atenuante para o atendimento das metas que é um sistema de coleta e reciclagem nacional reconhecido como um dos mais eficientes, o que contribui para diminuir a demanda por bens primários, principalmente minerais.

O uso do termo “produtividade material” pelos países industrializados tem um significado de “produtividade econômica” dos recursos naturais, pois se refere ao quanto de material foi necessário para se gerar riquezas para a economia local. Essa produtividade não aumenta apenas com redução do consumo material, mas também com uma maior valorização do produto comercializado. Nas economias baseadas em serviços, essa relação tende a ser mais favorável do que nas economias baseadas na extração de recursos naturais e exportação de *commodities*, como é o caso dos países emergentes.

A melhoria da “produtividade material” não está levando à sustentabilidade ambiental e sim à sustentabilidade econômica, pois a agregação de valor funcional à mercadoria está induzindo um consumo massificado cada vez maior. O consumo de recursos naturais aliado ao descarte de rejeitos para o meio ambiente (o pós-uso) estão sendo maior do que a capacidade de regeneração da natureza por meio de processos naturais. Isso pode ser constatado a partir da observação do seguinte fato: os indicadores de pegada ecológica do Japão e Alemanha são 4,9 e 4,3 gha/hab (EWING, 2008b) e sua biocapacidade é de 0,6 e 1,9, respectivamente. Portanto, a relação entre os indicadores é deficitária em 4,3 e 2,4 gha/hab.

---

<sup>52</sup>Outros países europeus adotaram planos semelhantes. A Polônia divulgou as metas da “Política Nacional de Meio Ambiente”, que contemplam a redução do consumo intensivo (PIB/setor) de água, material e geração de resíduos industrial em 50% para 2010, com base o ano de 1990. A Itália foi a mais arrojada ao usar o indicador mássico mais abrangente. Apresentou em 2002 o “Plano de Ação Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável”, em que estabelece a meta de redução da demanda de material total – DMT em 25, 75 e 90% para os anos de 2010, 2030 e 2050, respectivamente. Isso equivale à aplicação do fator 10 para a sociedade italiana em 2050.

A diminuição da “intensidade do consumo” apregoada pelos países industrializados não expressa uma redução do consumo absoluto, e sim do relativo, por unidade monetária, ou por habitante. É uma forma de se esquivar do problema e postergar para as futuras gerações a adoção de medidas necessárias que certamente vão levar à perda do conforto e da “qualidade de vida” adquiridos à custa dos recursos naturais. Isso vai de encontro à hipótese da curva ambiental de Kuznets, que preconiza que, a partir de um determinado valor, à medida que o PIB por habitante aumenta, o impacto ambiental dessa sociedade diminui.

A hipótese da curva de Kuznets para o meio ambiente tem aplicação restrita. É adequada às emissões de poluentes atmosféricos como o SO<sub>2</sub>, material particulado e NO<sub>x</sub>, principalmente para os casos de impacto local, em que a tecnologia de abatimento ou os custos relacionados à sua aplicação são de investimentos medianos. Outro caso em que a sua utilização é adequada é quando são usados indicadores de consumo de recursos naturais (mássicos) que não contemplam as transferências de impactos ambientais aos países exportadores (fluxos ocultos das importações). Já os casos que contrariam essa hipótese são os de impacto global, de longo período de análise e de alto custo de solução. Os exemplos encontrados na literatura foram: as emissões de CO<sub>2</sub>, a geração de resíduos municipais e o consumo de recursos naturais total.

Diferentemente das antigas civilizações, cuja base da economia era agrícola ou a caça e pesca, que sofreram os efeitos catastróficos da escassez quando as necessidades humanas ultrapassaram a capacidade de autodepuração ambiental, as sociedades industriais contemporâneas se mantêm em crescente desenvolvimento econômico. Isso tem sido proporcionado pelo barateamento dos recursos naturais e pelas inovações tecnológicas. Hoje a tecnologia é muito ágil para aumentar a oferta de produtos agrícolas e para transportar mercadorias de forma eficiente e com baixo custo, assim como para ampliar a qualidade e o tempo de expectativa de vida da pessoas. Segundo Machado (1999), isso tem deslumbrado a humanidade dando a falsa sensação de viver no melhor dos mundos (MACHADO, 1999).

Com a globalização da economia, o fluxo de comércio exterior dos países industrializados tem aumentado percentualmente mais do que a produção, consequência da escassez de recursos não renováveis e da falta de terras adequadas para a agricultura ou pecuária – consideradas atividades produtivas de alto custo ambiental e cada vez menos praticadas pelas economias baseadas em serviços.

## CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises discutidas nesta tese levam a diversas conclusões, que serão divididas em grupos para o melhor entendimento.

### a) Utilidade da ferramenta Análise de Fluxo de Massa – AFM e seus indicadores.

A AFM contabiliza e permite monitorar a demanda sobre os recursos naturais, quer seja pela sua exploração quer seja pelo destino dados aos seus resíduos. Através de seus indicadores, pode-se avaliar a eficiência dos planos de ação desenvolvidos para dar a sustentabilidade ambiental da economia de um país. Esta ferramenta distingue ainda os macrofluxos de recursos naturais renováveis e não renováveis, importados e exportados, assim como a exploração dos seus recursos naturais na forma de minerais, biomassa e combustíveis fósseis.

Uma análise histórica dos indicadores derivados da Análise de Fluxo de Massa (Demanda de Material Total – DMT, Entrada de Material Direto – EMD, Consumo de Material Direto – CMD, Saída Doméstica Processada – SDP) mostra a tendência no consumo dos recursos naturais em termos absolutos (t/ano), cujos fluxos materiais associados às atividades econômicas ajudam a prever potenciais impactos ambientais não perceptíveis, assim como o aumento da dependência de recursos naturais do exterior. Em termos relativos, ou seja, comparados com índices da população ou econômicos, esses indicadores também são recomendados para mostrar a diminuição da intensidade no consumo. Outra informação importante para os legisladores e fomentadores de políticas públicas é o acúmulo de materiais numa sociedade e sua posterior geração de resíduos, pois os aterros municipais e industriais podem se transformar em potenciais fontes de matéria-prima (minas urbanas), principalmente de metais.

A AFM não identifica qualitativamente os impactos causados pelo aumento de extração, uso, consumo e destinação dos recursos naturais, havendo necessidade de outras ferramentas como a Análise de Ciclo de Vida, por exemplo.

A contabilização dos fluxos utilizados pelo sistema econômico (Extração Doméstica, Importação, Exportação etc), de uma maneira geral, é devidamente realizada, pois já há um procedimento específico de controle pelas diversas instituições governamentais. No entanto, os fluxos indiretos e ocultos são imprecisos devido à inexistência de dados estatísticos e às dificuldades para se estimá-los. Os fluxos ocultos associados às importações são mais imprecisos ainda, pois dependem da tecnologia empregada na sua manufatura, de procedimentos operacionais, reaproveitamento de correntes secundárias, entre outros parâmetros, que podem não ser do conhecimento de quem importa os produtos finais.

Os fluxos indiretos de processos minero-metalúrgicos são normalmente contabilizados a maior, pois seus subprodutos não são abatidos dos resíduos gerados no processo de produção. Os exemplos são os reaproveitamentos de enxofre, níquel, ouro e prata no processo de refino do cobre; a escória granulada na siderurgia do aço, entre outros. Por outro lado, a dupla contabilização é um entrave no procedimento de elaboração do inventário nacional, principalmente para os metais. Para o caso da prata, por exemplo, somente 33% do que produzido é oriundo de extração específica, os outros 67% utilizam subprodutos da produção do ouro, cobre, níquel, portanto já tiveram seus fluxos indiretos considerados.

O índice de reciclagem praticado para os metais também deve ser considerado na contabilização de uma AFM. O Japão utiliza um deflator de 40% para os metais refinados importados, quando dos cálculos dos seus fluxos ocultos. A AFM mostrou-se capaz de trazer ao conhecimento do consumidor, as particularidades e características das demandas antrópicas. Seus indicadores derivados permitem segregar as demandas por classes de materiais, setores da economia, possibilitando a avaliação e o monitoramento não somente da intensidade (relativa), mas também do consumo absoluto material das economias.

Os indicadores derivados da AFM que se dispõem a contabilizar a demanda de material total – DMT e o acúmulo de material na sociedade – AMS são pouco utilizados, pois incluem os fluxos indiretos associados à extração doméstica, exportações e importações, cujas imprecisões levam a descrédito.

#### b) Pressão nos recursos naturais no Brasil

Os indicadores da AFM para os anos de 1997, 2001 e 2005 confirmam que o modelo econômico praticado pelo Brasil perpetua a sua condição de fornecedor de recursos naturais às economias baseadas em serviços. Além disso, nossas fontes de recursos não renováveis e terras aráveis disponíveis já não atendem aos padrões de consumo praticados por essas economias.

Enquanto os maiores consumos são de 84 t/hab.ano – dos Estados Unidos e também da Holanda (ADRIAANSE,1997) –, os números do Brasil mostram uma demanda de material total – DMT por habitante de 48 t/ano (base ano 2005). Mas a previsão é de que o Brasil atinja em 2020 a demanda de material direto (EMD) por habitante de 20 t, ou seja, um valor igual ao do europeu ocidental em 1997, porém a riqueza gerada no Brasil (5.500 euros/hab) será a menor, comparando-se com todos os países da União Europeia. Essa previsão está baseada na projeção, para os próximos anos, do mesmo desempenho do Brasil no período de 1997 a 2005.



Dos produtos minerais extraídos da natureza em 2005, sobressaem a areia (363 milhões de t), o ferro e alumínio (ambos contidos) (229 e 11 milhões, respectivamente), sendo que esses dois últimos são os mais importantes minerais da pauta de exportação, representando em termos mássicos 91% e 4%, respectivamente.

