



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ANTONIO EDNALDO SOUZA OLIVEIRA

**A DIMENSÃO DA SUSTENTABILIDADE E O USO DO VALOR
EMERGÉTICO - O CASO DA EUCALIPTOCULTURA**

Prof. Dr. ROBSON AMÂNCIO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Novembro – 2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

ANTONIO EDNALDO SOUZA OLIVERA

**A DIMENSÃO DA SUSTENTABILIDADE E O USO DO VALOR
EMERGÉTICO - O CASO DA EUCALIPTOCULTURA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. ROBSON AMANCIO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Novembro – 2011

**A DIMENSÃO DA SUSTENTABILIDADE E O USO DO VALOR
EMERGÉTICO - O CASO DA EUCALIPTOCULTURA**

Comissão Examinadora:

Monografia aprovada em 30 de Novembro de 2011.

Prof. Dr. Robson Amâncio
UFRRJ / ICHS/ DCS
Orientador

Prof^a. Dr^a. Cristiane Oliveira da Graça Amâncio
EMBRAPA / Agrobiologia
Membro

Prof. Dr. Tiago Böer Breier
UFRRJ / IF / DS
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a tribo Oliveira, especialmente a nossa Cacique Dona Eunice, símbolo de afeto, sabedoria e superação. Obrigado por me ensinar os conhecimentos tão valiosos de nossos ancestrais.

AGRADECIMENTOS

Ao Eterno que entrou no tempo e nos ensinou os mistérios do amor, da fé e da esperança.

As florestas... Quanta beleza, riqueza e complexidade encontramos em ti, que grande privilégio estudá-la. Tu me ensinas a todo dia olhar para cima.

A comunidade Presbiteriana da UFRRJ no bairro Ecologia, obrigado pelas ricas experiências fraternas que recebi no ano de 2004, meu primeiro ano no Rio de Janeiro.

Aos professores Alencar e Josué do CTUR pelo apoio no ano de 2004 enquanto estudava para o vestibular. Não posso esquecer a Raquel, agradável funcionária que tão atenciosa me ajudou naqueles dias.

Ao Pré-vestibular comunitário Lúmen da UFRRJ na pessoa do amigo Maurício que não poupou esforço para nos ajudar, assim como aos amigos de curso Rodrigo, Natália, Samyr, Cláudio, Daiane, Vinícius e Sílvio bons companheiros de risadas, estudos e aventuras.

Aos amigos de morada estudantil da cobertura 532, Castro, Willian, Genevaldo, Élson, Guilherme, Anderson, Irineu e Andrej (anexo), por me aturarem.

A família Carias que me acolheu em sua casa e em seus corações, vocês me deram ânimo e grande apoio, fazendo com que um solitário habitasse em família. O Amor de vocês foi seu maior discurso.

A amizade que deu grande força da Aliança Bíblica Universitária. Na caminhada as paisagens nem sempre foram as melhores, as coisas nem sempre deram certo, mas as companhias foram incríveis. Com vocês convivi momentos intensos que muito me marcaram. Aleluia a palavra se fez carne.

Aos amigos da alma Geovan, Felipe, Willian Aleixo e Pereira, Rafael, Castro e tantos outros, saudades de vocês.

Aos amigos da “LICA da Justiça” turma 2005 I, Silvio, Cristiane, Ana Paula, Castro, Natália, Larissa e Marcio. Seguimos caminhadas diferentes, mas naquele ajuntamento de amigos sinto falta de vocês.

A grande família Santos Lima, grande em afetos, doação e muitas boas histórias. Obrigado pelo acolhimento e pela princesa que me confiaram. Amo vocês.

As “pessoinhas” Luiza (*Tabebuia sp*), Tarsila (*Dalbergia nigra*), Nilsão, Jéssica e mais recentemente Dóris e Marcos, só mesmo a “estranha” identificação que tenho com vocês para me fazer lhes aturarem rs rs rs. A Engenharia Florestal sem vocês faltaria engrenagens.

A duplinha Carol e Bruna, pessoas marcantes, que grande prazer tê-las encontrado.

Ao Prof. Robson que de prontidão me recebeu para a orientação da monografia no final do segundo do tempo.

A minha esposa Hellen, graciosa namorada. Assim é o amor, transformastes meus dias comuns em dias tão especiais (... gives me presents with her presence alone).

E a Rural “festa dos olhos, dilatar da mente, contrair do coração”, que possibilitou todos esses encontros e desencontros.

RESUMO

O desenvolvimento sustentável é um tema que ganhou ampla repercussão na sociedade moderna, como um ideal a ser perseguido por todas as nações, estabelecendo o modelo de crescimento econômico necessário para que nações em desenvolvimento possam alcançar o padrão de qualidade de vida dos países, assim denominados desenvolvidos. Nesse contexto imperativo de crescimento econômico e desenvolvimento sustentável esse trabalho teve como objetivo analisar a dimensão da sustentabilidade, fazendo aplicação teórica aos plantios de eucalipto, através da metodologia eMergética. O desenvolvimento foi analisado a partir da primeira e segunda lei da termodinâmica. Abordado como um processo de aumento de entropia, principalmente pela indústria, que é a forma crucial para alcançar o crescimento econômico, por ser mais produtiva, tendo como efeito diretamente proporcional o aumento da pressão sobre matérias-primas e energias fósseis, geralmente não valorados adequadamente pela economia neoclássica. A questão da sustentabilidade foi analisada através da ótica da economia-ecológica, que aborda o assunto a partir de um contrapondo entre “sustentabilidade fraca”. Representada por análises com poucas ou apenas uma forma de valoração da natureza. E a “sustentabilidade forte”. Representada por análises multicriteriais, através de baterias de indicadores, resultando na possibilidade de mais de uma forma de valoração, sendo assim, mais adequada. Os indicadores estudados foram os da metodologia eMergética, quantificando a energia incorporado em um produto final, fazendo uso de abordagens de sistemas e transformidades. No caso da eucaliptocultura como importante atividade econômica dentro da macroeconomia brasileira, ainda baseada na exportação do setor primário e com um grande ativo em capital natural, foi analisado a relevância da aplicação de um balanço eMergético para a mesma. Um estudo aprofundado com esse caráter multicriterial se encaixaria perfeitamente dentro da atual preocupação com a sustentabilidade global.

Palavras chave: Sustentabilidade, eMergia, eucaliptocultura, entropia.

ABSTRACT

Sustainable development is a topic that has gained wide coverage in modern society as an ideal to be pursued by all nations, establishing the model of economic growth necessary for developing nations can achieve the quality standard of living of countries, so-called developed. In this context the imperative of economic growth and sustainable development of this work was to analyze the sustainability dimension, making the theoretical application of eucalyptus plantations, through the emergy methodology. The development was analyzed from the first and second law of thermodynamics. Approached as a process of increasing entropy, mainly by industry, which is the key to achieving economic growth, being more productive, and directly proportional to the effect of increasing pressure on raw materials and fossil fuels, are generally not valued properly by neoclassical economics. The issue of sustainability was analyzed through the lens of the economy-ecology, which addresses the subject from an opposition between "weak sustainability". Represented by analysis with few or just a way of assessing the nature. And the "strong sustainability". Represented by multicriteria analysis, through a battery of indicators, resulting in the possibility of more than one form of assessment, therefore, more appropriate. The indicators studied were the emergy methodology, quantifying the energy incorporated into a final product, making use of approaches to systems and transformers. In the case of eucalyptus as an important economic activity in the Brazilian macroeconomy, still based on the export of primary sector and a great asset in natural capital, was considered the relevance of an application for the same emergy balance. A detailed study of this character multicriteria fit perfectly within the current concern about global sustainability.

Keywords: Sustainability, emerged, eucalyptus, entropy.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE GRÁFICO	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Economia, Energia e Desenvolvimento	5
2.2 Índices de Sustentabilidade	14
2.2.1 Culto ao Silvestre.....	15
2.2.2 A justiça Ambiental	15
2.2.3 Credo da Ecoeficiência	16
2.2.4 Sustentabilidade Forte e Fraca.....	17
2.3 Análise Emergética.....	20
2.4 Eucaliptocultura no Brasil	28
3. METODOLOGIA.....	36
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Duas visões da economia – Economia Neoclássica. Fonte: MARTÍNEZ-ALIER, 1998.	6
Figura 2. Duas visões da economia – Economia Ecológica. Fonte: MARTÍNEZ-ALIER, 1998.	6
Figura 3. A economia cresce de forma autônoma	7
Figura 4. O crescimento da economia é restrito pelos Recursos Naturais (RN)	7
Figura 5. Diagrama de uma unidade economia rural familiar, na linguagem de sistema. Fonte: Ortega et al., 2008.	8
Figura 6. O que está em jogo no processo de decisão. Fonte: ROMEIRO, 2002	14
Figura 7. Cadeia energética que inclui uma usina termoelétrica e suas transformidades. Fonte: Ortega et al. 2008.....	24
Figura 8. Exemplo de um diagnóstico do cultivo de maçã. Fonte: LEIA, 2011.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução da Participação da Oferta Interna de Energia (em %)	2
Tabela 2. Produto Interno Bruto por Setor (em US\$ bilhões de 2005)	3
Tabela 3. Estrutura do Consumo Energético Final por Fonte de Energia (em %)	4
Tabela 12. Exemplo de tabela para quantificar entradas no sistema.	27
Tabela 13. Exemplo de resultados de índices energéticos.	28
Tabela 4. Áreas de florestas no Brasil (2009)	29
Tabela 5. Países com maiores plantios florestais.	29
Tabela 6. Principais estatísticas nacionais referentes às florestas (ano base 2009)	30
Tabela 7. Composição da área de florestas plantadas no Brasil (2009)	31
Tabela 8. Distribuição das florestas plantadas com pinus e eucalipto no Brasil (2009)	31
Tabela 9. Indicadores econômicos do setor florestal brasileiro.	33
Tabela 10. Custo de produção da celulose (US\$/tonelada)	34
Tabela 11. Valor das exportações de celulose (em mi US\$) e taxa média de crescimento anual do valor exportado (em %)	35

LISTA DE GRÁFICO

- Gráfico 1.** Evolução do incremento médio anual (IMA) dos plantios florestais de empresas associadas na Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf) (2005-2009).....32
- Gráfico 2.** Comparação entre a produtividade do eucalipto no Brasil, na Austrália e nos EUA.33
- Gráfico 3.** O mercado do eucalipto no Brasil. Fonte: CIB, 2008.¹ Estimativa STCP .35

1. INTRODUÇÃO

Nas vésperas da realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, intitulada Rio + 20, o tema da sustentabilidade ganha novo fôlego com novas e velhas polêmicas, assim mais um capítulo da relação conturbada entre crescimento econômico e conservação será escrito, alguns setores estão otimistas e outros desacreditados. A conferência foi assim denominada, devido ocorrer vinte anos depois da histórica Conferência do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, que de forma significativa reuniu autoridades de Estado, cientistas, acadêmicos, empresários e representantes da sociedade civil, fortalecendo decisivamente a entrada na pauta do dia de assuntos como aquecimento global e desenvolvimento sustentável.

O termo desenvolvimento sustentável já havia ganhado notoriedade a nível internacional com a publicação do Relatório Brundtland em 1987 (*Nosso Futuro comum*), assim na ocasião da ECO 92 o tema foi amplamente debatido. Na véspera da Rio + 20, podemos perceber que o mesmo já está vastamente difundido socialmente, embora, nem sempre com a mesma percepção, afinal, atualmente o que não se apresenta como sustentável? A sustentabilidade se tornou um slogan, sendo incorporado na lógica de mercado. Ser verde ou sustentável faz bem para o planeta e para os negócios.

A sustentabilidade aparentemente se tornou um conceito com um fim em si mesmo, bastando invocar uma áurea de sustentabilidade para acalmar os ânimos, no entanto, surge uma questão, a sustentabilidade pode ser dimensionada? Ou o economicamente viável, ambientalmente correto e socialmente justo é algo amorfo e líquido que se adéqua a cada recipiente que é colocado, no sentido de ser um binômio: sustentável ou não sustentável, sem preceder de critérios para se esclarecer até que ponto é sustentável, e que sustentabilidade está em jogo. Nessa direção a pauta das discussões da conferência girará em torno da questão dos desafios novos e emergentes do desenvolvimento sustentável, segundo o *Documento de Contribuição Brasileira à Conferência Rio+20*, da Comissão Nacional para a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNCNUDS, 2011).

Para se alcançar o propósito do desenvolvimento sustentável, uma variável elementar é a discussão da otimização do uso da energia, em última instância é o uso dela que causa impactos, segundo Esqueda *et al.*, (2000), os problemas ambientais e os desperdícios energéticos estão inter-relacionados. Afinal através de técnicas sofisticadas a humanidade colocou as mais variadas formas de energia a seu serviço, o homem moderno criou uma civilização que é altamente dependente de fontes de energia. Infelizmente a maior parte é recurso energético fóssil que vem sendo explorado indiscriminadamente.

No Brasil a Análise global energética revela que entre 1970 e 1980 a demanda total de energia (Oferta Interna de Energia) aumenta 71,5%, entre 1980 e 1990, 23,7%, entre 1990 e 2000, 34,3%, e, entre 2000 e 2005, 14,8%. Esta demanda passou de 66,9 milhões de tep¹ em 1970 até 218,7 milhões de tep em 2005, tendo como destaque uma participação expressiva das fontes renováveis de energia que se mantém acima dos 40% ao longo do horizonte dos estudos. De 1980 em diante até o ano 2000 a participação do petróleo e dos derivados se consolida na casa dos 40 – 50%, a da hidroeletricidade na casa dos 16%, a da lenha reduz-se de 31% para 8%, enquanto o gás natural, o bagaço e o álcool ganham participação relativa, conforme Tabela 1. (MME/EPE, 2007).