Dos produtos da biomassa, destacam-se a forragem (886 milhões de t), que alimenta o segundo maior rebanho bovino do mundo, fazendo o Brasil ocupar atualmente a primeira colocação como país exportador; a madeira em toras (59 milhões de t) destinada à produção de papel e celulose, sendo o Brasil um dos maiores exportadores; a cana-de-açúcar (422 milhões de t), cuja metade da produção é destinada à produção de etanol automotivo e a outra metade, à produção de açúcar; e finalmente a soja (51 milhões de t), cuja produção ocupa o segundo lugar (atrás somente dos Estados Unidos) e a exportação, o primeiro.

Dos combustíveis fósseis, apesar da pequena representatividade mássica, o petróleo atingiu a produção de 83 milhões de t (representando pouco mais de 3% da extração doméstica), atendendo a 83% da demanda nacional e ratificando a sua importância estratégica diante do cenário mundial de energia.

A extração doméstica em 2005 atendeu a 97% da demanda nacional de recursos naturais, mostrando a independência do país, em termos mássicos, de fluxos de importação.

O processo de globalização vigente na economia mundial leva a uma maior integração das diversas regiões produtoras fazendo com que as taxas de crescimento dos comércios de produtos manufaturados cresçam mais rápido do que as taxas dos bens primários. Isso tem favorecido uma transferência de externalidades (impactos ambientais) dos países industrializados para os exportadores, uma vez que as tecnologias de produção disponíveis nestes últimos são mais demandantes de material e energia e mais geradoras de emissões. Essa mudança de perfil das mercadorias exportadas tende a aumentar a dependência que os países em desenvolvimento têm dos países industrializados. Os países em desenvolvimento se favorecem da exportação de bens primários, majoritários em termos de massa. Estes, porém, têm seus preços definidos pelas bolsas de mercadorias (*commodities*). Exceção feita a alguns metais, os preços reais das *commodities*, principalmente as de biomassa, estiveram em geral declinantes no período de 1970 a 2000 (IMF, 2007). Desse modo, esses países acabam se especializando em determinadas *commodities*, reduzindo sua lucratividade nas exportações e aumentando seus impactos ambientais.

O Brasil ratifica a característica de fornecedor de recursos naturais, ao apresentar uma variação na balança comercial de +157% no período 1997 a 2005 (de 112 milhões de t para

287 milhões de t). Os países industrializados apresentam maior geração de riqueza pelas atividades de prestação de serviços do que pela manufatura de produtos, uma vez que para muitos deles a escassez de recursos naturais e de energia trouxe o desenvolvimento tecnológico, o que levou a uma mudança de perfil econômico. Isso, porém, não implicou necessariamente um menor consumo, pois hoje as suas necessidades são atendidas pelos países emergentes, principalmente Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e Singapura (BRIICS).

O fluxo de exportação é o que mais tem crescido em termos relativos, chegando a uma média de 11% ao ano, no período em estudo (1997 a 2005).

Quanto ao padrão de consumo, é difícil supor que o próprio sistema faça sua própria autocorreção e o mercado regule as questões ambientais, porque o sistema econômico só avalia a eficiência de suas dinâmicas em base monetária. O que é aumento de riqueza para o sistema econômico é impacto negativo para o meio ambiente, uma vez aquele depende deste para obter os recursos necessários para promover o bem-estar social e econômico da população. Desse modo, é necessário padronizar uma outra forma de medir a eficiência dos processos econômicos que norteiam a nossa sociedade. É preciso internalizar os fluxos físicos, não só os que são valorados pela economia, mas também os que ficam à deriva do processo, os fluxos indiretos da extração doméstica e da exportação e os ocultos dos importados.

Os números da pesquisa também mostraram que o Brasil segue um caminho predeterminado pelo modelo econômico (intensivo em exportação de bens primários) e tem o seu desempenho semelhante ao de Portugal, em termos de variação no consumo de recursos naturais por aumento de PIB por habitante, com uma diferença temporal de 10 anos. O fato de a sua matriz de recurso natural (entrada de material direto – EMD) ser de 63% de matéria renovável (biomassa) dá-lhe uma condição singular para o desenvolvimento de sua economia de forma sustentável. No entanto, isso por si só não lhe garante que as formas de uso e acesso a esses recursos sejam sustentáveis ao longo do tempo, pois a variável erosividade do solo, contabilizada neste trabalho no fluxo indireto da extração doméstica, tem um impacto muito alto (21%) na contabilização da demanda material total – DMT. Isso sem citar o intangível valor da biodiversidade e os serviços ambientais promovido pelos ecossistemas naturais.

#### c) Desmistificando a desmaterialização da economia

Nenhum país cujas estatísticas foram divulgadas por Adriaanse (1997) apresentou redução absoluta no consumo de recursos naturais. Ao se considerar o consumo em relação

à taxa de crescimento do PIB (desmaterialização relativa e fator de desacoplamento) ou em relação ao crescimento populacional (consumo por habitante), pode-se concluir que há uma desaceleração relativa no consumo.

Os países industrializados, aparentemente mais preocupados com a questão ambiental, podem liderar programas intergovernamentais que visem uma melhor gestão dos recursos naturais, a exemplo do Painel Internacional de Gestão dos Recursos Naturais. No entanto, os indicadores mássicos mais utilizados (EMD, CMD, DMT) são comparados não em termos absolutos, mas em termos relativos com um indicador econômico (PIB). Isso favorece a tendência de continuidade de alto padrão de consumo dos países do Norte, sustentado pelos recursos naturais dos países do Sul. Inclusive os países da EU-14, que aderiram numa segunda etapa à União Europeia, apresentam uma tendência de aumento das suas importações, ratificando o aumento do comércio internacional numa economia globalizada como a atual.

Os indicadores relativos usados como metas nos programas governamentais ou favorecem o mascaramento da substituição de bens primário da extração doméstica por importação de produtos manufaturados, ou omitem fluxos ocultos relativos a importações realizadas. Isso não só produz um falso resultado ao mostrar uma tendência que não corresponde à realidade, o que fica patente quando se analisam os dados históricos do consumo dos recursos naturais, como também ratifica, erroneamente, a hipótese da curva de Kuznets para a questão ambiental. Outros estudos contradizem essa hipótese, mostrando que a análise de outras variáveis (consumo de recursos naturais, emissões de CO<sub>2</sub>, geração de resíduos sólidos municipais) e a dificuldade de se determinar as consequências mais globais de lançamento de poluentes em longo prazo não permitem essa ratificação.

Observou-se que muitos países industrializados apresentaram um processo de desmaterialização relativa (DMT/PIB ou EMD/PIB) e também uma crescente substituição de material da extração doméstica (ED) por mercadorias importadas, principalmente por combustíveis fósseis e minérios metálicos. Ao mesmo tempo, houve um aumento das exportações nas atividades do setor primário (mineração, agricultura e produtos florestais) nos países do Sul, confirmando a transferência dos impactos ambientais ligados às atividades extrativas como, por exemplo, alto consumo de matéria e energia, uso da terra e emissões de resíduos perigosos.

O Brasil tampouco comprova a desvinculação da sua economia com o meio ambiente, mesmo relacionando o consumo de recursos naturais com indicadores econômicos (PIB) ou por habitante. Enquanto o PIB teve um índice em 2005 de 120 (Base 100 = 1997) e o

crescimento da população de 112, os DMT, CMT, CMD, EMD apresentaram indicadores de 130, 127, 137 e 143, respectivamente. Portanto houve uma maior variação nesses indicadores de consumo do que no indicador econômico e populacional. O indicador que mais variou nesse período foi o da balança comercial (BC), atingindo o índice de 257, uma consequência da manutenção de uma política econômica baseada em exportações de bens primários. Além disso, o indicador produtividade atingiu em 2005 um índice menor (-8%) do que em 1997, ou seja, em 1997 gerava-se 127 US\$ para cada t (DMT) extraída de recursos naturais, em 2005 esse valor caiu para 117.

#### d) Considerações finais

O mercado internacional dos bens primários, controlados na forma de *commodities*, é um exemplo da prevalência do capital financeiro sobre os recursos naturais. Com exceção das *commodities* dos metais, que permanecem em alta por um período mais longo do que o habitual, de uma forma geral todas as outras apresentaram queda de preços nas últimas décadas. As que estiveram em baixa e que mais impactaram diretamente as exportações brasileiras foram: soja, café, açúcar, carne bovina e de frango. Enquanto o Brasil não desenvolver seu parque tecnológico para agregar valor a seus produtos e exportar produto final, ficará à mercê do mercado financeiro internacional, que dita o preço das *commodities* e tem nos países emergentes seus *hinterlands*, áreas distantes usadas para suprir suas necessidades de recursos naturais e manutenção dos seus altos padrões de consumo.

Cientificamente não é possível identificar qual dos impactos ambientais inerentes ao uso dos recursos naturais é o mais importante, assim como não é possível saber qual terá um efeito mais significativo em médio ou longo prazo. A priorização de políticas governamentais vai requerer uma decisão de cunho político devido às variáveis sociais e econômicas envolvidas.

A transferência dos impactos ambientais devido ao uso dos recursos naturais externos torna-se uma crescente preocupação mundial, materializada no Plano Europeu de Estratégia Temática no Uso Sustentável dos Recursos Naturais (CEC, 2002 e 2005). Fruto dessa discussão e sob a iniciativa da Comissão Europeia, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA e de organizações não governamentais – ONG, foi criado o Painel de Gerenciamento dos Recursos Naturais, em novembro de 2007. Esse painel tem o objetivo de reunir informações sobre o uso de recursos renováveis e não renováveis e seus impactos referentes à sustentabilidade; de prover uma abordagem científica sobre os impactos ambientais e instrumentos da política ambiental referente ao uso eficiente dos recursos naturais e de dar suporte às mudanças institucionais, aprendizado social e conhecimento internacional. Após diversos encontros de trabalho e de divulgação, foram

formados quatro grupos de trabalho: biocombustíveis, desacoplamento da economia, priorização de produtos e materiais e fluxo global dos metais. O primeiro relatório (biocombustíveis), publicado em setembro de 2009 (BRINGEZU, 2009), aponta o Brasil como um potencial fornecedor de matéria-prima renovável para atender a demanda mundial, uma vez que é estimado em 60 milhões de hectares o potencial de terras aráveis para produzir este combustível alternativo. Isso implicaria dobrar a área atual destinada à agricultura. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2006 apud BRINGUEZU, 2009) essa área daria para atender somente a 10% das necessidades energéticas do setor de transporte em 2030.

Acrescentando outra variável a esse cenário, existe a expectativa da mega produção de petróleo da camada do pré-sal nas próximas décadas. Portanto é necessário se pensar numa política pública voltada para a gestão dos recursos naturais de forma integrada, participativa e ambientalmente aceita pela sociedade. Bringezu (2002) comenta os fluxos alvos e estratégias para um melhor gerenciamento dos recursos naturais, entre os quais: instrumentos econômicos para valorar os recursos não renováveis e políticas públicas de incentivo para a sociedade (Apêndice C).

Os países subdesenvolvidos e os emergentes têm como referência o modo de produção e o estilo de vida dos países industrializados, que tendem a manter o modelo atual de metabolismo econômico e social como se fosse possível expandi-lo para o resto do mundo sem consequências trágicas para a sobrevivência da humanidade. Assim, ainda que novas formas de análise e novos paradigmas tenham surgido em decorrência dos estudos ambientais, a disseminação de novos valores capazes de modificar a relação sociedade-ambiente não acontecerá em prazos curtos.

## REFERÊNCIAS

- ADAMI, P. F. et al. Produção de forrageiras de espécies perenes de verão em sistema silvipastoril. In: Reunião do grupo técnico em forrageiras do cone sul – grupo campos, 2006, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa, 2006. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento\\_166\\_PDFs/2/2-03.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_166_PDFs/2/2-03.pdf)>. Acesso em: 14/10/2008.
- ADRIAANSE, A. et al. **Resource flows**: The material basis of industrial economies. Washington D.C: World Resources Institute, 1997.
- ALLENBY, B., Culture and industrial ecology. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v.3, n.2, 1999.
- ANFAVEA. **Anuário 2008**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario2008/capitulo2b.pdf>>. Acesso em: em: 14/10/2008.
- ANTIKAINEN, Riina. **Substance flow analysis in Finland – Four case studies on N and P flows**. Helsinki: Finnish Environment Institute, 2007.
- ARARIPE, E. Estado de São Paulo reduz área de queima de palha de cana. **Cetesb**, São Paulo, 10.Mar.2008. Notícias. Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2008/03/10\\_protocolo.htm](http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2008/03/10_protocolo.htm)>. Acesso em: 14/10/2008.
- ARROW, K. et al. Economic growth, carrying capacity and the environment. **Science**, n. 268, p. 520 – 521, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2007**. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/pdf/6\\_RSI.pdf](http://www.abrelpe.org.br/pdf/6_RSI.pdf)>. Acesso em: 14/10/2008.
- AYRES, R. U. et al. **A historical reconstruction of major pollutant levels in the Hudson – Raritan Basin: 1880 – 1980**. Pittsburgh: Variflex Corporation, 1985.
- AYRES, Robert U. & KNEESE, Allen. Environmental Pollution. In: U. S. Congress, **Joint Economic Committee**: Federal programs from the Development of Human Resources, Washington, v.2, 1968.
- AYRES, Robert U.; KNEESE, Allen. Production, Consumption and Externalities. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 59, n. 3, p. 282 – 297, 1969.
- AYRES, R.U.; SIMONIS, U.E., **Industrial Metabolism**: Restructuring for Sustainable Development. Tokyo: United Nations University Press, 1994.
- AZOMAHOU, H. et al. Economic development and CO<sub>2</sub> emission: A nonparametric panel approach. **Journal of public economics**, v. 90, n. 6-7, p.1347 – 1363, 2006.
- BACCINI, P.; BRUNNER, P.H. **Metabolism of the Anthroposphere**. New York: Springer, 1991.
- BAGLIANI, M. et al. A consumption-based approach to environmental Kuznets curves using the ecological footprint indicators. **Ecological economics**, Amsterdam, v. 65, p.650 – 661, 2008.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – BACEN. **Sistema de contas nacionais 2004 – 2005**. Brasília, 2006. Disponível em <<http://www.bacen.gov.br>>. Acesso em: 14/06/2008.

BARTELMUS, P. **Dematerialization and Capital Maintenance**: Two sides of the Sustainability Coin. Wuppertal Papers n. 120, 2002.

BASQUE. **Total Material Requirement of the Basque country**. Sociedade Pública de Gestión Ambiental – IHOBE. Environment framework programme serie, n. 7, 2002.

BERTRAM, M. et al. The contemporary European copper cycle: waste management subsystem. **Ecologic Economics**, Amsterdam, 42, p.43-57, 2002.

BLEIWAS, Donald I. **Stocks and flows of Lead – Based wheel weights in the United States**. U.S. Geologic Surveys. Open-file report 2006 - 111. 2006.

BOCCHINI, Bruno. Exportação de carne de frango bate recorde histórico em 2005. **Câmara de Comércio Brasileira no Japão**. São Paulo. [s.d] Disponível em: <[http://www.ccbj.jp/index.php?option=com\\_content&task=view&id=156&Itemid=42](http://www.ccbj.jp/index.php?option=com_content&task=view&id=156&Itemid=42)>. Acesso em: 14/10/2009.

BOGUCKA, Renata; BRUNNER, Paul H. **Evaluation of plastic flows and their management in Austria and Poland**: Challenges and opportunities. Part I. Vienna: Technological University of Vienna, 2007a.

\_\_\_\_\_. **Evaluation of plastic flows and their management in Austria and Poland**: Challenges and opportunities. Part II. Vienna: Technological University of Vienna, 2007b.

BOSSEL, Hartmunt. **Indicators for Sustainable Development**: Theory, Methods, Applications. A report to Balaton Group. International Institute for Sustainable Development. Winnipeg, 1999.

BOULDING, Kennedth. The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: BOULDING, K. et al. **Environmental Quality in a Growing Economy**. Baltimore: John Hopkins University, 1996. p. 3 – 14.

BRINGEZU, S. **Towards Sustainable Resource Management in the European Union**. Wuppertal papers n. 121. Wuppertal, 2002.

\_\_\_\_\_. **Materializing Policies for Sustainable Use and Economy-wide Management of resources**: Biophysical Perspectives, Socio-Economic Options and a Dual Approach for the European Union. Wuppertal papers n. 160. Wuppertal, 2006.

\_\_\_\_\_. **Towards sustainable production and use of resources**: Assessing Biofuels. United Nations Environment Programme. Wuppertal, 2009.

\_\_\_\_\_. From quality to quantity: material flow analysis. In: BRINGZEU S, FISCHER-KOWALSKI M, KLEIJN R, PALM V (Ed.) **Proceedings of the ConAccount Workshop**, January 21–23, 1997, Wuppertal Special 4, Wuppertal, Germany. Wuppertal Institut, p. 43–57, 1997.

BRINGEZU S.; MORIGUCHI Y. Material flow analysis. In: AYRES RU, AYRES LW (Ed.) **Handbook of industrial ecology**. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. **Practical handbook of material flow analysis**. Boca Raton: CRC, 2004.

BURSTROM, F. et al. Material Flow Accounting and Information for Environmental Policies in the city of Stockholm. In: CONACCOUNT CONFERENCE: Analysis for action: support for policy toward sustainability by material flow accounting, 1997, Wuppertal. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

CANELLAS, S. et al. Material flow accounting of Spain. **International Journal of Global Environmental Issues**. v. 4, n. 4, p. 229 – 241. 2004.

CANILHA, L. et al. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar in natura, extraído com etanol ou ciclohexano/etanol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 47., 2007, Natal. **Anais...** Disponível em <<http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/11/11-570-713.htm>>. Acesso em: 14/06/2009

CAVIGLIA-HARRIS, J. L. et al. Taking the “U” out of Kuznets: A comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation. **Ecological economics**, Amsterdam, v. 68, p.1149 – 1159, 2009.

CHEN, X.; QIAO, L. A preliminary material input analysis of China. **Population and environment**, v. 23, n. 1, p. 117 – 126, 2001.

CHERTOW, Marian R. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. **Annual Review Energy Environment**, n.25, p. 313-337, 2000.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES – CEC. **Economy-Wide Material Flow Accounts and Derived Indicators: A methodological guide**. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities, 2001.

\_\_\_\_\_. **Economy-Wide material flow Accounting: A compilation guide**. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities. Cidade, 2007.

\_\_\_\_\_. Towards a Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. **COM 2003 572 final**. Brussels, 2003.

\_\_\_\_\_. Towards a Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. **COM 2005 670 final**. Brussels, 2005.

CRIAÇÃO. **Revista Rural**. Reportagem: Aos caprinos e ovinos – Forrageiras. São Paulo, dez.2001. Disponível em: < [http://www.revistarural.com.br/Edicoes/2001/ Artigos/rev48\\_criacao.htm](http://www.revistarural.com.br/Edicoes/2001/ Artigos/rev48_criacao.htm)>. Acesso em: 14/10/2008.