¹ tep - tonelada equivalente de petróleo.

Tabela 1. Evolução da Participação da Oferta Interna de Energia (em %)

Identificação	1970	1980	1990	2000	2005
Energia não renovável	41,61	54,36	50,91	58,95	55,49
Petróleo e derivados	37,71	48,26	40,66	45,50	38,66
Gás natural	0,25	0,95	3,05	5,38	9,38
Carvão mineral e derivados	3,64	5,14	6,77	7,11	6,27
Urânio (U ₂₃₅) e derivados	0	0	0,42	0,94	1,16
Energia renovável	58,38	45,63	49,08	41,04	44,50
Hidráulica e eletricidade	5,10	9,64	14,12	15,72	14,80
Lenha e carvão vegetal	47,57	27,08	20,09	12,09	13,01
Derivados da cana-de-açúcar	5,36	8,03	13,37	10,89	13,78
Outras renováveis	0,33	0,88	1,49	2,32	2,89
TOTAL	100	100	100	100	100

Fonte: BEN - MME/EPE (2006).

O Brasil vem experimentando na última década um bom desempenho no crescimento da economia. Entre 2005 e 2030, segundo estudos da Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE, intitulado *Matriz Energética Nacional 2030*, a oferta interna de energia aumenta 154% a uma taxa média anual de 3,8%.

Em 1940-50 para uma população de cerca de 41 milhões de habitantes, dos quais 69% se concentravam no meio rural, a demanda total de energia primária era de apenas 24 milhões de tep. Trinta anos depois, em 1970, para uma população de mais de 93 milhões de habitantes a demanda já alcançava cerca de 70 milhões de tep, 2,8 vezes mais. Outros trinta anos transcorreram, no ano 2000, a população quase dobrou, alcançando a marca dos 171 milhões, enquanto a demanda de energia se elevou a 200 milhões de tep, ou seja, um crescimento de cerca de 2,9 vezes.

Em relação a outros países o Brasil ainda demonstra, por um lado a predominância de uma matriz energética limpa e por outro uma intensidade energética alta em relação aos países desenvolvidos, significando um uso ineficiente da energia (MME / EPE, 2007).

Tendo por base o relatório *Matriz Energética Nacional 2030* da Empresa Pesquisa Energética / Ministério de Minas e Energia o ritmo de crescimento da atividade agropecuária no país em todos os cenários, a expansão do consumo de energia nesse setor também é maior ou igual à média geral do país. A despeito do uso mais eficiente de energia, esse acelerado crescimento da demanda se justifica pela crescente mecanização da lavoura e maior disseminação da eletricidade para irrigação. Embora os principais setores responsáveis pelo grande aumento na demanda energética serão o de Serviços como o transporte e o da indústria de transformação.

A participação do setor agropecuário estimada no PIB total alcança 8,8% de participação em 2030 a partir dos atuais 8,4% (2005) (Tabela 2). A participação do setor agropecuário no consumo final total de energia (inclusive setor energético e usos não-energéticos) no país em 2030 é de cerca de 4,6%, resultado das taxas de crescimento do setor agropecuário brasileiro no PIB, bem como do cenário de modernização estimado para a atividade.

O setor agropecuário se mostra grande demandante de óleo diesel – atrás apenas do setor de transportes – e a estimativa é de elevação desta participação, ademais se preconiza uma forte penetração de biodiesel neste setor.

Tabela 2. Produto Interno Bruto por Setor (em US\$ bilhões de 2005)

	2005	2010	2020	2030
Agricultura	66,89	84,86	121,61	187,27
Indústria	318,52	384,39	529,78	782,88
Serviços	410,89	486,59	726,05	1.163,13
TOTAL	796,30	955,84	1.377,43	2.133,28

Fonte: Ministério de Minas e Energia / EPE 2007.

Nessas condições, em 2030, os derivados do petróleo devem permanecer na liderança da matriz do consumo final de energia, ainda que sua participação caia para algo entre 34% e 36%, dos 42% em 2005, se observa também uma contribuição marcante da silvicultura no fornecimento de lenha e carvão vegetal com 11,4 %, sendo que a maior parte dessa madeira virá da eucaliptocultura (Tabela 3). Lembrando que uma parcela do diesel será oriunda do processamento de óleos vegetais. A eletricidade consolida-se como segunda forma de energia mais utilizada, com sua participação elevando-se para a faixa de 22% a 24%. Produtos da cana também ganham participação, em razão do crescimento do etanol (para 14%), e o gás natural tende a responder por aproximadamente 8% do consumo final de energia.

Nesse cenário de crescimento observa-se que a demanda de energia (principalmente fóssil) e matérias-primas aumenta, evidenciando o difícil equacionamento de crescimento econômico e conservação ambiental. Confirmando a formulação de Elmar Altvater (1995), onde com base na segunda lei da termodinâmica, propõe que o desenvolvimento é um processo de organização social com gasto de energia (aumento de entropia), apoiado na entrada de matérias-primas e energia fóssil. A indústria é colocada como o centro motor dessa operação, tendo como marco principal o fordismo², apresentando-se como modelo universal de desenvolvimento, aumentando a produtividade e de forma mais agressiva o consumo de matérias-primas e energia.

O desenvolvimento alimentado por energia fóssil, conforme a Economia-Ecologia é fruto de uma valoração que “não leva em conta a natureza”, da chamada economia neoclássica, pois o real valor da energia fóssil, das matérias primas e serviços ambientais não são adequadamente valorados, implementando o desenvolvimento a custo de elevada pressão nos ecossistemas, tendo como efeito indesejado a falta de sustentabilidade tão almejada e discutida por cúpulas governamentais, colocada na literatura como “sustentabilidade fraca”.

A contraposição a essa forma de valoração é a da economia-ecológica que com base em análises multicriteriais e de uma bateria de indicadores e de índices físicos, como capacidade de sustento, pegada ecológica, análise eMergética dentre outros, possibilita um dimensionamento adequado da sustentabilidade, conhecida como “sustentabilidade forte”.

Um setor que carece de uso de metodologias desse tipo é o setor florestal, especificamente o da eucaliptocultura, que apresenta um papel importantíssimo no cenário florestal brasileiro, como também para o PIB do setor primário. Tendo em vista as constantes

² Refere-se à pioneira experiência empresarial de Henry Ford, descrevendo uma fase avançada da racionalização do trabalho industrial, ou, para evocar uma etapa superior do *taylorismo*. Em Gramsci (1934) a ênfase estava mais no rendimento fabril do operário do que em seu modo de consumo. VEIGA, 1997.

polêmicas que envolvem o cultivo de eucalipto no Brasil, o uso de uma ferramenta como a análise eMergética (energia agregada em um produto) pode completar análises econômicas e energéticas que já são usadas nesse processo produtivo. Possibilitando dentre outras coisas o melhor conhecimento do impacto dessa cultura no ambiente, como também a sustentabilidade do setor.

O presente trabalho analisa as opções metodológicas para dimensionar a sustentabilidade, a aplicação e relevância da metodologia eMergética, para estimar a sustentabilidade da eucaliptocultura. A partir desse critério de eMergia, compreender o papel da natureza na geração de riqueza no sistema produtivo do cultivo de eucalipto, o impacto da atividade no ecossistema, bem como contribuir com outra forma de valorizar os recursos naturais indispensáveis à nossa subsistência.

Tabela 3. Estrutura do Consumo Energético Final por Fonte de Energia (em %)

Fontes	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Gás natural	0,4	0,8	1,9	2,4	2,7	4,1	6,8
Carvão mineral	0,1	0,5	1,3	0,8	0,9	1,7	1,8
Lenha	30,7	20,9	17,0	12,3	8,8	7,9	8,2
Bagaço de cana	4,4	6,5	10,0	8,8	9,7	7,8	10,8
Outras fontes prim. Renováveis	0,3	0,7	1,0	1,2	1,4	1,7	2,2
Gás de coqueria	0,4	0,6	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7
Coque de carvão mineral	1,9	3,1	4,2	4,0	4,6	3,8	3,3
Eletricidade	7,1	10,1	12,7	14,7	15,4	16,6	16,5
Carvão vegetal	3,9	4,1	5,3	4,8	3,3	2,8	3,2
Álcool etílico	0,3	1,6	4,0	5,0	5,1	3,8	3,7
Outras secundárias - alcatrão	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Subtotal de derivados de petróleo	50,1	50,8	41,3	44,9	46,9	49,0	42,7
Óleo diesel	12,0	15,0	14,6	16,4	17,1	17,2	16,5
Óleo combustível	15,1	15,5	7,5	7,6	7,5	5,5	3,4
Gasolina	13,4	8,5	5,2	5,9	7,5	7,7	7,0
Gás liquefeito de petróleo	2,4	2,9	3,5	4,5	4,4	4,6	3,6
Nafta	1,2	1,5	3,4	3,9	4,0	4,7	3,7
Querosene	2,1	2,1	1,8	1,7	1,7	1,9	1,3
Gás canalizado	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0
Outras secundárias de petróleo	1,2	2,0	2,1	2,2	2,6	4,8	4,9
Produtos não-energ.De petróleo	2,5	3,0	2,9	2,5	2,0	2,6	2,3
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: BEN - MME/EPE (2006).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Economia, Energia e Desenvolvimento

O crescimento econômico é um tema que permeia intensamente toda a vida moderna, o mesmo se torna um balizador tanto macro-econômico, quanto, social, cultural, ambiental e político, se o país está crescendo economicamente há uma calma coletiva, se pelo contrário o crescimento é pequeno ou até mesmo negativo, há uma conturbação social generalizada. A recente crise global no sistema financeiro que temos vivido é um cristalino exemplo do inquestionável poder da “máxima” do crescimento econômico, assim como o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC do governo brasileiro segue na mesma direção.

A busca pelo crescimento econômico se dá pelo fato de que o mesmo é condicionante para o aumento da capacidade de um país em fornecer bens e serviços às pessoas, existindo uma demanda social por padrões de qualidade de vida e, por conseguinte, de consumo desses bens e serviços. Conseguir esse aumento requer crescimento populacional (mais produtores e consumidores), maior produção e consumo por pessoa ou ambos, “aquecendo” a economia.

O crescimento econômico normalmente é medido pela mudança percentual no Produto Interno Bruto-PIB de um país: o valor de mercado anual de todos os bens e serviços produzidos por todas as empresas e organizações, nacionais e estrangeiras, que operam dentro de um país. As mudanças no crescimento econômico de um país por pessoas é expresso no PIB *per capita*: o PIB dividido pela população total no meio do ano.

O crescimento econômico proporciona então o desenvolvimento econômico que é a melhoria dos padrões de vida dos seres humanos. A Organização das Nações Unidas classifica os países do mundo como desenvolvidos ou em desenvolvimento econômico, com base principalmente em seu grau de industrialização e em seu PIB *per capita*, que por sua vez é diretamente proporcional ao crescimento econômico.

Miller (1931) resume da seguinte forma, o crescimento econômico dá as pessoas mais bens e serviços e o desenvolvimento econômico usa o crescimento econômico para melhorar os padrões de vida.

As economias humanas se apóiam em maior ou menor intensidade numa base de recursos naturais. Afinal a natureza fornece recursos para a produção de bens e, ao mesmo tempo, “amenidades” ambientais variadas. Disponibiliza gratuitamente serviços essenciais sobre os quais apóia a vida, como o ciclo do carbono e os ciclos de nutrientes e água, a formação dos solos, a regulação do clima, a conservação dos minerais, a dispersão ou assimilação dos contaminantes e as diversas formas de energia utilizáveis (MARTÍNEZ-ALIER, 2007).

Gadotti (2000) faz uma crítica ao conceito de desenvolvimento colocando que o mesmo não é neutro. Ele tem um contexto bem preciso dentro de uma ideologia do progresso, que supõe uma concepção de história, de economia, de sociedade e do próprio ser humano. O conceito foi utilizado numa visão colonizadora, durante muitos anos, na qual países do globo foram divididos entre “desenvolvidos”, “em desenvolvimento” e “subdesenvolvidos”, remetendo-se sempre a um padrão de industrialização e de consumo. Ele supõe que todas as sociedades devam orientar-se por uma única via de acesso ao bem-estar e à felicidade, a serem alcançadas apenas pela acumulação de bens materiais. Metas de desenvolvimento foram impostas pelas políticas econômicas neocolonialistas dos países chamados “desenvolvidos”, em muitos casos com enorme aumento da miséria, da violência e do desemprego. O desenvolvimentismo levou a agonia do planeta.

Tendo em vista a forma que os países alcançaram o desenvolvimento econômico, uma perceptível dívida ambiental se fez em todo o globo terrestre, evidenciando que no desenvolver da história humana, uma formulação difícil foi a de “levar em conta a natureza”. Primeiramente de como responder a pergunta; qual o valor da natureza na economia? (Afinal ela foi e vem sendo usada de forma indiscriminada, em maior ou menor escala) E segundo que “valor” é esse? Pois quando decidimos que alguém ou algo é “muito valioso” ou “pouco valioso” essa é uma apreciação que suscita uma outra pergunta: valioso em função de qual padrão ou tipo de valoração? (O’NEIL, 1993).

Na busca de uma economia que “leve em conta a natureza”, diferente da abordagem economia neoclássica (Figura 1), surge então a atual economia ecológica (Figura 2) que vê a economia humana imersa em um ecossistema mais amplo. A economia ecológica estuda (de um enfoque reprodutivo) as condições (sociais ou de distribuição dos patrimônios e rendas, temporais, espaciais) para que a economia (que absorve recursos e expõe resíduos) se encaixe nos ecossistemas, estudando também a valoração dos serviços prestados pelo ecossistema ao subsistema econômico (MARTÍNEZ-ALIER, 1998).

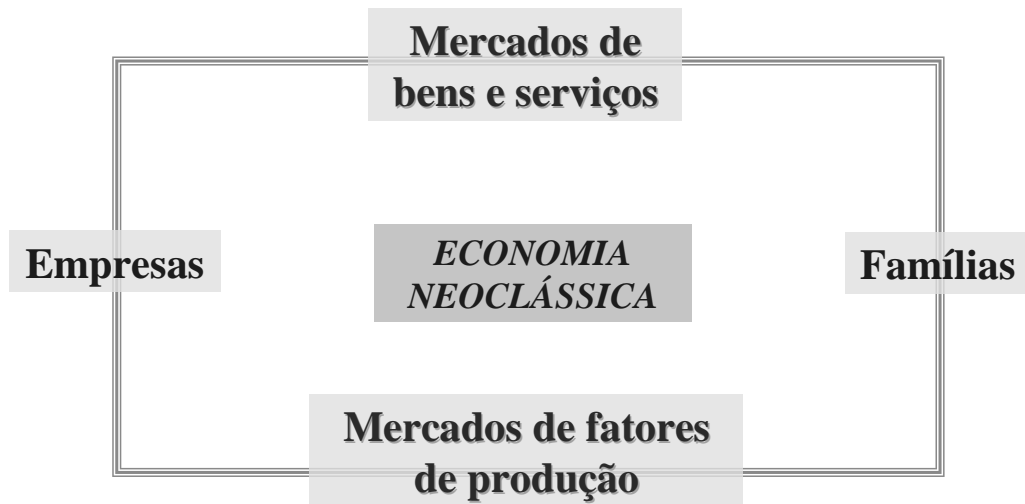


Figura 1 Duas visões da economia – Economia Neoclássica. Fonte: MARTÍNEZ-ALIER, 1998.

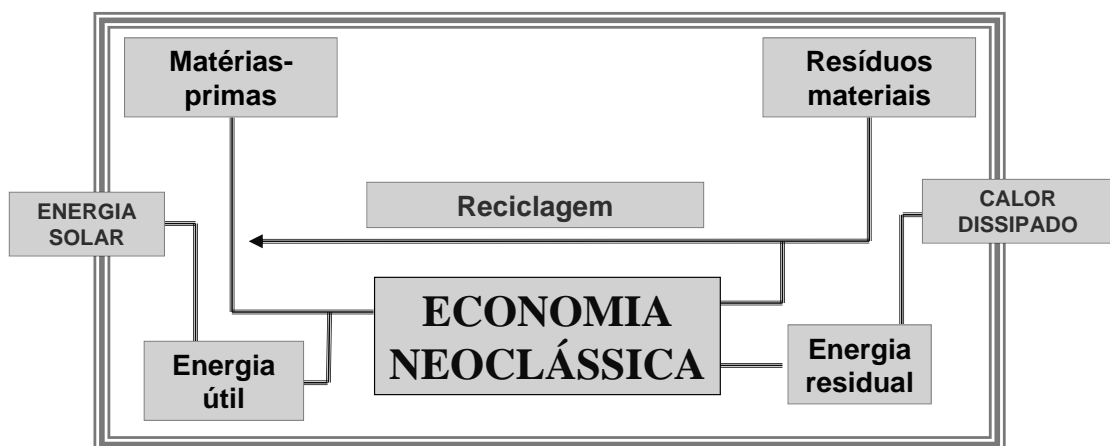


Figura 2. Duas visões da economia – Economia Ecológica. Fonte: MARTÍNEZ-ALIER, 1998.

A economia neoclássica analisa os preços, tendo uma concepção metafísica da realidade econômica que funciona um *perpetuum móbile* lubrificado pelo dinheiro. As empresas vendem bens e serviços e com isto remuneram os fatores de produção (terra, trabalho e capital) (MARTÍNEZ-ALIER, 1998).

Solow (1974), (Prêmio Nobel de Economia por seus modelos metafísicos de crescimento econômico) afirmou em um artigo que se ficarmos sem recursos naturais, outros fatores de produção, especialmente o trabalho e o capital reproduzível, pode servir de substitutos. Considerando que os recursos naturais (como fonte de insumos e como capacidade de assimilação de impactos dos ecossistemas) não representam a longo prazo, um limite absoluto à expansão da economia. Pelo contrário, inicialmente estes recursos sequer apareciam em suas representações analíticas da realidade econômica como, por exemplo, na especificação de função de produção onde entravam apenas o capital e o trabalho. A economia funcionava sem recursos naturais. (Figura 3) (ROMEIRO, 2003).

Uma postura diferente está na Economia Ecológica, que vê o sistema econômico como um subsistema de um todo maior que o contém, impondo uma restrição absoluta à sua expansão (Figura 4). Capital e recursos naturais são essencialmente complementares. O progresso científico e tecnológico é visto como fundamental para aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais em geral (renováveis e não renováveis) (ROMEIRO, 2003).

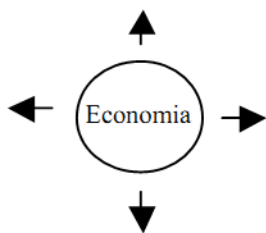


Figura 3. A economia cresce de forma autônoma

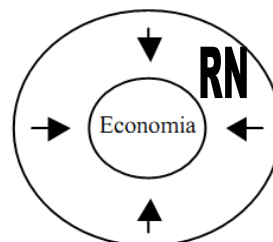


Figura 4. O crescimento da economia é restrito pelos Recursos Naturais (RN)

FONTE: ROMEIRO, 2003.

A economia ecológica vê o planeta como um sistema aberto à entrada de energia solar. A economia necessita de entradas de energia e de materiais. A economia produz dois tipos de resíduos: o calor dissipado (pela Segunda Lei da Termodinâmica) e os resíduos materiais, que, mediante a reciclagem, podem voltar a ser parcialmente utilizados (Figura 5). O funcionamento da economia tanto exige um fornecimento adequado de energia e materiais (e a manutenção da biodiversidade) quanto exige poder dispor dos resíduos de maneira não-contaminante. Os serviços que a natureza presta a economia humana não estão bem valorados no sistema de contabilidade da economia neoclássica. (MARTÍNEZ-ALIER, 1998).

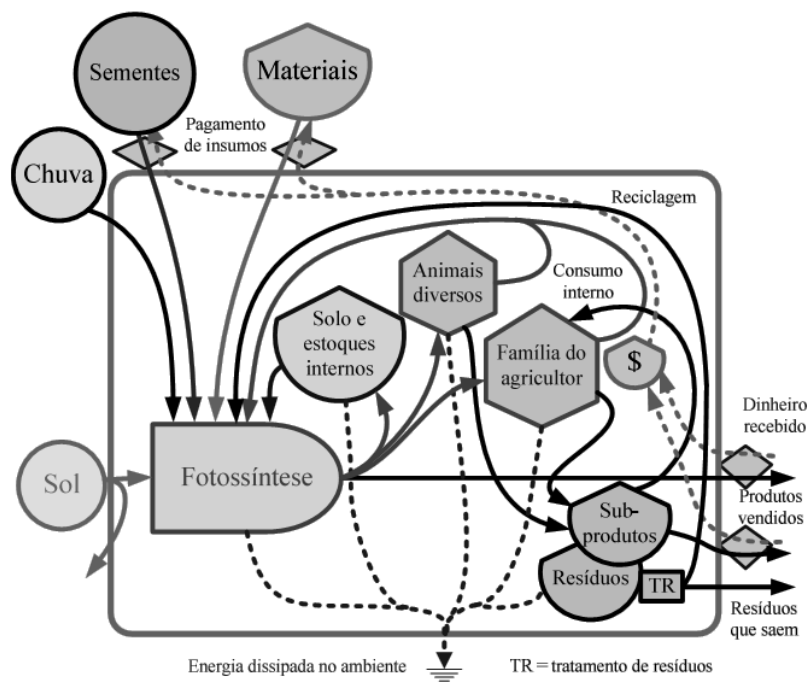


Figura 5. Diagrama de uma unidade economia rural familiar, na linguagem de sistema. Fonte: Ortega et al., 2008.

Para que haja o esperado desenvolvimento se faz necessário o consumo de matérias primas e energia útil (Figura 2). Foi pela ocasião da Revolução Industrial que a capacidade da humanidade de intervir na natureza dá um novo salto colossal, caracterizando-se essencialmente pelo domínio da energia. Essa revolução teve início na Inglaterra, no século XVIII, exatamente por causa das suas imensas minas de carvão, que possibilitaram, já por volta de 1720, o emprego de bombas a vapor para extrair água da própria mina. Segundo Branco (1990) a Revolução Industrial transformou a espécie humana – O *Homo sapiens* – em uma nova espécie, o homem energético.

Para Romeiro (2003) a Revolução Industrial baseada no uso intensivo de grandes reservas de combustíveis fósseis, abriu caminho para uma expansão inédita da escala das atividades humanas, que pressiona fortemente a base de recursos naturais do planeta.

Na história do consumo energético, no século XVIII inicia-se a era do carvão mineral, enquanto o século XX recorre-se ao petróleo e ao gás natural e, posteriormente, aos combustíveis nucleares, alimentado todo o processo de desenvolvimento através da industrialização.

Georgescu-Roegen utiliza o conceito de “revolução prometéica³” para designar a situação da ampliação brusca da base energética e, por esta via, da produtividade do trabalho e da produção de riquezas de uma sociedade. A primeira “revolução prometéica” ocorreu durante o neolítico, quando os homens aprenderam a dominar o fogo e a queimar com uma acha em brasa áreas inteiras para a utilização agrícola, fornecendo nutrientes ao solo através das cinzas. Deste modo, puderam surgir sociedades agrárias e, com elas, os primórdios da civilização (ALTIVATER, 1995).

³ Prometeu deu o fogo aos gregos, e o fogo converte materiais frios em energia calórica, o que permite não apenas cozinhar e aquecer o ambiente, mas também a metalúrgica de metais e a cerâmica. ALIER. 1998.

A segunda “revolução prometéica” ocorreu quando se obteve êxito na combinação de fogo e água para o aumento do grau de eficiência energética e, assim, para o aumento da produtividade do trabalho: Quando se aquece uma caldeira e a pressa do vapor é concentrada para a realização de trabalho, pode-se minerar por este intermédio uma quantidade de carvão mineral muitas vezes superior à quantidade queimada (ALTIVATER, 1995).

A possibilidade de conversão de energia térmica em trabalho induziria, também, junto com a revolução industrial, uma nova visão de mundo; a possibilidade de a energia se conservar e ao mesmo tempo se alterar qualitativamente, contrariava inicialmente a compreensão tradicional da natureza. Vento, água e tração animal, ao lado das máquinas simples que estes movimentavam, constituíam ainda, no século XVIII, as únicas fontes de força motriz imagináveis. ((Prigogine & Stenger 1986); Em ALTIVATER 1995).

Com o recurso “prometéico” o homem já não trabalha, mas manda trabalhar (superação das limitações da energia biológica). O modo de produção torna-se independente da produção ecológica, da produção primária líquida de biomassa por meio da natureza viva. Para os sistemas econômicos, isso tem a grande vantagem de que, para o aumento da produtividade, os sistemas não são vinculados espacialmente aos locais onde se realiza a produção da biomassa. É possível recorrer a portadores de energia fósseis que são comparativamente fáceis de transportar e de alimentar. Em consequência, é possível concentrar os sistemas industriais em regiões em que a Produção Primária Líquida - PPL é baixa, enquanto que nos locais onde a PPL é elevada faltam os processos de transformação econômica para o aumento da produtividade, tendo que exportar. Assim, torna-se inicialmente possível desviar-se das restrições ecológicas de um modo inteligente, modificando-se a base energética da sociedade.

A Revolução Industrial é o clímax de uma série de transformações, sendo o uso da energia fóssil alimentando máquinas o fator chave para o salto no ganho da produtividade, ou seja, aceleração do crescimento econômico, a partir de uma base industrial (modelo de desenvolvimento a partir da indústria), a maior produtividade exigiu mais intensa exploração dos recursos naturais e uma possibilidade de transportar recursos a longas distâncias graças a qualidade energética dos combustíveis fósseis. Todo esse contexto foi crucial para a divisão geopolítica entre os países industrializados do norte (zonas temperadas) e os países em desenvolvimento (zonas tropicais), os quais exportam seu capital natural para ser industrializado no Hemisfério Norte. Como afirma Altvater (1995). “A pátria do capital é a zona temperada e não o clima tropical com a sua vegetação exuberante”. Assim mais importante do que ter o recurso natural é possuir energia fóssil para transportá-lo e um sistema de transformação altamente produtivo para transformá-lo, cria-se de forma marcante a possibilidade de desenvolvimento sem necessariamente se ter uma base ecológica local para isso.

Elmar Altvater em seu livro *O Preço da Riqueza*, 1995. Apresenta uma formulação onde com base na segunda lei da termodinâmica, propõe que o desenvolvimento é um processo de organização social com gasto de energia (aumento de entropia), apoiado na entrada de matérias-primas e energia fóssil. A indústria é colocada como o centro motor dessa operação, tendo como marco principal o fordismo apresentando-se como modelo universal de desenvolvimento, aumentando a produtividade e de forma mais agressiva o consumo de matérias-primas e energia.