DAHLBO, Helena; ASSMUTH, Timo W. Analysis of lead fluxes in municipal solid waste systems for identification of waste prevention and recycling potential. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em: <<http://www.conaccount.net> >. Acesso em: 14/10/2006.

DALE, N. Environmental impacts of significant natural resource trade flows into the EU. In: UNEP INTERNATIONAL WORKSHOP ON RESOURCE EFFICIENCY AND THE ENVIRONMENT: Identifying key resource flows, 2007, Tokyo. **Anais...** Tokyo: UNEP, 2007. Disponível em: <<http://www.unep.fr/pc/sustain/>>. Acesso em: 14/03/2008.



DAVIS, J. et al. Time dependent material flow analysis of iron and steel in the UK. Part 2. Scrap generation and recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 51, p. 118 – 140, 2007.

DAXBECK, H. et al. The Anthropogenic Metabolism of the City of Vienna. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and national Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

DEACON, R. T.; NORMAN, C. S. Does the environmental Kuznets curve describe how individual countries behave? **Land economics**, v. 82, n.2, p. 291 – 315, 2006.

DE BRUYN, S. M.; OPSCHOOR, J. B. Developments in the throughput – income relationship: Theoretical and empirical observations. **Ecological economics**, Amsterdam, v. 20, p. 255-268, 1997.

DE BRUYN, S. M. et al. Economic growth and emissions: Reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets curves. **Ecological economics**, Amsterdam, v.25, p.161-175, 1998.

DE BRUYN, S. M. **Economic growth and the environment**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

DE MARCO, O. et al. Material Flow Analysis of the Italian Economy. **Journal of Industrial Ecology**. New Heaven, v. 4, n. 2, p. 55 – 70. 2001.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS – DEFRA. **Resource use and efficiency of the UK economy**, 2002. Disponível em: <<http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/des/waste/research/index.htm>>. Acesso em: 14/07/2004.

DIAZ, M. C. V; AMIN, M. M. Estimativa do valor ambiental da exaustão dos recursos minerais do estado do Pará. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v.2, n. 3, jul/dez. 2006.

EHRENFELD, John. Industrial ecology: a framework for product and design. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1-2, p. 87-95, 1997.

EISENMENGER, N. et al. Análisis del metabolismo energético y de materiales de Brasil, Chile y Venezuela. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Barcelona, v. 6, n.0, p. 17 – 39. 2007.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Emission factor documentation for AP-42 section 1.8 Bagasse Combustion in Sugar Mills**. Carolina do Norte, 1993.

\_\_\_\_\_. **Report on revisions to 5<sup>th</sup> edition AP-42 Section 1.10 Residential Wood Stoves**. Carolina do Norte, 1996.

EWING B. et al. **Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2008**. Oakland: Global Footprint Network, 2008a.

EWING B. et al. **The Ecological Footprint Atlas 2008**. Oakland: Global Footprint Network, 2008b.

FARAH, A. Z. et al. **Frequently Asked Questions: The Marrakech Process**. UNEP, 2009.

FEDERAL GOVERNMENT OF GERMANY. **Germany changes in a sustainable way.** Consultation Paper for the Progress Report 2004 of the National Sustainable Development Strategy. Berlin, 2004. Disponível em: <[http://www.iisd.org/pdf/2004/measure\\_nat\\_strategies\\_sd.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2004/measure_nat_strategies_sd.pdf)>. Acesso em: 14/03/2010.

FENABRAVE. **Anuário da distribuição de veículos automotivos no Brasil.** 2008. Disponível em: <[www.fenabreve.org.br](http://www.fenabreve.org.br)>. Acesso em: 14/10/2008.

FISCHER-KOWALSKY, M.; AMANN, C. Beyond IPAT and Kuznets curves: Globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism. **Population and environment**, v.23, n.1, p.7 – 47, 2001.

FISCHER-KOWALSKY, M. Society's Metabolism – Origins and development of the Material Flow Paradigm. In.: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>> . Acesso em: 14/10/2006.

FLUGSRUD, Ketil et al. A balance of biotic carbon in products in Norway. In.: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

FOXON, T. J.; LEACH, M. The Reference Sustainability System – A network model for Material Flow Accounting. In.: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em: <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

INTERNATIONAL MONETARY FUND – IMF. **World Economic Outlook database 2007.** Disponível em: <<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2007/01/data/index.aspx>>. Acesso em: 14/07/2008.

GARNER, Andy; KEOLEIAN, Gregory A. **Industrial Ecology:** An introduction. Ann Arbor: University of Michigan, 1995. Disponível em: <<http://www.umich.edu/~nppcpub>>. Acesso em: 14/07/2007.

GIAMPIETRO, M.; MAYUMI, K. Another view of development: Ecological degradation and north-south trade. **Review of social economy**, v. 56, 1998.

GIELEN, D. J.; KRAM, T. The MARKAL Model for Environmental Accounting in Energy and Materials Systems. In.: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

GILJUN, S. et al. **Modelling scenarios towards a sustainable use of natural resources in Europe.** Sustainable Europe Research Institute – SERI. 2007.

\_\_\_\_\_. Trade, material flows and economic development in the south: The example of Chile. **Journal of Industrial Ecology**, New Heaven, v. 8, n. 1-2, p. 241 – 261, 2004.

GOMES, Daniel Miranda; GUERRA, Arnaldo Donizete. Da (i)legalidade da queima da palha na colheita da cana-de-açúcar. **Revista Jus Vigilantibus**, São Paulo, 4 de julho de 2008. Disponível em <<http://jusvi.com/artigos/34459>>. Acesso em: 14/06/2009.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, A. C. **Social metabolism and patterns of material use: Mexico, South America and Spain**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciências e Tecnologias Ambientais, Universidade Autônoma de Barcelona, Barcelona.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, A. C., SCHANDL, Heinz. The biophysical perspective of a middle income economy: Material flows in Mexico. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68, n.1, p. 317 – 327, 2008.

GRAEDEL, T.E.; ALLENBY, B.R., **Industrial Ecology**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

GRAEDEL T. E. et al. The contemporary European copper cycle: the characterization of technological copper cycles. **Ecological Economics**, Amsterdam, n.42, p. 9–26, 2002.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement**. National bureau of economic research working paper 3914, NBER. Cambridge, Massachusetts, 1991.

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic growth and the environment. **Quarterly Journal of Economics**, v.110, p. 353-378, 1995.

GUINEÉ, J. et al. Linking Economic Models to Physical Substance-Flow Models: Possibilities and Problems. In.: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

HANSEN, Erik; LASSEN, Carsten. Sustainability of the current environmental load of persistent chemical compounds – Focus on lead. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

HANSEN, Erik. Experiences with SFA on the national level for hazardous substances in Denmark. In: CONACCOUNT CONFERENCE: Analysis for action: support for policy toward sustainability by material flow accounting, 1997, Wuppertal. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

HETTIGE, H.; LUCAS, R.; Wheeler, D. The toxic intensity of industrial production: Global patterns, trends and trade policy. **Am. Econ. Rev. Papers Proc.**, v.82, p. 478-481, 1992.

HILLIARD, Henry E. **The material flow of vanadium in the United States**. U. S. Bureau of Mines. Information circular 9409. Washington D.C., 1994.

HOHMEYER, O. et al. EMI 2.0 – A disaggregated Model Linking Economic Activities and Emissions. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. **Programa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. **Banco Multidimensional de Estatística. Base 2000**. Brasília, 2000. (parcial). Mensagem pessoal recebida por armando@ifba.edu.br em 14/10/2008.

\_\_\_\_\_. **Censos de 2000**. Brasília, 2001. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/indicadores\\_sociais/tabela\\_01.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/indicadores_sociais/tabela_01.pdf)>. Acesso em: 14/11/2008.

\_\_\_\_\_. **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Agrícola**. Brasília, 2006. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_indicadores\\_IBGE/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_indicadores_IBGE/)>. Acesso em: 14/10/2008.

\_\_\_\_\_. **Produto interno bruto dos municípios 2005**. Brasília, 2007a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2005/tab01.pdf>>. Acesso em: 14/10/2008.

\_\_\_\_\_. **Censo de 2005**. Brasília, 2007b. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem\\_final/tabela1\\_1.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem_final/tabela1_1.pdf)>. Acesso em: 14/11/2008.

\_\_\_\_\_. **Produção da pecuária municipal 2007**. Reportagem: Rebanho bovino diminui 3,0% no país e 5,0% na Amazônia legal. Comunicação social em 26.nov.2008. Brasília. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1269&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1269&id_pagina=1)>. Acesso em: 14/10/2008.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Contas Nacionais – Brasil 2002 – 2006**. Brasília, 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1257&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1257&id_pagina=1)>. Acesso em: 14/09/2009.

\_\_\_\_\_. **Censo agropecuário 2006**. Brasília, 2009. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/tabela1\\_1.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/tabela1_1.pdf)>. Acesso em: 14/02/2009.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Análise de mercado: preços internacionais de commodities**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://agronegociar.com/economia/1353-analise-de-mercado-precos-internacionais-de-commodities-25-de-julho-de-2008.html>>. Acesso em: 14/07/2009.

ISTAKI, M. **Comércio exterior e interno do Brasil e das suas macrorregiões: um teste do teorema de Heckscher-Ohlin**. 2003. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, São Paulo.

JANICKE, M. et al. Economic structure and environmental impacts: East – west comparisons. **Environmentalist**, New York, v.9, p.171 – 182, 1989.

JELINSKI, L. W. et al. Industrial ecology: concepts and approaches. **Proceedings of National Academy of Sciences**. Washington DC, v.89, p.793-797, 1992. Disponível em: <<http://www.pnas.org/content/89/3/793.full.pdf>>. Acesso em: 14/01/2002.