“Sintropia e entropia são conceitos da física com que, em sistemas fechados, descrevem-se e medem-se estados (de ordem) e sua transformação. Sintropia designa um estado de um sistema (fechado) de elevada ordem, podendo também ser traduzido como um estado da baixa entropia. Podendo designar tanto energia como elevada ordem material.”

“Os componentes materiais de um sistema numa ilha de sintropia positiva não se encontram misturados de maneira indistinguível, mas ordenadamente separados e, portanto, facilmente identificáveis e apreensíveis para o processo econômico. Por exemplo, quando há parcelas da crosta terrestre em que os diversos elementos de que o planeta é formado não se encontram desordenadamente misturados, mas separados ordenadamente e facilmente acessíveis para os homens (veios de ouro, minas de ferro, reservas de bauxita, depósitos de carvão, campos petrolíferos, bolhas de gás natural), então se pode falar em ilhas (positivas) de sintropia. No curso da história da Terra formaram-se ilhas de elevada sintropia positiva, por exemplo, durante a formação geológica dos continentes”.

Nesse contexto o fordismo se apresenta como o macrosistema de ‘acumulação intensiva’ com ‘regulação monopolista’, característico das economias centrais nas décadas de 50 e 60. Orquestrando o “modo de vida total” do último auge cíclico do capitalismo. Sendo no bojo do fordismo que o regime de acumulação intensiva, alcança ganhos exponenciais (VEIGA, 1997). No fordismo, a energia biológica do trabalhador seria substituída progressivamente por máquinas que operam mediante fontes energéticas fósseis, capazes de fornecer um múltiplo em intensidade produtiva por unidade de tempo, assim destaca-se o caráter fossilista do fordismo (ALTVATER, 1995).

Citando Karl Marx, o fordismo é uma inovação técnica e social que inclui também um novo modo de interação com a natureza exterior: esta apreendida essencialmente como fonte de recursos, erigindo-se entre os homens e a natureza uma “escada” tecnológica. (ALTVATER, 1995).

O elevado fornecimento de matérias-primas energéticas e minerais e o sistema de transformação técnico e social de energia do fordismo possibilitariam taxas superiores de crescimento da produtividade do trabalho e, por esta via, também a superação dos limites da produtividade e da lucratividade no final do século. Somente com o fossilismo o fordismo pôde constituir estruturas coerentes e desenvolver sua dinâmica superior. Demandando quantidades enormes de combustíveis (CHANDLER, 1977).

O moderno modo fordista de regulação conseguiu produzir aumentos de produtividade (relacionando-os a aumento de rendimentos) numa dimensão até então desconhecidas da história humana, justamente por meio de um aproveitamento extraordinariamente extensivo de recursos naturais (materiais e energias) e por sua conversão em valores formados no curso da história. A revolução industrial funda-se sobre uma inovação “prometéica”, mas a fase fordista não. Nesta, apenas são aperfeiçoadas, ampliadas e maximizadas as possibilidades de utilização de recursos naturais fósseis iniciadas com a máquina a vapor. A produção mais intensiva e o aumento da produtividade do trabalho tornam-se possíveis mediante uma utilização extensiva de recursos naturais (tanto como *input* quanto como *output*). (ALTVATER, 1995).

Foi num contexto de extrema abundância que esse modelo fordista se estabeleceu, como também a base da atual de economia, como relata Agnew (1987):

“Naquela época, os recursos naturais dos Estados Unidos só podiam ser descritos em termos gigantescos: enormes quantidades de todas as matérias-primas importantes para a industrialização – carvão mineral, minério de ferro, cobre, zinco, ouro, prata, além de gigantescas quantidades de petróleo, terras agricultáveis férteis que se estendiam por milhares de quilômetros quadrados; zonas climáticas suficientemente diferenciadas para permitir plantações para a utilização industrial, como as de cânhamo, algodão ou açúcar; e ricas regiões florestais aptas a fornecer grandes lotes de madeira de construção e uma ampla gama de produtos florestais”.

Assim a abundância de recursos naturais possibilitou o avanço da produtividade em termos energéticos e materiais, dando uma noção de que não havia restrições naturais, contudo, após poucas décadas de rápida industrialização na base de produção e do consumo de massa, revelou-se nos EUA a possibilidade de esgotamento das ilhas de sintropia; e isto por dois motivos: *em primeiro lugar*, apesar de sua dimensão continental, o espaço geográfico é tão limitado quanto os são as ricas jazidas de recursos naturais. *Em segundo*, o aumento da produtividade do trabalho, isto é, o objetivo da mensagem fordista, exige justamente o acesso exponencial a recursos naturais de ilhas de sintropia: conforme a característica do modelo, portanto instala-se uma tendência de aceleração da pilhagem. Por esta via, o sucesso do modelo fordista corrói por baixo a sua base de recursos naturais fósseis em solos americanos (ALTVATER, 1995).

Os Estados Unidos transformaram-se, desde os anos 40 deste século, num importador de recursos naturais minerais, e a parcela importada destes cresce continuamente no consumo. Assim, não se pilham apenas as ilhas de sintropia nacionais, mas também aquelas de outros países e continentes. O fordismo torna-se um sistema mundial em que, partindo dos EUA, localizam-se nos países industrializados os sistemas de transformação de energia, com os conseqüentes modos sociais de regulação, e os países produtores de recursos naturais são caracterizados, no âmbito da divisão internacional do trabalho, como ilhas de sintropia (ALTVATER, 1995).

As linhas gerais do desenvolvimento para Altvater significam o consumo de recursos e, portanto, aumento da entropia e incoerência, desordem. Assim, de modo algum é evidente que pela política de desenvolvimento se realiza o objeto almejado da produção de ordem. O desenvolvimento constitui sempre um processo de distribuição de possibilidades de acesso a matérias-primas (ilha de sintropia) e de “direitos de poluição” constatados nos rejeitos de entropia. Logo o processo de aumento de produtividade é, ao mesmo tempo, um processo de utilização acelerada de recursos naturais.

Em resumo os países industrializados custeiam sua ordem (gasto energético), produzindo desordem (aumento da entropia) em outros países, o que seriam das economias modernas sem a sua hereditária exploração das economias ditas subdesenvolvidas? Com a vantagem de que nesse sistema moderno a fonte de energia e matérias não precisa estar necessariamente no território, pois através de energias fósseis é possível não somente aumentar a produtividade, mas também transportar através de longas distâncias de forma economicamente “viável” energia de alta qualidade para realimentar o processo.

A relação entre economia, energia e desenvolvimento é a seguinte, desenvolver é industrializar e para isso é necessário do ponto de vista ecológico, consumir reservas energéticas e matérias-primas, enquanto *inputs*; e ao meio ambiente, enquanto depósito para as emissões industriais, enquanto *output*. A natureza é tanto a fonte como o sumidouro, eis aí a estreita relação entre economia, energia e desenvolvimento. O moderno sistema industrial capitalista é o modelo depende de recursos naturais numa dimensão desconhecida a qualquer outro sistema social na história da humanidade.

Os recursos uma vez utilizados no processo de desenvolvimento, não estarão disponíveis uma segunda vez para uso com a mesma qualidade. Esta trivialidade só na seria problemática se o meio ambiente não fosse limitado, se a capacidade da biosfera e das esferas abióticas fosse ilimitada. Como exemplo básico tem-se a gasolina que depois de usada não pode ser utilizada uma segunda vez, já que a qualidade da energia é reduzida pelo aumento da entropia, segundo a termodinâmica.

O resultado é que qualquer estratégia de desenvolvimento, e, portanto, de industrialização, trás conseqüências para o meio ambiente. Desenvolvimento e meio ambiente

encontram-se em uma relação recíproca: atividades econômicas transformam o meio ambiente e o ambiente alterado constitui uma restrição externa para o desenvolvimento.

Altvater concorda que o desenvolvimento “deve ser economicamente eficiente, ecologicamente suportável, politicamente democrático e socialmente justo”, mas não vê como isso pode ser feito sob o modo de produção fordista, intrinsecamente insuportável. O sonho de um capitalismo ecológico é insustentável (GADOTTI, 2000).

Devido a essas mudanças e impactos causados por esse modelo de desenvolvimento pautado no nível de industrialização que um país possui, ocasionando maior pressão sobre energia fóssil e matérias-primas, se torna perceptível que a visão da economia neoclássica, não é capaz de “levar em conta a natureza”, sobretudo pela sua base quase que exclusivamente monetária de valorar.

Como levar em conta a natureza? Essa pergunta evidencia ainda as debilidades das bases do nosso sistema econômico que na forma clássica ainda não conseguiu ou buscou colocar o custo ambiental nas equações produtivas, assim perdura esse modelo voraz de apropriação da riqueza que tem levado a agonia do planeta e por consequência do homem e todos os moradores da casa comum, chamada Terra (BOFF, 2008).

Metodologias de valoração vêm sendo adotadas como tentativa de atribuir valores monetários aos fluxos anuais de alguns serviços ambientais para compará-los monetariamente com o PIB. Por exemplo, é possível identificar um valor monetário plausível para o ciclo de nutrientes (nitrogênio, fósforo), em alguns sistemas naturais, comparando-os com os custos das tecnologias econômicas alternativas. No entanto, no caso da biodiversidade esse tipo de valoração não pode ser usada. Portanto quanto à biodiversidade, a valoração monetária tem tomado uma via completamente diferente, a saber, na forma de pequenas somas em dinheiro pagas por alguns contratos de bioprospecção, ou valores fictícios subjetivos em termos da disposição em pagar por projetos de conservação, isto é, o chamado método da “valoração contingente” favorecido pelos economistas ambientais. Além disso, como contabilizaríamos em termos dos custos da tecnologia alternativa – o serviço que a natureza nos proporciona ao concentrar os minérios que nós utilizamos? Custos “exergéticos” têm sido calculados por ecólogos industriais. Contudo, a tecnologia para criar tais depósitos de minérios não existe. Assim sendo, as cifras disponíveis a respeito dos valores monetários aplicados aos serviços ambientais disponibilizados de forma gratuita pela natureza carecem de coerências metodológicas (COSTANZA *et al.*, 1997).

A sociedade industrial é complexa, no entanto, os riscos ambientais provenientes dessas podem ser percebidos de forma latente, mas nem sempre podem ser mensurados eficientemente pela ciência. Assim a noção de incerteza substituiu a noção de probabilidade, o que significa uma admissão da incapacidade da sociedade em prever perdas catastróficas irreversíveis. A ciência se tornou crescentemente questionada pelo fato de levantar, nesses casos, mais dúvidas do que propor soluções. Foi isso que levou a sociedade a buscar segurança em meio à incerteza através do princípio da precaução.

Perrings (1991) argumenta que o tipo de decisão à qual se aplica o princípio da precaução é aquela para a qual a distribuição de probabilidade dos resultados futuros não pode ser conhecida com segurança.

O que há de novo é que essa postura apresenta uma ruptura com o arsenal científico e tecnológico da ciência normal. A precaução, ao contrário, implica tomar certa distância em relação à ciência e à tecnologia. Reflete efetivamente a constatação de que não se pode ter o controle total de acidentes e problemas que não são decorrências estatísticas regulares do próprio funcionamento do sistema.

Nesse contexto entra em cena o procedimento de tomada de decisão em relação ao desenvolvimento, e por conseqüência da sustentabilidade requerida do mesmo, baseada no que se chama de ciência “pós-normal”, no sentido de que os procedimentos usuais baseados na ciência “normal” não são suficientes, embora, continuem necessários para orientar o processo e tomada de decisão. Refletindo efetivamente a constatação de que não se pode ter o controle total (ou quase) de acidentes e problemas que não são decorrências estatísticas regulares do próprio funcionamento do sistema, tratáveis via sistemas de seguros, mas representam situações e problemas onde predomina o sentimento da singularidade e irreparabilidade.

Hourcade (1997) Propõe uma analogia, para melhor entendimento do princípio da precaução, comparando o comportamento de dois motoristas em situações distintas: aquele do piloto de fórmula 1 diante de uma série de curvas na pista de corrida com aquele do motorista numa estrada de montanha no inverno. A “função objetiva” do piloto de fórmula 1 é maximizar a velocidade num contexto de incertezas não desprezíveis em relação, por exemplo, à presença ou não de óleo ou areia na curva, à aderência dos pneus ou ao comportamento do piloto da frente. Mas sua decisão depende de sua experiência acumulada, a qual lhe confere um tipo de conhecimento estatístico e, nesse sentido, seu comportamento seria similar a um cálculo de otimização: ele opta desde logo por uma dada trajetória que ele considera ótima tendo em conta, implicitamente, a distribuição de probabilidades sobre parâmetros incertos, confiando na própria experiência para permanecer no limite das possibilidades de adaptação permitidas por seus reflexos. Este comportamento equivale à aplicação de uma análise custo-benefício para decidir por uma dada política ambiental.

Essa analogia se exemplifica em tantos casos onde o processo de tomada de decisões em relação à implantação, por exemplo, de obras físicas, envolvendo desapropriação humana, impacto intenso sobre espécies endêmicas, mudanças na dinâmica ambiental dentre outras precisa ser avaliado. Onde o gestor por vezes não encontra as respostas adequadas na ciência normal, podendo aplicar legitimamente o princípio da precaução, decidindo pela não autorização de determinado empreendimento, revelando que tomar decisão e valorar no âmbito da questão ambiental não é tarefa simplória.

Portanto, o processo de tomada de decisões sobre a aplicação do princípio de precaução não é simples, mas exige certos tipos de procedimentos. Funtowicz & Ravetz (1991) propõem uma classificação e hierarquização destes procedimentos de acordo com a importância do que está em jogo e com o nível de incerteza sistêmica Figura 6.

Nessa linha Romeiro (2002) acrescenta:

“O caso do efeito estufa, apresenta níveis epistemológicos de incerteza (algo próximo da ignorância), no sentido de que esta incerteza decorre da incapacidade da ciência de eliminá-la ou reduzi-la a níveis razoáveis. Além disso, o que está em jogo é algo muito importante, que representa perdas catastróficas. Neste caso, o procedimento de tomada de decisão adequado deve ser baseado no que eles chamam de ciência “pós-normal”. A incerteza metodológica, neste caso, ocorre, por exemplo, quando se vai decidir entre as opções de política energética de um país para atender aos limites negociados. Ainda não é uma decisão que se possa tomar como um resultado incontestável de uma análise científica, pois entram em jogo valores e confiabilidade. É necessário chegar a um compromisso de equilíbrio entre opções tecno-científicas e os interesses em jogo. Trata-se, portanto, de um processo que exige “arte” além de ciência, um tipo de “arte aprendida” como a medicina ou a engenharia, a ser levado a cabo por grupos de especialistas. Finalmente, a incerteza técnica aparece em situações que podem ser enfrentadas com o recurso da rotina padrão derivadas de estatísticas

e suplementadas por técnicas e convenções desenvolvidas para cada campo em particular como, por exemplo, no processo de otimização de uma dada opção energética”.

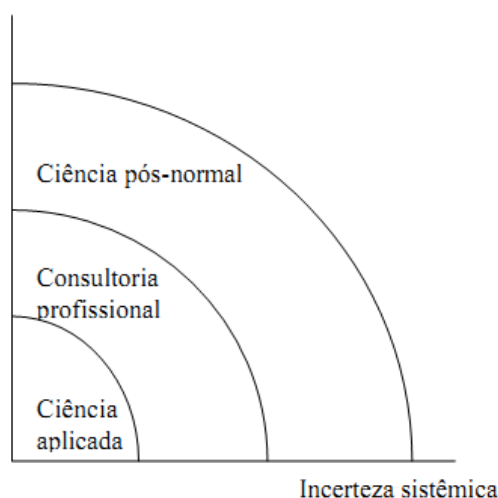


Figura 6. O que está em jogo no processo de decisão. Fonte: ROMEIRO, 2002

Tomar decisões no âmbito dos recursos naturais envolve, sobretudo, a forma como se está valorando os mesmos, nesse sentido Martínez-Alier (2007), coloca que o valor da contribuição da natureza deve ir além da dimensão econômica, como os sociais, os físicos ou ecológicos e os culturais. Na avaliação de projetos isso não pode ser implementado com reducionismos, mas sim pelos métodos de avaliação multicriterial, e, como tal, isentos de compensação e de *trade-offs*. Exemplificando, quando as pessoas de cor eram obrigadas a viajar sentando-se na última fileira de bancos de veículos nos Estados Unidos, isso não podia ser compensado, na escala da dignidade humana, com uma passagem mais barata. Resumindo da seguinte forma: As avaliações econômicas se tornam uma pequena ilha que apenas flutua em meio a um mar de externalidades invaloráveis.

2.2 Índices de Sustentabilidade

A cosmovisão que se formou em nossa sociedade contemporânea a respeito do meio ambiente recebeu grande influência dos movimentos ambientalistas, esses estão inseridos dentro de três correntes de percepções da questão ambiental, com diversos elementos comuns, conforme categorizado por Martínez Alier (2007), a saber: “O culto ao silvestre”, “O credo da ecoeficiência” e “A justiça ambiental”, fundamentados nas diferentes ciências ambientais, tais como a biologia da conservação, a ecologia industrial e outras das quais emergem conceitos como a noção de sustentabilidade segundo o autor.

O conhecimento dessas três correntes se faz necessário, pois nelas estão as bases conceituais que formaram nossa “consciência ambiental”, até a evolução do que hoje se conceitua de desenvolvimento sustentável, que segundo o autor configura-se como uma reencarnação do credo da ecoeficiência. Assim para compreensão da emblemática questão ambiental uma busca epistemológica das raízes do pensamento ecológico ou ambiental é salutar, tanto como exercício acadêmico como para contribuição de argumentos qualificados a respeito da temática ambiental, por vezes tão esvaziada de conteúdo relevante.

A sustentabilidade segundo a economia-ecológica pode ser observada a partir da formulação de indicadores, possibilitando a noção de sustentabilidade “forte” e “fraca”.

2.2.1 Culto ao Silvestre

O culto ao silvestre ou ao sagrado em termos cronológicos e de organização é a primeira corrente como a defesa da natureza intocada, o amor aos bosques primários, aos cursos d’água e a valores profundos. Representada a mais de cem anos por John Muir e pelo Sierra Club dos Estados Unidos. Passaram-se por volta de cinquenta anos desde que *A ética da terra*, de Aldo Leopold, direcionou a atenção não só para a beleza de do meio ambiente, como também para a ciência da ecologia.

Essa corrente não ataca o crescimento econômico enquanto tal, visando a preservar e manter o que resta dos espaços da natureza original situados fora da influência do mercado. A biologia da conservação, que se desenvolve desde 1960, fornece a base científica que respalda essa primeira corrente ambientalista. Dentre suas vitórias pode ser destacada a Convenção da Biodiversidade no Rio de Janeiro em 1992, e a notável Lei de Espécies em Perigo dos Estados Unidos, cuja retórica apela aos valores utilitaristas, mas que claramente prioriza a preservação sobre o uso mercantil.

Outras motivações para a conservação da natureza é o suposto instinto da “biofilia” humana (KELLERT & WILSON, 1993; KELLERT, 1997), o argumento que as demais espécies possuem direito a vida e não temos o direito de eliminá-las, como também o respaldo do valor sagrado da natureza nas crenças de povos como os indígenas e para as variadas religiões.

Por fim o culto ao silvestre tem sido representado no ativismo ocidental pelo movimento da “ecologia profunda” (DEVALL e SESSONS, 1985), que propunha uma atitude biocêntrica ante a natureza, contrastando com a postura antropocêntrica superficial. No nível organizacional suas doutrinas influenciam organizações bem estruturadas como a International Union for the Conservation of Nature (IUCN), o Worldwide Fundo of Nature (WWF) e Nature Conservancy.

2.2.2 A justiça Ambiental

Este também vem sido denominado ecologismo da *livelihood* (em inglês, subsistência ou ganha pão), do sustento, da sobrevivência humana e, inclusive, como ecologia da libertação (PEET & WATTS, 1996).

Essa Terceira corrente assinala que desgraçadamente o crescimento econômico implica maiores impactos no meio ambiente, chamando a atenção para o deslocamento geográfico das fontes de recursos e das áreas dos resíduos. Nesse sentido os países industrializados dependem de importações provenientes do Sul para atender parcela crescente e cada vez maior das suas demandas por matérias-primas e bens de consumo.

O resultado em nível global é que as fronteiras do eucalipto e do óleo de palma, a fronteira com camarão, a fronteira do alumínio, do ouro e do cobre, a fronteira da soja transgênica... Todas avançam na direção de novos territórios. Isso gera impactos que não são solucionados pelas políticas econômicas ou por inovações tecnológicas e, portanto, atingem desproporcionalmente alguns grupos sociais que muitas das vezes protestam e resistem (ainda que tais grupos não sejam denominados de ecologistas). Alguns grupos ameaçados apelam para os direitos territoriais indígenas e igualmente para a sacralidade da natureza para defender e assegurar seu sustento.

O eixo principal desta corrente não é uma reverência sagrada à natureza, mas, antes, um interesse material pelo meio ambiente como fonte de condição para a subsistência; não em razão de uma preocupação relacionada com os direitos das demais espécies e das futuras gerações de humanos, mas sim, pelos humanos pobres de hoje. Essa corrente não compartilha os mesmos fundamentos éticos (nem estéticos) do culto ao silvestre. Sua ética nasce de uma demanda por justiça social contemporânea entre os humanos.

O movimento de justiça ambiental está crescendo em nível mundial pelos inevitáveis conflitos ecológicos distributivos. À medida que se expande a escala da economia, mais resíduos são gerados, mais os sistemas naturais são comprometidos, mais se deterioram os direitos das gerações futuras, mais o conhecimento dos recursos genéticos são perdidos. As novas tecnologias talvez possam reduzir a intensidade da utilização de energia e de matérias-primas por parte da economia. Mas somente depois de já terem causado muita destruição, sem contar que com isso podem desencadear um “efeito Jevons”⁴.

A questão é a exploração aumenta mais a base material não! Conflitos ambientais serão cada vez frequentes no mundo contemporâneo, principalmente devido ao aumento de tensões pelo acesso a recursos naturais.

Resumindo o movimento por justiça ambiental, o ecologismo popular, o ecologismo dos pobres, nasce de conflitos ambientais em nível local, regional, nacional e global causados pelo crescimento econômico e pela desigualdade social. Os exemplos são os conflitos pelo uso da água, pelo acesso às florestas, a respeito das cargas de contaminação e o comércio ecológico desigual, questões estudadas pela ecologia política. Em muitos contextos, os atores de tais conflitos não utilizam um discurso ambientalista. Essa é uma das razões pela qual esta corrente do ecologismo não foi, até os anos 1980, plenamente identificada.

2.2.3 Credo da Ecoeficiência

Sua atenção está direcionada para os impactos ambientais ou os riscos à saúde decorrentes das atividades industriais, da urbanização e também da agricultura moderna. Muitas vezes defende o crescimento econômico, ainda que não a qualquer custo. Acredita no “desenvolvimento sustentável”, na “modernização ecológica” e na “boa utilização” dos recursos. Preocupa-se com os impactos da produção de bens e com o manejo sustentável dos recursos naturais, e não tanto pela perda dos atrativos da natureza ou dos seus valores intrínsecos. Os representantes dessa segunda corrente utilizam a palavra “natureza”, porém falam mais precisamente de “recursos naturais”, ou até mesmo “capital natural” e “serviços ambientais”. A extinção de aves, rãs ou borboletas “bioindica” problemas. Contudo, essas espécies, enquanto tais, não possuem direitos indiscutíveis à vida. Esse credo é atualmente um movimento de engenheiros e economistas, uma crença na utilidade e da eficiência técnica desprovida da noção do sagrado.

Há cem anos, o personagem mais conhecido deste movimento nos Estados Unidos era Gifford Pinchot, formado nos métodos europeus de manejo florestal científico. Entretanto essa corrente encontra raízes em outros campos que não o florestal, como o provam muitos estudos realizados na Europa desde meados do século XIX sobre o uso eficiente da energia e sobre a química agrícola (os ciclos dos nutrientes).

O credo da ecoeficiência domina os debates ambientais tanto os sociais quanto os políticos, como colocado por Goldemberg (1979), a promoção do uso da energia renovável poderia amenizar esta situação. A capacidade do homem em desenvolver tecnologias que

⁴ À medida que o progresso tecnológico consegue aumentar a eficiência com que um recurso é usado, o seu consumo total pode aumentar em vez de diminuir..

permitam o uso em grande escala de energias renováveis e não-contaminantes, é que vai garantir a qualidade ambiental e da vida no nosso planeta. Pelo contrário todos os seres vivos estarão ameaçados.

Assim o que conceituamos como desenvolvimento sustentável é uma reencarnação da ecoeficiência, caminhando sobre duas pernas: uma econômica, com ecoimpostos e mercado de licença de emissões; a outra, tecnológica, apoiando medidas voltadas para a economia de energia e de matérias primas.

Martínez-Alier (2007) conclui: “Ecoeficiência é a resposta Européia ao desafio da sustentabilidade. Por mais que se fale em modernização ecológica, de ecoeficiência ou de desenvolvimento sustentável, existe um enfrentamento sem solução entre a expansão econômica e a conservação do meio ambiente”.

2.2.4 Sustentabilidade Forte e Fraca.

As bases da concepção teórica do desenvolvimento sustentável são amplas, desde a formulação de suas bases, como a descoberta da ciência referente aos ciclos dos nutrientes e do carbono, por volta de 1850 ou 1860, como também com o estabelecimento da primeira e segunda lei da termodinâmica. No entanto, sua relevância na conjuntura internacional com a introdução com grande êxito da expressão *sustainable Development*, tem seu referencial mais notório na IUCN (International Union for the Conservation of nature) destacando-se, a comissão Brundtland das Nações Unidas, responsável pela publicação, em 1987, do Informe Brundtland (com o título *Nosso Futuro Comun*), combinou conscientemente as duas idéias: desenvolvimento econômico (próprio da ciência econômica) e capacidade de sustento (próprio da ciência ecológica). Nas próprias palavras de Jeffrey McNeely, da IUCN:

“A conservação da natureza talvez seja uma pré-condição do crescimento econômico, já que o consumo futuro depende em grande medida do estoque de capital natural. A conservação é, sem nenhuma dúvida, uma pré-condição do desenvolvimento sustentável, unindo o conceito ecológico da capacidade de sustento (*carrying capacity*), com os conceitos econômicos de crescimento e desenvolvimento”.

Assim a definição de desenvolvimento sustentável tem haver com os conceitos econômicos de crescimento, desenvolvimento e o conceito ecológico de capacidade de sustento.