JOHN, V. M., AGOPYAN, V., 2001. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES. 2008, São Paulo. **Anais....**

São Paulo: USP, 2008. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>>. Acesso em: 14/09/2008.

JOLLY, James H. **The material flow of zinc in the United States 1850 - 1990**. U. S. Bureau of Mines. Open-file report 72 – 92. 1992.

JONES, Thomas S. **Manganese material flow of patterns**. U. S. Bureau of Mines. Information circular 9399. Washington D.C., 1994.

KAPUR, A., et al. The contemporary copper cycle of Asia. **Journal of Matter Cycles Waste Management**, , v. 5, p. 143-156, 2003.

KITZES, J., A. et al. **Guidebook to the National Footprint Accounts: 2008 Edition**. Oakland: Global Footprint Network, 2008.

KLEIJN, R. et al. Dynamic substance flow analysis: the delaying mechanism of stocks, with the case of PVC in Sweden. **Ecological Economics**, Amsterdam, v.32 p. 241–254, 2000.

KORHONEN, Jouni. **Industrial Ecosystem: Using the material and energy flow model of an ecosystem in an industrial system**. 2000. Doctoral Thesis. University of Jyväskylä. Jyväskylä.

LAGE, Janaína. Brasil cresce só 2,3% em 2005 e supera apenas o Haiti na América Latina. **Folha on line**, São Paulo, 24/02/2006. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u105546.shtml>>. Acesso em: 14/08/2009.

LANTZY, R. J.; MCKENZIE, F. T. Atmospheric trace metals: Global cycles and assessment of man's impact. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v. 43, n. 4, p. 511 - 525, 1979.

LASSEN, Carsten et al. Assessment of uncertainty related to the potential for collection of Ni-Cd and lead batteries in Denmark. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em: <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

LLEWELLYN, T. O. **Cadmium (Material flow)**. U. S. Bureau of Mines. Information circular 9380. Washington D.C., 1994.

LOEBENSTEIN, J. R. **The material flow of Arsenic in the United States**. U. S. Bureau of Mines. Information circular 9382. Washington D.C., 1994.

LOHM, U.; ANDERBERG, S.; BERGBÄCK, B. Industrial metabolism at the national level: a case-study on chromium and lead pollution in Sweden, 1880-1980. In: AYRES, R.U.; SIMONIS, U.E. (Ed.). **Industrial Metabolism - Restructuring for Sustainable Development**. Tokyo: The United Nations University, 1994.

LOWE, Ernest A. **Eco-Industrial Park Handbook for Asian Developing Countries**. 2001. Disponível em: <<http://www.indigodev.com>>. Acesso em: 14/06/2002.

LUCAS, R. E. B. et al. Economic development, environmental regulation and the international migration of toxic industrial pollution: 1960 – 1988. In: P. LOW (Ed.), **International trade and the environment**, World Bank discussion paper n. 159, Washington DC, 1992.

MAAG, Jacob et al. Mercury – A Substance Flow Analysis for Denmark. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

MAENPAA, I.; JUUTINEN, A. The Finnish Long Term Model System (FMS) and Wood Flows in the Finish Economy. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em: <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

MACHADO, J. A. C. **A sustentabilidade do desenvolvimento e a demanda material do sistema econômico**. 1999. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Núcleo de Altos estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém.

MACHADO, G. et al. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: An input-output approach. **Ecological economics**, v. 39, n. 3, p. 409-424, 2001.

MARCONDES, Ayrton César. **Ecologia**. 3. ed. São Paulo: Atual, 1998.

MARINHO, Maerbal Bittencourt. **Novas relações sistema produtivo / meio ambiente - do controle a prevenção da poluição**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Departamento de Engenharia Ambiental – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MATTHEWS, E. et al. **The Weight of Nations – Material Outflows from Industrial Economies**. World Resource Institute. 2000. Disponível em: <[http://pubs.wri.org/pubs\\_pdf.cfm?PubID=3023](http://pubs.wri.org/pubs_pdf.cfm?PubID=3023)>. Acesso em: 14/03/2002.

MAZZANTI, M. et al. **Municipal waste production, economic drivers, and a new waste policy**: EKC evidence of Italian regional and provincial panel data. Fondazione Eni Enrico Mattei, Working papers, N. 155, 2006.

METCALF and EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**. 3. ed. McGraw-Hill, Inc., 1991, 1334 p.

MEYER, C. R. **Implicações energético-ambientais de esquemas de sucateamento de automóveis no Brasil**. 2001. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/crmeyer.pdf>>. Acesso em: 14/09/2008

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Agricultura brasileira em números: Anuário brasileiro 2005**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 14/10/2008.

MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA – MCT. **Inventário nacional de emissões gasosas antrópicas**. 2004. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0004/4199.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf)>. Acesso em: 14/07/2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Estatística da Pesca 2005**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2007. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros/documentos/estatistica-pesqueira/>>. Acesso em: 14/10/2008.

\_\_\_\_\_. **Programa de combate a destruição da camada de ozônio – PROZON**. Brasília. [s.d.]. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/\\_arquivos/dados\\_2008\\_final\\_130.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_arquivos/dados_2008_final_130.pdf)>. Acesso em: 14/10/2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2006: Ano base 2005**. Relatório Final. 188 p. Rio de Janeiro, 2006a. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/BEN2006\\_default.aspx](https://ben.epe.gov.br/BEN2006_default.aspx)>. Acesso em: 14/10/2008.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**, Brasília, 2006b.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro**, Brasília, 2006c.

MINISTRY OF ENVIRONMENT - ME. **Fundamental plan for establishing a sound material-cycle society**. 2003. Disponível em: <<http://www.basel.int/legalmatters/natleg/japan02e.pdf>>. Acesso em: 14/03/2010.

\_\_\_\_\_. **Law No 110/2000**: Fundamental Law for establishing a sound material-cycle society. 2000. Disponível em: <<http://www.basel.int/legalmatters/natleg/japan02e.pdf>>. Acesso em: 14/03/2010.

MOLL, S.; BRINGEZU, S.; SCHUTZ, H. **Resource Use in European Countries**: An estimate of materials and waste streams in the community, including imports and exports using the instruments of material flow analysis. European Topic Centre on Waste and material Flows, Copenhagen, 2003.

MORIGUCHI, Y. Options for assessing resource flows: The OECD work on material flows and resources productivity. In: UNEP INTERNATIONAL WORKSHOP ON RESOURCE EFFICIENCY AND THE ENVIRONMENT: Identifying key resource flows, 2007, Tokyo. **Anais...** Tokyo: UNEP, 2007. Disponível em: <<http://www.unep.fr/pc/sustain/>>. Acesso em: 14/03/2008.

NORRIS, G. A. An Integrated Economic/Environmental Accounting Analysis System for the USA. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

NRIAGU, J.O. **Arsenic in the Environment**. Wiley, West Sussex, U.K., 1994.

OBBER, Joyce A. **Material flow of sulfur**. U.S. Geologic Surveys. Open-file report 02 - 298. 2002.

OBERNOSTERER, Richard; BRUNNER, Paul. Construction waste as the main future source for CFC-emissions. In.: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em: <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Meeting of OECD environment policy committee at ministerial level**. Paris, feb.1996

\_\_\_\_\_. **Sustainable Development: Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth**. 2002. Disponível em: <<http://www.oalis.oecd.org>>. Acesso em: 14/01/2006.

\_\_\_\_\_. **Measuring Material Flows and Resource Productivity**: Synthesis report. OECD work Program on Material flows (MF) and resource productivity (RP). 2008. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/55/12/40464014.pdf>>. Acesso em: 14/04/2009.

ORLANDO, E. A. et al. Contribuição da queima da palha de cana-de-açúcar nas emissões de cátions majoritários para a atmosfera. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA (SBQ), 30., 2007, Águas de Lindóia, **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1571-1.pdf>>. Acesso em: 14/10/2008.

PALM, Viveka. **Material flow analysis in technosphere and biosphere – Metals, natural resources and chemical product**. 2002. Doctoral thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm.

PANAYOTOU, T. **Empirical test and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development**. Working paper 238, International Labor Office, Geneva, 1993.

PANAYOTOU, T. **Economic growth and the environment**: Economic survey of Europe. 2003. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w4634.pdf>>. Acesso em: 14/12/2009.

PAUDEL, K. P. et al. An empirical test of environmental Kuznets curve for water pollution. **Environmental and Resources Economics**, v.31, p.325 – 348, 2005.

PÉREZ, M. A. R. Dimensiones biofísicas del comercio exterior colombiano: Evidências del intercambio ecológicamente desigual para el periodo 1970–2002. **Revista de Economía Industrial**, v.4, n.352, p. 95 -120. 2003.

PEZZEY, J. **Economic analysis of sustainable growth and sustainable development**. Environment department working paper n. 15. The World Bank, 81 p. 1989.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Disponível em: <[http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/tese\\_tarcisio.pdf](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/tese_tarcisio.pdf)>. Acesso em: 14/09/2008.

RADERMACHER, W.; HOH, H. Material and Energy Flow Analysis Accounting Framework and Information System. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

RECHBERGER, H.; GRAEDEL, T. E. The Contemporary European Copper Cycle: Statistical Entropy Analysis. **Ecological Economics**, v. 42, p. 59-72, 2002.

REID, W. et al. **Millennium Ecosystem Assessment**: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington D.C.: Island Press, 2005. Disponível em: <<http://www.MAweb.org>>. Acesso em: 11/2008.

REINER, Íris et al. Material balances of agricultural soil considering the utilization of sewage sludge and compost. In.: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal:



Wuppertal Institute, 1997. Disponível em: <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 10/2006.

REVISTA CAFEICULTURA, São Paulo:12. dez.2005. **Consumo de fertilizante no Brasil cresceu 10 mil por cento em 54 anos**. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=3352>>. Acesso em: 14/10/2008.