Essa junção de conceitos econômicos e ecológicos teve e tem implicações na opinião publica e com algumas variações tem sua base solidificada na elaboração da IUCN. Como também é cercada de controvérsias, sobretudo pela constante observação de um modelo desenvolvimentista hegemônico, criticado pela sua proeminência da dimensão econômica, afinal, nem todo crescimento econômico é desenvolvimento e nem todo desenvolvimento é crescimento econômico e ainda mais, até onde é possível conciliar crescimento e conservação?

Martínez-Alier (2007) contribui com a questão da sustentabilidade propondo a noção de sustentabilidade “forte” e “fraca”. A sustentabilidade fraca permite a substituição do chamado “Capital natural” pelo capital manufaturado, como exemplificado por Arturo Úslar Pietri no bordão “semear petróleo” (propondo que a riqueza produzida pelo petróleo fosse revertida em “riqueza sã”: agrícola, dinâmica e produtiva), implicando, portanto, uma unidade comum de mensuração.

Na sustentabilidade fraca os recursos naturais não representam, a longo prazo, um limite à expansão da economia. Essa idéia está revelada nas formas normais de cálculo de

produção, onde não se leva em conta a natureza, ou seja, os preços estão fundamentalmente relacionados ao capital e o trabalho.

Com o passar do tempo os recursos naturais passaram a ser incluídos nas funções de produção, sendo criticada por Georgescu-Roegen chamando-a de “passe de mágica”, representada pela função $Y = f(K, L, R)$ ⁵, apresentando uma substituição perfeita entre capital, trabalho e recursos naturais. Portanto, a suposição de que os limites impostos pela disponibilidade de recursos naturais podem ser indefinidamente superados pelo progresso técnico que os substitui por capital (ou trabalho). Em outras palavras. O sistema econômico é visto como suficientemente grande para que a disponibilidade de recursos naturais se torne uma restrição a sua expansão, mas uma restrição apenas relativa, superável indefinidamente pelo progresso científico e tecnológico. Tudo se passa como se o sistema econômico fosse capaz de se mover suavemente de uma base de recursos para outra, à medida que cada uma é esgotada, sendo o progresso científico e tecnológico a variável-chave para garantir que esse processo de substituição não limite o crescimento a longo prazo (ROMEIRO, 2003).

Na abordagem da sustentabilidade fraca a possibilidade do capital produzido pelo homem substituir o capital natural, apresenta uma comparabilidade forte entre o recurso natural e a riqueza monetária. Não se reconhece, portanto, as características únicas de certos recursos naturais que, por não serem produzidos, não podem ser substituído pela inventividade humana. Esse tipo de sustentabilidade fraca é comum em muitas ações de gestores em relação a processos de tomada de decisão, alegando que com os investimentos financeiros adequados o impacto de determinado empreendimento será compensado, precisando essa postura ser contraposta pela noção de sustentabilidade forte que será vista mais adiante.

Um argumento que fundamenta esse tipo de sustentabilidade segundo Romeiro (2003) é: “Os mecanismos através dos quais se dá a ampliação indefinida dos limites ambientais ao crescimento econômico devem ser principalmente mecanismos de mercado. No caso de bens ambientais transacionados no mercado (insumos materiais e energia), a escassez crescente de um determinado bem se traduziria facilmente na elevação de seu preço, o que induz a introdução de inovações que permitem poupá-lo, substituindo-o por outro recurso mais abundante”.

Cabe ressaltar que esse tipo de valoração e quantificação de sustentabilidade, não se aplica, por exemplo, em alguns serviços ambientais, em geral não-transacionais no mercado, segundo Martínez-Alier devido à incomensurabilidade de valores, ou seja, a difícil tarefa de valorar unicamente de forma monetária um “bem” que carrega em si, valores além do econômico. Nesse sentido Romeiro (2003) contribui alegando que o problema original motivador da valoração de recursos naturais é que para muitos casos não existe um numerário que consiga captar inúmeros aspectos ambientais.

Por sua vez, a sustentabilidade forte refere-se à conservação dos recursos e serviços do ambiente natural (PEARCE & TURNER, 1990), os quais devem ser avaliados através de uma bateria de indicadores e de índices físicos. A corrente que faz essa proposta é representada principalmente pela economia ecológica, que vê o sistema econômico como um subsistema de um todo maior que o contém, impondo uma restrição absoluta a sua expansão.

Nessa abordagem de sustentabilidade forte, a melhor forma para avaliar a sustentabilidade é um conjunto de índices e indicadores, como capacidade de suporte, pegada ecológica, balanço eMergético, dentre outros que juntamente com a valoração econômica, se apresentaria como um modelo mais adequando para valorar um recurso ou serviço ambiental.

⁵ $Y = f(K, L, R)$, o que significa que a quantidade de recursos naturais (R) requerida pode ser tão pequena quanto se deseja desde que a quantidade de capital (K) seja suficientemente grande.

Como dito o ramo da ciência onde a possibilidade dessa nova abordagem baseada em análises multicriteriais tem abrigo é na economia ecológica onde há uma abordagem alternativa em propor a utilização de indicadores que explicitam justamente a falta de sustentabilidade (MARTÍNEZ-ALIER, 2007).

No processo de tomada de decisões o valor econômico geralmente na grande maioria das vezes é o que assume maior relevância, sendo o fator decisivo no processo, no entanto, é possível pautar a tomada de decisões em análises multicriteriais, conforme expõe Martínez-Alier (2007): “A economia ecológica não se compromete com um tipo de valor único. Ela abarca a valorização monetária, mas também avaliações físicas e sociais das contribuições da natureza e os impactos ambientais da economia humana mensurados nos seus próprios sistemas de contabilidade. Os economistas ecológicos “levam em conta a natureza”, por intermédio de indicadores físicos e sociais”.

Devido às imperfeições da valoração monetária, se faz necessário, a utilização de indicadores e de índices físicos para julgar o impacto da economia humana no meio ambiente. Assim a questão da sustentabilidade, passa a ganhar uma dimensão quantitativa e qualitativa, indo além do binômio sustentável ou não sustentável, e sim de o quanto é sustentável, possibilitando uma abordagem do desenvolvimento sustentável diferente da amplamente usada na mídia, que tem se tornado um slogan capaz de valorizar produtos. Ser sustentável na propaganda aumenta o lucro.

Encontra-se na economia ecológica, através de seu eixo principal o desenvolvimento de indicadores e referências físicas de sustentabilidade, examinando a economia em termos de um “metabolismo social”. Constanza, (1991), definiu como “a ciência e gestão da sustentabilidade” Vários conceitos e ferramentas foram elaborados para compreender a ecologia e a sustentabilidade. Os principais índices de sustentabilidade discutidos atualmente são: A Capacidade de suporte, Apropriação Humana da Produção Primária Líquida, o Ecoespaço e a Pegada Ecológica, o Insumo de Materiais por Unidade de Serviço Desenvolvido e o Rendimento Energético dos Insumos de Energia o qual será discutido mais detalhadamente nesse trabalho.

Como foi visto anteriormente a busca pelo crescimento econômico, leva a adoção de um desenvolvimento baseado na indústria, onde se pode ter aumento de produtividade, alicerçada no consumo de energia e matérias-primas, fornecendo assim, bens e serviços que aumentam a qualidade de vida da sociedade. Um recorte adequado para avaliar a sustentabilidade desse modelo é a avaliação do balanço energético do processo e sua eficiência, já que a variável energética é crucial para a manutenção do modelo. Assim dentro da lógica da proposta da sustentabilidade forte, um índice capaz de auxiliar nessa avaliação é o Rendimento Energético dos Insumos de Energia, mais especificamente na metodologia eMergética, a qual as suas raízes são encontradas no trabalho de H. T. Odum. As perguntas básicas são: existe uma tendência de intensificar o custo energético de produzir energia? Qual o gasto eMergético incorporado em determinado produto?

Segundo Peet (1992) A partir de 1973, com a publicação de alguns famosos estudos sobre o fluxo de energia na agricultura um novo campo de investigação histórico e transversal foi aberto por esses estudos a respeito da eficiência do uso de energia em distintos setores da economia, incluindo o próprio setor energético (lenha, petróleo, gás etc.). Dentre eles, os mais conhecidos foram os de autoria de David Pimentel, que demonstravam uma diminuição da eficiência da produção de milho nos Estados Unidos, em razão do uso intensivo insumos

energéticos provenientes do petróleo. Isso posto a agricultura mexicana com base na Milpa⁶ seria energeticamente mais eficiente do que a agricultura do Iowa ou do Illinois.

2.3 Análise Emergética

Em 1896, Ludwig Boltzman pronunciou que a “luta pela vida” travava-se no campo da luta pela disponibilidade energética, isto é, que o sucesso de todas as espécies, assim como a humana, poderia ser analisado em termos de aprendizado do uso das fontes energéticas. Este autor influenciou diretamente Lotka que por sua vez foi a base teórica da Ecologia de Sistemas, proposta por H. Odum. O conceito, introduzido por Boltzman, é o primeiro que procura relacionar as leis termodinâmicas com a evolução das espécies (MARTÍNEZ-ALIER, 1994).

A luz solar ocupa lugar de destaque dentro de qualquer abordagem energética, pois a radiação solar é responsável dentre outras coisas pela produtividade primária líquida que concentra a energia solar e a disponibiliza em melhor qualidade para toda a cadeia trófica. Odum (2007) expõe que de toda a radiação solar que alcança a Terra, menos de 1% é convertido em alimentos e outras biomassas, os 70% ou mais que resultam em calor, evaporação, precipitação, vento, e assim por diante, não são perdidos, porque esses fluxos criam uma temperatura tolerável e acionam os sistemas meteorológicos e os ciclos de água necessários para a vida na Terra.

Nessa concepção energética, Ebeling (1991). Faz uma analogia da Terra funcionando como um “moinho de fótons”. Transformando energia solar em outra energia. Segundo o autor quando todos os combustíveis estiverem consumidos, estarão disponíveis por metro quadrado não mais do que 200 watts de valiosa energia solar como fonte para o conjunto dos processos meteorológicos, biológicos, ecológicos e econômicos.

No fim do século XIX e início do XX, Wilhelm Ostwald (1853 – 1932) postulou que todas as transformações energéticas possíveis estavam associadas à transformação máxima em um dado período de tempo (ODUM, 1994). Este autor também deu inspiração a Lotka, que estabeleceu os princípios que motivaram Odum e Pinkerton (1955) a propor seus postulados. Em 1909, Ostwald descreveu que a história da humanidade estava vinculada ao crescimento na disponibilidade de energia, conforme o princípio enunciado acima. Entretanto, este pesquisador não desenvolveu nenhuma experiência empírica sobre como as sociedades se adaptaram ao fluxo de energia disponível, e de como teria sido o processo de transformação tendo em vista a ampliação deste fluxo e, conseqüentemente, o progresso (SINISGALLI, 2006).

O princípio clássico que correlaciona energia e a teoria da evolução – proposta por Charles Darwin, com base na seleção natural – foi elaborado por Alfred Lotka (1880 - 1949). Em 1925, Lotka postulou a existência da relação direta entre as leis da termodinâmica e a evolução das espécies. Segundo este pesquisador, todo o excedente de energia disponível que fosse utilizado de forma adequada por qualquer espécie, na sua reprodução, representaria vantagens adaptativas que possibilitariam a ampliação de sua população. Entende-se aqui por excedente de energia disponível, aquela presente no sistema que não está sendo empregada por nenhum dos componentes do mesmo, ou seja, a energia que possui potencial de utilização, mas que não foi devidamente apropriada por qualquer população. Esta formulação estipulou

⁶ A Milpa corresponde a um sistema agrícola tradicional baseado em roçados e em queimadas sucedidas pela semeadura do milho e outros cultivos associados, sendo praticados a milhares de anos. Principalmente entre os Maias, esse tipo de prática agrícola tem se mantido como a base da subsistência, sustentando também seus códigos culturais, estilos de vida e visão de mundo. ALIER, 2007.

como teoria da evolução o sucesso reprodutivo das espécies, que, por sua vez, é baseada na lei de energia máxima ou fluxo máximo de energia em sistemas biológicos (SINISGALLI, 2006).

A teoria de H.T. Odum e Pinkerton, de 1955, postulava que a baixa eficiência da natureza em transferir energia é uma consequência da tendência à maximização da potência de saída do sistema, ao invés da eficiência máxima da utilização da energia em si. Segundo estes autores, o Princípio da Máxima Potência é distinto da máxima eficiência do sistema, que é um conceito econômico. Esse princípio fundamenta-se na observação dos sistemas naturais, onde aqueles que persistem são organizados de maneira a garantir o maior retorno da energia para si, aplicando essa energia na retroalimentação e, conseqüentemente, reintroduzir mais energia, reforçando o processo (ODUM, 1968).

A lei de energia máxima, ou fluxo máximo de energia em sistemas biológicos, estabelecida por Lotka, foi extremamente útil nas formulações gerais de auto-organização dos sistemas. Esta lei também forneceu elementos para o desenvolvimento de outros postulados, ampliando o conceito inicial, como aquele proposto por Margalef, em 1963, da maximização de biomassa, ou mesmo, da taxa reprodutiva proposta por Wilson em 1968; do fluxo mínimo de energia direcionado pela menor taxa de geração de entropia de Ilya Prigogine, em 1946 e 1947; ou de outros princípios associados como máxima entropia estrutural, máximo retorno, eficiência máxima e estabilidade máxima (ODUM, 1994).

Odum demonstra que as regras gerais mais importantes dos ecossistemas poderiam ser deduzidas através das medidas do metabolismo de uma comunidade, sem a necessidade de informações detalhadas sobre todos os componentes de sua população (SINISGALLI, 2006).