RICHMOND, A. K.; KAUFMANN, R. K. Energy prices and turning points: The relationship between income and energy use/carbon emissions. **Energy journal**, v.27, n. 4, p.157-180, 2006.

ROTHMAN, Dale S. Environmental Kuznets curve – real progress or passing the buck? A case for consumption-based approaches. **Ecological economics**, v.25, p. 177 – 194, 1998.

RUSSI, D. et al. Material flows in Latin America: A comparative analysis of Chile, Ecuador, Mexico and Peru. **Journal of Industrial Ecology**, New Heaven, v.12, n. 5, p. 704 - 720, 2008.

SANTOS, L. R. et al. Produção de forrageiras hibernais em sistema silvipastoril. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO EM FORRAGEIRAS DO CONE SUL – GRUPO CAMPOS, 21., 2006, Pelotas. **Anais eletrônicos**. Pelotas: Embrapa, 2006. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento\\_166/PDFs/2/2-04.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/documentos/documento_166/PDFs/2/2-04.pdf)>. Acesso em: 10/2008.

SCHONBAUER, Arnulf; DAXBECK, Hans. Material accounting in Áustria: First experiences. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em: <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

SCHMIDT-BLEEK, F. Will Germany remain a good place for industry? The Ecological side of the coin. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 1, p. 417 – 422, 1992.

\_\_\_\_ Factor 10 Manifesto, 2000. Disponível em: <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

SELDEN, T. M.; SONG, D. Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution? **Journal of environmental economics and management**, v. 27, n. 2, p. 147 – 162, 1994.

SENDRA, C. S. **Anàlisi dels fluxos de materials de sistemes**: Avaluació del metabolisme material a diferents escales. Tese (Programa de Doctorat em Ciències Ambientals del Dept. de Enginyeria Química) - Universitat Autònoma de Barcelona. 2008. 306 p.

SHAFIK, N.; BANDYOPADHYAY, S. **Economic growth and environmental quality**: Time series and cross country evidence, World Bank working papers, WP 904, Washington, 52 p., 1992.

SHEDD, Kim B. **The material flow of Cobalt in the United States**. U. S. Bureau of Mines. Information circular 9350. Washington D.C., 1994.

SHEERIN, Caroline. UK material flow accounting. **Economic Trends**, n. 583, p. 53 – 61, 2002.

SHUI, B.; HARRISS, R. The role of embodied CO2 in the USA-China trade. **Energy policy** v.34, n.81, p. 4063 – 4068, 2006.

SILVA, M. C. et al. Determinação do volume de madeira empilhada através de processamento de imagens digitais. **Scientia forestalis**, n. 69, p. 104 -114, 2005.

SMITH, Gerald R. **The material flow of tungsten in the United States**. U. S. Bureau of Mines. Information circular 9388. Washington D.C., 1994.

SOJO, A. et al. Material flow accounting of Spain (1980 – 2004). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE MANAGEMENT, 3., 2007, Zurich. **Anais...** Disponível em: <<http://inderscience.metapress.com/link.asp?target=contribution&id=WM22MDJE3URLAER7>>. Acesso em: 07/2008.

SPATARI, S., et al. The contemporary European copper cycle: 1 year stocks and flows. **Ecological Economics**, n.42, p. 27-42, Amsterdam, 2002.

STERN, D. I. et al. Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. **World development**, v.24, p.1151 – 1160, 1996.

SZNOPEK, John L.; GOONAN, Thomas G. **The Materials Flow of Mercury in the Economies of the United States and the World**. U.S. Geologic Surveys. Information circular 1197. 2000.

TANIMOTO, A. H. **Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no Pólo Petroquímico de Camaçari**. 2004. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

THRAN, Daniela; SCHEIDER, Marlies. Resource Management in the Federal State of Brandenburg. In: CONACCOUNT CONFERENCE: Analysis for action: support for policy toward sustainability by material flow accounting, 1997, Wuppertal. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net/>>. Acesso em: 14/10/2006.

TUKKER, Arnold; KLEIJN, René. Using SFA and LCA in a precautionary approach: The case of chlorine and PVC. In: CONACCOUNT WORKSHOP: Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability, 1997, Leiden. **Anais...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. Disponível em <<http://www.conaccount.net>>. Acesso em: 14/10/2006.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA. **Produção de cana-de-açúcar no Brasil**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadoscotacao/estatistica/>>. Acesso em: 14/06/2008.

\_\_\_\_\_. Commission on Sustainable Development. **Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies**. [s.d.] Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/isd.htm>>. Acesso em: 14/05/2009.

VALLEJO, M. Estrutura biofísica de la economía ecuatoriana: Um estudo de los flujos directos de materiales. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Barcelona, v. 4, p. 55 – 72, 2006.

VAN DER VOET, E. et al. **Policy Review on Decoupling**: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries. European Commission. 2005. Disponível em: <<http://europa.eu.int/comm/environment/natres/>>. Acesso em: 14/03/2009.

VEGAS, C. **Brasil tem o terceiro maior rebanho eqüino**. Paraná-online. Curitiba, 10.Nov.2006. Disponível em <<http://www.paranaonline.com.br/editoria/mundo/news/208548/>>. Acesso em: 14/10/2008.

VEHMAS, J. et al. Linking analyses and environmental Kuznets curves for aggregated material flows in the EU. **Journal of Cleaner Production**, v.15, p.1662 -1673, 2007.

VAN BEERS, D. et al. The contemporary African copper cycle: One year stocks and flows. **The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, April, p.147 – 162. 2003.

VEXLER, D. et al. The contemporary Latin American and Caribbean copper cycle: 1 year stock and flows. **Resources, Conservation and Recycling**, n.41, p. 23-46. 2004.

VIANNA, J. N. S. et al. **O papel do etanol na mitigação das emissões de poluentes no meio urbano**. In: II Jornada Luso-brasileira de ensino e tecnologia em engenharia - JLBE. Porto, 2009. Disponível em: <[http://professores.cds.unb.br/jnildo/pub/arquivo\\_ver.cfm?arquivo=250308\\_E6749BE0.doc](http://professores.cds.unb.br/jnildo/pub/arquivo_ver.cfm?arquivo=250308_E6749BE0.doc)>. Acesso em: 14/06/2009.

VIEIRA, M. N. F. et alli. **Levantamento e Conservação do solo**. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 1996. 320 p.

WACKERNAGEL, M.; MONFREDA, C.; DEUMLING, D. **Ecological Footprint of Nations**, Redefining Progress, Oakland, 2002. Disponível em: <[www.redefining-progress.org/publications/ef1999.pdf](http://www.redefining-progress.org/publications/ef1999.pdf)>. Acesso em: 14/06/2008.

WEISZ, H. et al. **The physical economy of the European Union**: Cross-country comparison and determinants of material consumption. Social ecology working paper 76. IFF, Vienna, 2005.

WEIZSACKER, E. U. et al. **A role for factor four in trade and the environment**. In: Factor four. Doubling wealth halving resource use. 1998. Earthscan Pub. London.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - WBCSD. **Project on Eco-Efficiency Metrics & Reporting**, State of Play Report, Geneva. 1998.

WORLD TRADE ORGANIZATION – WTO. **International Trade Statistics 2007**. World Trade Organizational, Geneva, 2007.

WOLMAN, A. The Metabolism of the City. **Scientific American**, Bridgton, v. 213, n. 3, p. 178 – 193, 1965.

YALE CENTER FOR ENVIRONMENTAL LAW & POLICY. **Environmental Performance Index**. 2008. Disponível em: <<http://epi.yale.edu>>. Acesso em: 14/05/2009.

YONG, Ren. The circular economy in China. **Journal of Matter Cycles Waste Management**, v. 9, n. 2, p. 121-129, 2007.

ZHOU, Guomei. MFA and circular economy development in China. In: UNEP INTERNATIONAL WORKSHOP ON RESOURCE EFFICIENCY AND THE ENVIRONMENT:

Identifying key resource flows, 2007, Tokyo. **Anais...** Tokyo: UNEP, 2007. Disponível em: <<http://www.unep.fr/pc/sustain/>>. Acesso em: 14/03/2008.

## APÊNDICES

Apêndice A – Indicadores derivados da AFM para o Brasil, em termos absolutos (t)

Indicadores	Unid.	1997	2001	2005
Entrada de Material Direto	t	1.851.516.279	2.131.485.519	2.647.839.183
Demanda Total de Material	t	4.238.500.452	4.575.404.990	5.662.142.122
Saída Doméstica Processada	t	(*)	(*)	2.664.429.415
Saída de Material Total	t	(*)	(*)	3.026.848.134
Consumo de Material Doméstico	t	1.662.735.748	1.884.397.398	2.285.420.464
Consumo de Material Total	t	3.255.778.620	3.486.563.860	4.262.637.527
Acumulação de Material na Sociedade	t	(*)	(*)	1.731.871.815
Balança Comercial	t	(111.769.083)	(169.911.909)	(286.884.473)
Produtividade econômica	US\$/t	203	199	182
Eficiência mássica	%	44	47	47
População	10 <sup>6</sup> hab	164	174	184
PIB	10 <sup>6</sup> US\$	859.654	911.077	1.029.495

(\*) Não estimado.

Apêndice B – Indicadores derivados da MFA para o Brasil, em base 100 = 1997

Indicadores	Base	1997	2001	2005	Varição %
BC	1997 = 100	100	152	257	157%
EMD	1997 = 100	100	115	143	43%
CMD	1997 = 100	100	113	137	37%
DMT	1997 = 100	100	108	134	34%
CMT	1997 = 100	100	107	131	31%
PIB	1997 = 100	100	106	120	20%
Pop	1997 = 100	100	106	112	12%
Eficien (m)	1997 = 100	100	107	107	7%
Produção (\$)	1997 = 100	100	98	90	-10%

Apêndice C - Fluxo material, estratégias e medidas para o gerenciamento dos recursos sustentáveis.

Fluxos Alvos	Estratégias	Setores	Medidas potenciais
Combustíveis fósseis	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Redução na demanda de energia</li> <li>(2) Aumento na eficiência material e energética</li> <li>(3) Mudanças na matriz energética priorizando fontes renováveis</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Residências, indústrias da construção;</li> <li>▪ Arquitetos e engenheiros civis;</li> <li>▪ Gerentes de instalações;</li> <li>▪ Fornecedores de energia e transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taxação no consumo de energia, harmonização entre os estados membros das ecotaxas;</li> <li>▪ Padrões técnicos para edifícios, verdes, carros e outras máquinas;</li> <li>▪ Programas de introdução ao mercado para a produção de energia e tecnologias, usando fontes renováveis;</li> <li>▪ Revisão dos subsídios na extração e uso de combustíveis fósseis (eliminação gradual do carvão), além dos combustíveis usados no transporte de carga;</li> <li>▪ Programas de pesquisa e desenvolvimento na integração de materiais, eficiência energética e uso de renováveis.</li> </ul>
Metais e minerais industriais	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Redução na demanda de materiais primários; <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Melhoria na funcionalidade dos serviços;</li> <li>▪ Projeto de produtos desmaterializados;</li> <li>▪ Gerenciamento do produto com responsabilidade estendida;</li> </ul> </li> <li>(2) Processo de produção otimizado com relação ao ciclo de vida, incluindo: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reuso com novas tecnologias;</li> <li>▪ Remanufatura e reciclagem;</li> </ul> </li> <li>(3) Substituição por renováveis (fertilizante mineral por adubo orgânico)</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Projetistas e engenheiros</li> <li>▪ Donas de casa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Campanhas de desmaterialização na sociedade; revisão de padrões de engenharia; substituição de metais preciosos;</li> <li>▪ Reciclagem de metais através de cotas para uso de materiais secundários (regulação de reciclagem de sucata de veículos);</li> <li>▪ Extensão da responsabilidade do produtor através de regulação de retorno compulsório de fabricante de bens duráveis (carros, eletrodomésticos – linhas branca, marrom e preta);</li> <li>▪ Taxação no primeiro uso doméstico de metais primários e minerais industriais;</li> <li>▪ Levis em produtos projetados para uso dissipativo (fertilizantes minerais);</li> <li>▪ Banco de dados e manuais para engenheiros e operadores com vista ao uso de materiais reciclados, substituindo as matérias primas virgens.</li> </ul>

<p>Minerais da construção e escavação</p>	<p>(1) Redução da demanda de material primário através da:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reavaliação da quantidade de infra-estruturas e edificações adicionais;</li> <li>▪ Prover novas moradias e funções de mobilidade através da melhoria nas infra-estruturas e edificações existentes;</li> <li>▪ Extensão da vida útil das edificações.</li> </ul> <p>(2) Otimização dos processos produtivos com relação ao ciclo de vida das matérias primas, incluindo tecnologia de reuso para novas construções, reforma e modernização, e reciclagem;</p> <p>(3) Substituição por renováveis (madeira e fibras)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboradores de políticas públicas;</li> <li>▪ Setor de serviços (administradores de instalações)</li> <li>▪ Setor da construção</li> <li>▪ Setor de transportes</li> <li>▪ Planejadores, arquitetos e engenheiros civis</li> <li>▪ Donas de casa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Política em transportes: Mudanças de paradigmas que contemple prevenção em novas infra-estruturas, revisão nas políticas de investimentos públicos;</li> <li>▪ Revisão em subsídios para construções públicas e privadas;</li> <li>▪ Imposto de consumo de material virgem; imposto no uso da terra; incentivos para reciclagem de resíduos da demolição, acordos voluntários;</li> <li>▪ Programas educacionais (ementas em <i>curriculum</i> dos cursos de arquitetura, engenharia civil), programas de pesquisa e desenvolvimento visando melhoria na eficiência no uso dos recursos na construção;</li> <li>▪ Campanhas para desmaterialização na construção civil, revisão nos padrões na engenharia civil, incentivo a novas tecnologias nas construções;</li> <li>▪ Campanhas para a melhorias da qualidade em moradias e condições de vida em áreas urbanas abandonadas;</li> <li>▪ Banco de dados e manuais para arquitetos e engenheiros com vista ao uso de materiais reciclados, substituindo as matérias primas virgens;</li> <li>▪ Programa para qualificação de trabalhadores da construção.</li> </ul>
---	---	---	---

Fonte: Adaptado de Bringezu (2002), tabela 5.1, p. 42

Apêndice D - Planilha de Importação e Exportação Mineral

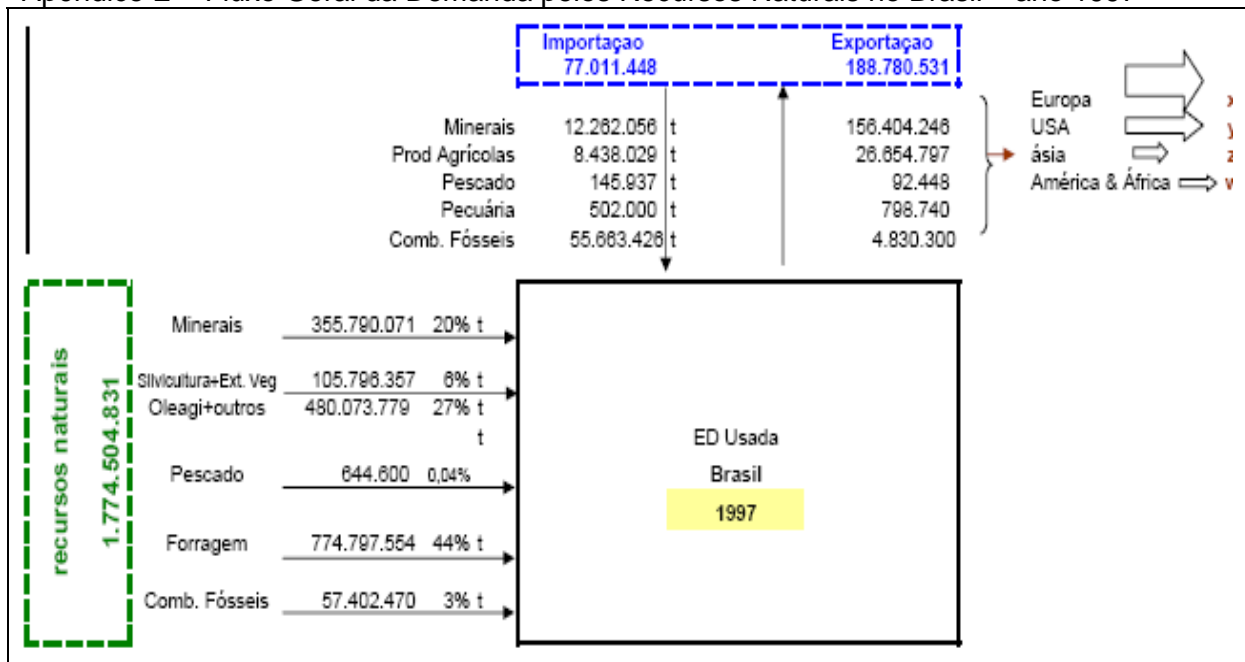
1 9 9 7		EXPORTAÇÃO		IMPORTAÇÃO		SALDO	
	TIPOS DE PRODUTOS	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
		1.000 t	US\$ 1.000 FOB	1.000 t	US\$ 1.000 FOB	1.000 t	US\$ 1.000 FOB
	Bens Primários	141.692	3.412.337	45.697	5.112.244	95.995	(1.699.907)
	Semimanufat.	9.662	4.235.052	338	615.881	9.324	3.619.171
	Manufaturados	7.040	3.190.044	16.792	4.944.408	(9.752)	(1.754.364)
	Comp. Químicos	859	272.524	5.592	1.182.456	(4.733)	(909.932)
	Total	159.253	11.109.957	68.419	11.854.989	90.834	(745.032)

2 0 0 1		EXPORTAÇÃO		IMPORTAÇÃO		SALDO	
	TIPOS DE PRODUTOS	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
		1.000 t	US\$ 1.000 FOB	1.000 t	US\$ 1.000 FOB	1.000 t	US\$ 1.000 FOB
	Bens Primários	163.673	3.492.807	24.299	1.743.669	139.374	1.749.138
	Semimanufat.	13.243	3.569.784	439	732.112	12.804	2.837.672
	Manufaturados	5.066	2.623.529	1.835	1.729.285	3.231	94.244
	Comp. Químicos	594	277.279	5.232	1.165.417	(4.638)	(888.138)
	Total	182.576	9.963.399	31.805	5.370.483	150.771	4.592.916