Estes pesquisadores também foram os responsáveis pela introdução do diagrama de fluxo de energia, derivado da física e engenharia, o qual aprimorou-se ao longo dos anos (ODUM, 1968).

Como descrito anteriormente, H.T. Odum e Pinkerton, em 1955, foram uns dos primeiros a descrever que a sucessão ecológica envolvia mudanças fundamentais nos padrões de fluxo de energia. Segundo estes pesquisadores, quando um ecossistema tende para uma situação Clímax (maturidade), a razão entre produtividade e respiração aproxima-se de um (1), e a relação entre biomassa e produtividade, que pode ser associada com a respiração, cresce. Este fato demonstraria segundo estes autores, que o ecossistema otimiza sua estrutura, tanto mais quanto o fluxo de energia disponível, em contrapartida à idéia de o ecossistema maximizar a eficiência na produção. Estes conceitos serviram de subsídio para a generalização posterior nas análises dos ecossistemas, uma vez que mostravam haver um evidente padrão de comportamento dos mesmos, alicerçado principalmente no fluxo de energia.

A metodologia denominada Ecologia de Sistemas pode ser considerada uma linha de pesquisa vinculada à Economia Ecológica que, através de uma conceituação própria, procura valorar os recursos naturais, buscando uma forma de integração entre a ecologia e a economia. É uma alternativa à valoração baseada em princípios da economia neoclássica. Segundo Ortega (1998) A Teoria Geral dos Sistemas constitui-se na base científica da metodologia eMergética, pois resgata a visão holística de planejamento e descarta posturas que desprezam variáveis importantes à obtenção de um desenvolvimento baseado (sustentado) em recursos renováveis.

Segundo Rohde (1995), a ecologia de sistemas, ou ecologia energética está fundamentada em conceitos cibernéticos e sistêmicos, que tem como base a “quantidade de energia multiplicada por uma transformidade que se relaciona com a quantidade de energia em questão”. Esta metodologia sistêmica, inicialmente era empregada em estudos de

ecossistemas naturais e, posteriormente, passaram a incorporar as atividades humanas e suas conseqüências sobre o meio. Segundo este mesmo autor, esta abordagem “oferece subsídios revolucionários no sentido de uma correta avaliação dos valores atribuídos a processos e recursos naturais” (SINISGALLI, 2006).

A Ecologia de Sistemas surgiu da aplicação da Teoria de Sistemas na Ecologia. Esta linha de pesquisa estuda os ecossistemas de forma global e integrada, definindo, através de símbolos, os componentes e fluxos mais relevantes para analisar o comportamento do sistema como um todo (ODUM, 1994).

Segundo Odum (1968), a energia é o fator limitante mais relevante para um ecossistema. O conceito de fluxo de energia proporciona não somente uma avaliação relativa de cada componente dentro do sistema, mas também meios para comparar diversos ecossistemas.

A energia tem qualidade e quantidade. Nem todas as calorias (ou qualquer outra unidade de quantidade de energia que se empregue) são iguais, tais quantidades iguais de formas diferentes de energia variam amplamente em potencial de trabalho. As formas concentradas de energia, como combustíveis fósseis, têm qualidade muito mais alta que as formas mais dispersas de energia, como a luz do Sol. Podemos expressar a qualidade de energia ou concentração quanto à quantidade de um tipo de energia (como a luz Solar) necessária para desenvolver a mesma quantidade de outro tipo (como petróleo). O termo *emergia* é proposto para essa medida. A *emergia* pode então ser definida, de modo geral, como a soma de energia disponível direta ou indiretamente para criar um serviço ou produto. Ao comparar as fontes de energia de uso direto pela humanidade, devemos considerar a qualidade e a quantidade de energia disponível, bem como, sempre que possível, equiparar a qualidade da fonte com a qualidade do uso (ODUM, 2007).

Os fluxos de materiais e de energia são quantificados e avaliados através de conceitos como *eMergia* e *transformidade* que objetivam mensurar, respectivamente, a energia necessária para gerar um fluxo ou armazenamento energético, e para a produção de outro tipo de energia. Ainda, podem-se aplicar indicadores específicos para avaliar a relação entre a energia que entra e sai de um sistema definido, permitindo observar o grau de pressão que uma determinada atividade pode exercer sobre o meio ambiente, ou mesmo avaliar o custo benefício em termos *eMergéticos*. De forma simplificada, esta metodologia procura obter a história energética de cada elemento que entra na composição do produto, traduzindo os diversos componentes como materiais e energia em uma mesma linguagem, possibilitando sua comparação e integração (SINISGALLI, 2006).

O desenho de um ecossistema típico representa uma rede de fluxo de energia e de processos de transformação, ao longo do qual a energia é degradada e dispersa, gerando menor quantidade de energia de alta qualidade. Este diagrama de processo relacionado com o nível hierárquico do sistema mostra que grandes fluxos de energia de baixa qualidade são convertidos e transformados em pequenos volumes de tipos de energia de alta qualidade.

Estas idéias vão ao encontro dos pressupostos de Georgescu-Roegen e Herman Daly, que, dentro do processo econômico, existe uma cadeia hierárquica definida pelo aumento crescente de entropia, através dos resíduos e calor, acrescido da qualidade da energia nos produtos gerados. Pode-se pensar como memória energética, ou energia incorporada, energia necessária para a produção de um bem de consumo, que H.T.Odum denominou de *eMergia*. Esta memória energética, sob o aspecto econômico, corresponde a toda e qualquer forma de energia transformada para gerar um bem ou serviço (ou seja, toda a energia que entra na cadeia produtiva de um determinado produto). Neste sentido, a energia incorporada ou

memória energética, ou melhor, eMergia corresponde a uma medida de valor, mais precisamente a uma medida de valor-energia (AMAZONAS, 2001).

O conceito de eMergia passou por uma evolução, procurando a melhor forma de quantificar e definir a energia dentro dos sistemas. Entre os anos de 1967 e 1971, os tipos de energia de alta qualidade eram expressos em unidades de matéria orgânica (base seca) incluindo madeira, carvão, gás natural e biomassa. No período de 1973 e 1980, as quantidades energéticas de plantas, madeiras e combustíveis fósseis foram diferenciadas. Os cálculos e comparações eram feitos com base em combustíveis fósseis, como o carvão. Entre os anos de 1980 e 1982, estudos reconheceram a contribuição dos fenômenos atmosféricos, como a chuva, o vento e as ondas como expressões da energia solar para a produtividade terrestre. A partir de 1983, há o reconhecimento que a eMergia Solar representa uma base adequada para a representação dos processos globais de transformação. Antes de 1983, eMergia era denominada de “energia incorporada” e transformidade em “razão de transformação energética” ou “fator de qualidade” (ODUM, 1996).

Para se fazer uma análise eMergética integrada, era necessário que os diversos tipos de energia fossem colocados em mesma base, e concomitantemente, deveria ser pensado como transformar os diferentes recursos materiais na forma de eMergia. Os conceitos de eMergia e o da transformidade permitiram não somente transformar os diversos tipos de energia, tendo como pressuposto a qualidade energética, em uma única expressão, mas também transformar os recursos materiais empregados em termos de energia equivalente necessária para a sua formação. Observa-se que através destes dois conceitos pode-se fazer a correspondência entre os diferentes tipos de energia e matéria (transformidade) em um outro tipo de energia, ou melhor, eMergia. Segundo Odum (1996), energia é a energia necessária na transformação para gerar um fluxo ou armazenamento. Esta energia está diretamente associada à fonte primária de energia que é o sol, sendo denominada de eMergia Solar.

Existe uma relação de proporcionalidade entre energia e eMergia, ou seja, quando o armazenamento energético é constante, o mesmo ocorre com a quantidade de energia, e quando há um declínio esta relação direta se mantém, com a devida proporcionalidade (ODUM, 1996).

A Transformidade é definida como a quantidade de energia de um determinado tipo necessária para gerar a unidade de energia de outro tipo (Figura 7), ou seja, Transformidade é a eMergia por unidade de energia. De acordo com Odum (1996), a transformidade é maior quanto mais energia de transformação é requerida para gerar o produto.

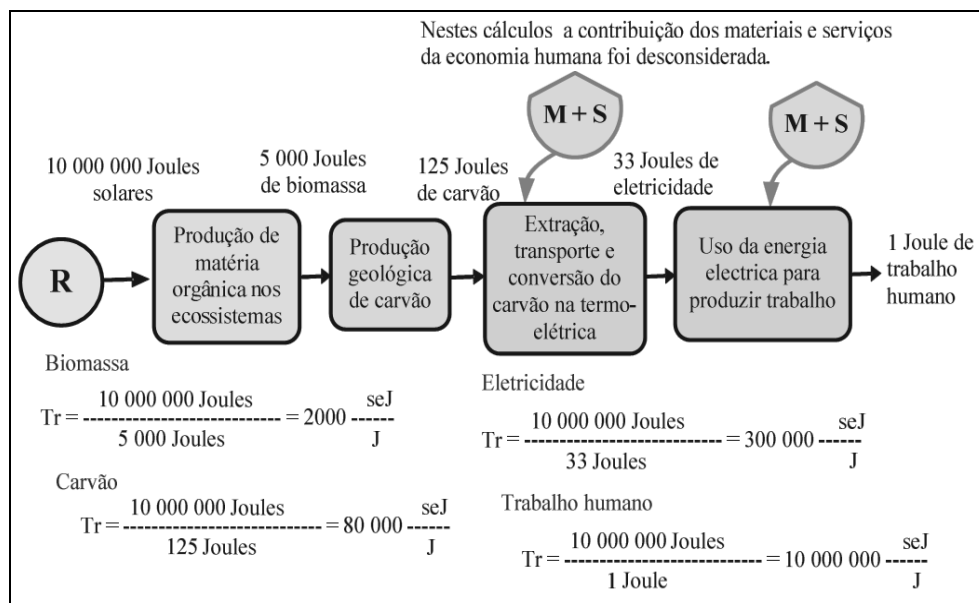


Figura 7. Cadeia energética que inclui uma usina termoeleétrica e suas transformidades. Fonte: Ortega et al. 2008.

Conforme a figura 7 necessita-se:

- 2000 Joules de luz solar para fazer 1 Joule de matéria orgânica;
- 80000 Joules solares para 1 Joule de carvão;
- 300000 Joules solares para 1 Joule de eletricidade;
- 10 milhões de Joules solares para obter 1 Joule de trabalho humano;

Estes dois conceitos – EMergia e Transformidade representam a adequação necessária da qualidade de energia que flui em um sistema, possibilitando a integração dos diversos componentes em uma base comum. É importante destacar que, dentro de um processo de transformação, a energia decresce e eMergia aumenta (ODUM, 1996).

Para fazer a análise dos fluxos de energia de ecossistemas dominados pelo homem é indispensável contar com a informação sobre a equivalência em Joules de energia solar (sej) e do monetário circulante (sej/dólar) para o ano de referência.

Na Metodologia eMergética, o Joule de energia de radiação solar equivalente da memória energética em cada produto e serviço (expresso por emjoule solar ou sej) passa a ser a medida comum que unifica natureza, economia e cultura, descortinando a enorme e ramificada cadeia energética que une as partes do sistema (ORTEGA *et al.*, 1998).

Dentro do processo de transformação energética, é necessária uma grande quantidade de energia de baixa qualidade (solar) para gerar energia de alta qualidade, como, por exemplo, combustível fóssil. Portanto, para comparar diferentes formas de energia e matéria são necessários cálculos de transformação, que convertem estes elementos em uma “moeda comum”. Esta moeda foi definida com base na fonte primária de energia, que é a luz solar, e denominada como Joules de Energia Solar (em inglês, Solar Energy).

A corrente com viés energeticista dentro da Economia Ecológica, como menciona Amazonas (2001), que, partindo do conhecimento do funcionamento dos ecossistemas naturais, extrapolou a noção para a economia, que prima pela função preponderante da energia na organização destes dois sistemas. Define o valor dos recursos e serviços ambientais com critérios objetivos, determinados por leis físicas, sem as mazelas subjetivas das preferências individuais da Economia Ambiental.

Esta vertente prega o princípio da máxima potência que está baseado no sentido do melhor aproveitamento da energia disponível para a estruturação do ecossistema, que é bastante distinto da eficiência econômica, e tem, por denominador comum, a energia.

Em outras palavras, para a Ecologia de Sistemas, ou análise eMergética, que alguns autores consideram uma vertente da Economia Ecológica, o valor energia é transformado em valor eMergia, incorporando a qualidade da energia ao longo do processo hierárquico de transformação para a geração de um produto, sendo um indicador de valor mais apropriado para o estudo das relações ecossistêmicas e econômicas.

A metodologia eMergética resgata a memória energética solar de todos os fluxos de energia e materiais necessários aos processos, produtos e serviços que caracterizam uma região. Esta metodologia permite fazer análises de sistemas de maneira mais completa que as metodologias econômicas ou físicas tradicionais, levando-se a um novo entendimento dos ecossistemas, o qual possibilitará discutir de forma mais abrangente as questões centrais da sustentabilidade ecológica e econômica (ORTEGA *et al.*, 1998).

O conceito de eMergia ou memória energética (Scienceman,1987, Odum,1996, Ortega, 1998) permite formular todos os fatores que contribuem na produção de bens e serviços num mesmo denominador: a energia da radiação solar equivalente ou necessária para o processo integral de produção. Desta maneira, propõe-se, a quantificar e valorar a contribuição da Natureza (fontes de energia renováveis e não-renováveis), que outras técnicas geralmente não contabilizam ou a fazem de maneira parcial. (ORTEGA *et al.*, 1998).