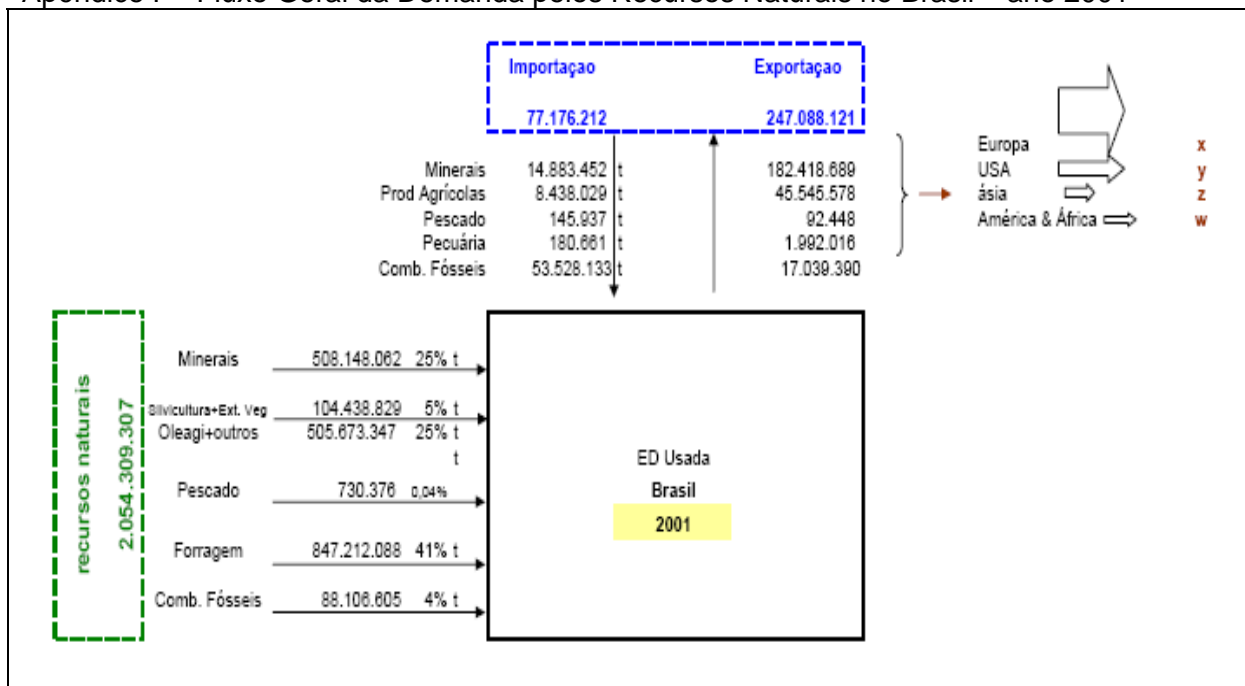
2 0 0 5		EXPORTAÇÃO		IMPORTAÇÃO		SALDO	
	TIPOS DE PRODUTOS	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
		1.000 t	US\$ 1.000 FOB	1.000 t	US\$ 1.000 FOB	1.000 t	US\$ 1.000 FOB
	Bens Primários	39.004	8.977.767	6.825	3.649.822	12.179	5.327.945
	Semimanufat.	6.839	7.880.754	669	1.519.110	6.170	6.361.644
	Manufaturados	1.239	7.000.707	1.885	2.442.626	9.354	4.558.081
	Comp. Químicos	1.300	551.321	6.785	1.756.940	(5.485)	(1.205.619)
	Total	268.382	24.410.549	36.164	9.368.498	232.218	15.042.051



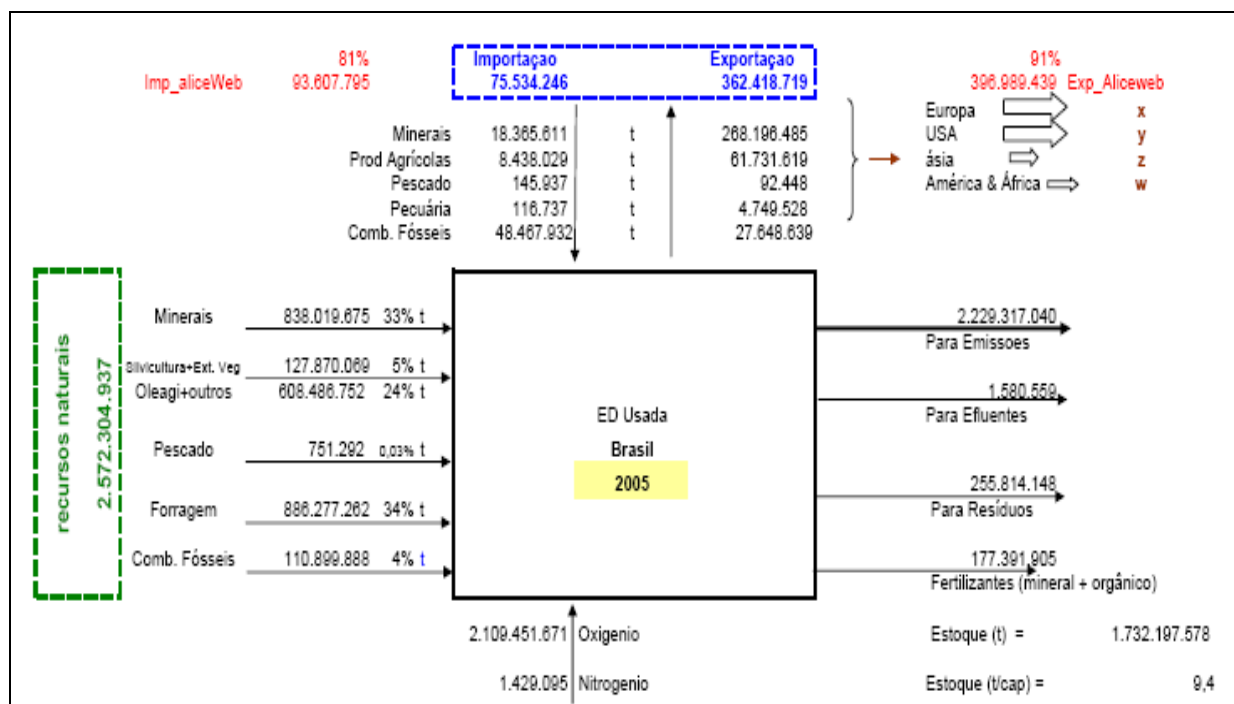
Apêndice E – Fluxo Geral da Demanda pelos Recursos Naturais no Brasil – ano 1997



Apêndice F - Fluxo Geral da Demanda pelos Recursos Naturais no Brasil – ano 2001



Apêndice G - Fluxo Geral da Demanda pelos Recursos Naturais no Brasil – ano 2005



Apêndice H - Fontes das Informações dos Banco de Dados

		Machado																Fonte	Observação	Pendencia							
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8							
RECURSOS NATURAIS	MINERAIS	Produção (t)																				Relatório Anual Mineral Brasileiro, www.dnmp.gov.br, tab. 1.2.1 Produção bruta de minérios	Divide-se em "metálicos - 18", "nao metálicos - 25" e "energéticos - 3". Até 2000 apresentava "qtde e beneficiado" a partir de 2001 "qtde e contido".				
		Importação (t e US\$)																					Relatório Anual Mineral Brasileiro, www.dnmp.gov.br, tab. 1.6.6 Importação do setor mineral	Tanto importação como exportação segmenta os "produtos" em "Bens primários", "semimanufaturados", "Manufaturados" e "compostos químicos"			
		Exportação (t e US\$)																					Relatório Anual Mineral Brasileiro, www.dnmp.gov.br, tab. 1.6.5 Exportação do setor mineral	Apresenta tb por países de origem e destino. Nao foram emitidos os relatorios de 2007 e 2008 (referentes aos daods de 06 e 07).			
	BIOMASSA	Agric. = Produção - Silvicultura (t e R\$)																					IBGE (site), Diretoria de pesquisa, coord. De agropecuária, produção da extração vegetal e da silvicultura.ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_da_Extracao_Vegetal_e_da_Silvicultura_%5Banual%5D/	Agrupa os 47 produtos em 12 subgrupos. Apresenta unidades diversas, massa (t), volume (m3) e unidade (arvores). Nao há dados anteriores a 2002	Banco de dados nao possui Imp&Exp de produtos correspondentes		
		Agric. = Produção - Oleaginosas (área, t) (dados IBGE) (A)																					http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm	Agrupa em 19 produtos. Apresenta mudança de contabilidade no decorrer dos anos. Há dados de área cultivavel por produto/ano.			
		Agric. = Produção (dados AgroStat - MAPA) (B)																						Fonte: http://www.agricultura.gov.br/, estatística, Agricultura brasileira em numeros, anuario 2005	Nao dispoe de relatorios anuais (2006 e 2007). Dificuldade para ser replicado!!		
		Agri. = Prod. Imp&Exp FAO Database																						banco de dados da FAO. Apresenta média anual considerando periodo de 3 anos (90 a 92, 93 a 95, 95 a 97 e 01 a 03)	Disponivel através de CD. Dificuldade de replicar e comparar com dados brasileiros. Disponibiliza código dos produtos considerados em sua contabilizacao.		
		Agric. = Imp&Exp (dados AgroStat)																						Fonte: http://www.agricultura.gov.br/, estatística, Agricultura brasileira em numeros, anuario 2005	Apresenta dados financeiros, ainda nao planilhado		
		Pecuária = Produção																							Fonte: http://www.agricultura.gov.br/, estatística, Agricultura brasileira em numeros, anuario 2005	Nao dispoe de relatorios anuais (2006 e 2007). Dificuldade para ser replicado!!	
		Pecuária = Imp&Exp																							Fonte: http://www.agricultura.gov.br/, estatística, Agricultura brasileira em numeros, anuario 2005	Apresenta dados financeiros, já planilhado	
Pescado = Prod. Imp&Exp					P	P																	http://www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros/documentos/estatistica-pesqueira/	Detalhes por regio, estado, tipo de peixe. Importa/exportação de 96 a 2006	Considerado valores daaquicultura confinada		
ENERGÉTICOS	Produção = Petróleo, GN, carvão, uranio, cana e lenha.																						Fonte: Balanço Energético nacional - BEN 2007	Possui dados de 1970 a 2006			
	Importação e Exportação - Petroleo, GN ...																						Fonte: Balanço Energético nacional - BEN 2007	Possui dados de 1970 a 2006			