Pode-se considerar que o desenvolvimento insustentável que vivemos deve-se, em parte, à falta de uma consciência sobre a origem, qualidade e quantidade da energia que usamos e ao desconhecimento das interligações entre os diversos subsistemas produtivos com as fontes de energia disponíveis. É evidente a inadequação dos atuais projetos de desenvolvimento, produtos, organização social e valores em relação aos recursos necessários à nossa subsistência. (ORTEGA *et al.*, 1998).

Grande parte da economia do Brasil está vinculada ao setor primário que ocupa ainda uma boa parcela da população, neste o setor florestal é representado 66,58% pela eucaliptocultura, corresponde segundo o Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2008) a 3,5 % do PIB em 2006 e segundo o Serviço Floresta Brasileiro (2010) pela exportação de 7,2 bilhões de U\$\$ em 2009. Economistas apontam que a passagem do Brasil pela crise e sua recuperação mais rápida do que outras se deve ao fato de as *Commodity* agrícolas, não terem sofrido tanto impacto da crise e com o grande mercado Chinês que importa nossos produtos, a economia brasileira conseguiu ter um desempenho não tão ruim como outros países.

O setor primário tem importância estratégica na busca do crescimento econômico numa economia como a do Brasil, pois caracteriza-se como uma economia ainda exportadora de produtos primários, contribuindo para uma balança comercial positiva, no entanto, esse tipo de economia se torna intensa no uso dos recursos e serviços naturais, podendo muitas das vezes deixar uma dívida ambiental crônica. Faz-se necessário avaliar a sustentabilidade dessas atividades, para que as decisões relacionadas a expansão da atividade, seja acompanhada de um real diagnóstico, pautando assim ações adequadas, sendo impositivo nessas avaliações que possam ir além do valor econômico, avaliações que consigam dimensionar o impacto sobre o recursos e serviços ambientais, que geralmente não são metodologias simplórias, mas sim capazes de superar avaliações reducionistas.

A Silvicultura brasileira, sobretudo através do eucalipto, tem experimentado ganhos de produtividade satisfatórios, fazendo o Brasil se projetar como um dos principais países produtores de celulose. Esse setor é altamente tecnificado, experimentando uma fase

caracterizada pelo elevado consumo de derivados de petróleo e recursos naturais não renováveis.

A preocupação com o gasto energético das monoculturas, vem sendo estudado a algum tempo, pelos estudos de URQUIAGA, S.; PIMENTEL, D.; ARMSTRONG, A. P; GAZZONI, D. L. dentre outros. (LIMA *et al*, 2007) No entanto, esses cálculos pouco consideram o trabalho da natureza em suas formulações, sendo assim, o balanço energético apresenta-se como uma alternativa para apontar o verdadeiro gasto total para se produzir determinado produto.

Nesse sentido, as análises energéticas convencionais não são capazes de valorar adequadamente a contribuição ambiental, nesse caso há uma avaliação de sustentabilidade fraca, assim a análise energética apresenta-se como um excelente critério para dimensionar a sustentabilidade da eucaliptocultura, auxiliando no processo de tomada de decisão em relação ao capital natural disponível, tendo em vista que essa atividade não somente vem crescendo no Brasil, como também há projeções de expansão consideráveis para a mesma.

Uma das dificuldades enfrentadas nessa abordagem sistêmica, buscando quantificar e valorar a contribuição da Natureza (fontes de energia renováveis e não-renováveis), que outras técnicas geralmente não contabilizam ou a fazem de maneira parcial. Pode ser percebida pelo o número e qualidade dos dados exigidos pela análise como o da tabela de preenchimento do software eMergy table, para análise de sistemas agrícolas (Tabela 12).

Tabela 4. Exemplo de tabela para quantificar entradas no sistema.

Obs.	Item	Fração renov.	Quantidade	Unidades	Transformidade dos fluxos (sej/unidade)	Energia Total E12 sej/ha/ano
R1	Sol	1.0	3100000000	J/ha/ano	1	0.031
R2	Vento	1.0	31600000	J/ha/ano	2450	0.077
R3	Chuva	1.0	6330000000	J/ha/ano	31000	1962.300
R4	Água de Córrego	1.0	47200000	J/ha/ano	176000	8.307
R5	Fósforo atmosférico	1.0	4.53	kg/ha/ano	2200000000000	99.660
R6	Nitrogênio atmosférico	1.0	3.4	kg/ha/ano	2410000000000	81.940
N1	Perda do solo	0	904000000	J/ha/ano	124000	112.096
M1	Combustível Fóssil	0.01	445047148	J/ha/ano	110000	48.955
M2	Eletricidade	0.05	815000000	J/ha/ano	269000	219.235
M3	Cálcio quelatizado	0.01	0.765	kg/ha/ano	380000000000	0.291
M4	Sulfato de Magnésio	0.01	8.15	kg/ha/ano	380000000000	3.097
M5	Calcário	0.01	226.42	kg/ha/ano	1000000000000	226.420
M6	Sementes	0.01	2.11	kg/ha/ano	1480000000000	3.123
M7	Concreto	0.01	90	kg/ha/ano	1540000000000	138.600
M8	Potássio	0.01	45.28	kg/ha/ano	1740000000000	78.787
M9	Aço	0.01	19.2	kg/ha/ano	2200000000000	42.240
M10	Mudas Frutíferas	0.01	36.8	US\$/ha/ano	3110000000000	114.448
M11	Hormônios	0.01	52.7	US\$/ha/ano	3110000000000	163.897
M12	Sulfato de Cobre	0.01	0.86	kg/ha/ano	6380000000000	5.487
M13	Fósforo	0.01	45.28	kg/ha/ano	2200000000000	996.160
M14	Nitrogênio	0.01	33.96	kg/ha/ano	2410000000000	818.436
M15	Fungicida	0.01	17.92	kg/ha/ano	2490000000000	446.208
M16	Herbicida	0.01	2.51	kg/ha/ano	2490000000000	62.499
M17	Inseticida	0.01	1.584	kg/ha/ano	2490000000000	39.442
S1	Mão de Obra	0.6	75700000	J/ha/ano	280000	211.960
S2	Impostos	0.05	66.9	US\$/ha/ano	3110000000000	208.059
S3	Externalidades	0	360	US\$/ha/ano	3110000000000	1119.600

Fonte: LEIA, 2011.

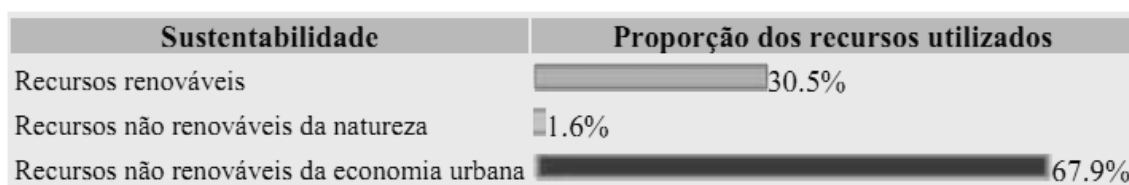


Figura 8. Exemplo de um diagnóstico do cultivo de maçã. Fonte: LEIA, 2011.

Extraído índices na metodologia eMergética (Tabela 13), possibilita-se a melhor compreensão do papel da natureza na geração do produto, o impacto das atividades humanas no ecossistema, bem como pensar formas de valorizar os recursos naturais indispensáveis à nossa subsistência.

Com esse tipo de análise seria possível conhecer melhor o trabalho da natureza para produção do eucalipto, podendo ser reconhecido e valorizado esse trabalho, dando uma dimensão da quantidade de recursos que estão sendo exportados. Por exemplo, com a celulose branqueada pela indústria, como também o conhecimento de se estes recursos estão saindo com preços baixos, justamente por não serem adequadamente valorados. Conforme Ortega (1998) pode-se considerar que o desenvolvimento insustentável que vivemos deve-se, em parte, à falta de uma consciência sobre a origem, qualidade e quantidade da energia que usamos e ao desconhecimento das interligações entre os diversos subsistemas produtivos com as fontes de energia disponíveis.

Tabela 5. Exemplo de resultados de índices eMergéticos.

Índices de desempenho	Equação	Valor	Comentário
Transformidade (sej/J)	$Tr=Y/E=Emergia/Energia$	337417	Bom
Transformidade (sej/kg)	$Tr=Y/M=Emergia/Massa\ seca$	5.18 E12	-
Renovabilidade	$Ren=(100)*((R+Mr+Sr)/Y)$	30.52%	Baixa
Taxa de rendimento	$EYR=Y/(Mn + Sn)$	1.47	Razoável
Taxa de investimento	$EIR=(Mn+Sn)/(R + Mr +Sr +N)$	2.22	Razoável
Taxa de intercâmbio	$EER=Y/(Emergia\ recebida\ nas\ vendas)$	0.92	Quase no
Taxa de carga ambiental	$ELR=(N+Mn+Sn)/(R+Mr+Sr)$	2.28	Exige cuidados

Fonte: LEIA, 2011.

O Brasil possui um ativo em capital natural como poucos países no mundo, análises como essas podem colocar nosso país na vanguarda de uma proposta de sustentabilidade coerente. Para isso esse dimensionamento de um setor altamente demandante de recursos renováveis e não renováveis como o cultivo de eucalipto se faz necessário.

A eMergia é uma medida especialmente útil para comparar a interface entre o valor dos bens e serviços de mercado e os bens e serviços naturais (não de mercado). ODUM, 2007. Podendo ser aplicado para a Eucaliptocultura brasileira, dando realmente uma noção da sustentabilidade da atividade, contribuindo para o que na literatura denomina de sustentabilidade forte, com todos os efeitos positivos desse tipo de análise que se propõe em ir além do viés econômico, como abordado anteriormente, não adequado para valorar a natureza com seus recursos e serviços.

2.4 Eucaliptocultura no Brasil

O Brasil carrega em si algumas singularidades, como o fato de ter sido batizado com o nome de uma espécie florestal, o Pau Brasil (*caesalpnia echinata*), a exploração dessa espécie estava presente nos primeiros ciclos da economia no Brasil colônia, com sua exuberante flora e fauna relatada pelos colonizadores Europeus. Mesmo após mais de 500 anos, segundo o Serviço Florestal Brasileiro - SFB o Brasil ainda é um país florestal com aproximadamente

516 milhões de hectares (60,7% do seu território) de florestas naturais e plantadas (Tabela 4) o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia (Tabela 5).

Tabela 6. Áreas de florestas no Brasil (2009).

Tipo de Floresta	Área total (em ha)	% das Florestas	% da área do Brasil
Florestas Naturais	509.803.545	98,7	59,9
Florestas Plantadas	6.782.500	1,3	0,8
Total	516.586.045	100	60,7

Fonte: Florestas do Brasil em resumo. SFB, 2010.

Tabela 7. Países com maiores plantios florestais.

País	Superfície terrestre (1.000 ha)	Total de florestas (1.000 ha)	Florestas plantadas (1.000 ha)	% de florestas plantadas em relação ao total de florestas	% de florestas plantadas em relação à área da superfície terrestre
China	932.743	163.480	45.083	27,6%	4,8%
Índia	297.319	64.113	32.578	50,8%	11,0%
Rússia	1.688.851	851.392	17.340	2,0%	1,0%
Estados Unidos	915.895	225.993	16.238	7,2%	1,8%
Japão	37.652	24.081	10.682	44,4%	28,4%
Indonésia	181.157	104.986	9.871	9,4%	5,4%
Brasil	845.651	543.905	4.982	0,9%	0,6%
Nova Zelândia	26.799	7.946	1.542	19,4%	5,8%
Chile	74.881	15.536	2.017	13,0%	2,7%
Canadá	922.097	244.571	0	0,0%	0,0%
Austrália	768.230	154.539	1.043	0,7%	0,1%
Tailândia	51.089	14.762	4.920	33,3%	9,6%
Ucrânia	57.935	9.584	4.425	46,2%	7,6%
Irã	162.201	7.299	2.284	31,3%	1,4%
Demais países	6.101.400	1.437.268	33.728	2,3%	0,6%
TOTAL	13.063.900	3.869.455	186.733	4,8%	1,4%

Fonte: FAO Forestry Department, 2005

Atualmente o Brasil ainda tem nas florestas um patrimônio extremamente valioso, tanto pelos serviços ambientais e recursos que se pode obter da mesma, mas também pela rica biodiversidade que abriga. Na Tabela 6 pode-se observar a importância das florestas pelos dados das principais estatísticas nacionais referentes às florestas.

Tabela 8. Principais estatísticas nacionais referentes às florestas (ano base 2009)

População total (2010)	191 milhões
Área total do país	851 milhões de ha
Área florestal total	516 milhões de ha
Proporção da área florestal em relação à área total do país	60,7 %
Área florestal por habitante	2,7 ha
Área de florestas naturais	509,8 milhões de ha
Área de florestas plantadas	6,8 milhões de ha
Área de unidades de conservação federais	74 milhões de ha
Área de terras indígenas	106 milhões de ha
Área de florestas públicas cadastradas (2010)	290 milhões de ha
Área de florestas comunitárias federais	128 milhões de ha
Áreas de florestas públicas sob concessão florestal	146 mil ha
Total de carbono armazenado nas florestas	62,6 milhões de t
Empregos formais no setor florestal	615,9 mil
Área de florestas certificadas	7,6 milhões de ha
Produção de madeira serrada (2008)	42,2 milhões de m ³
Produção de painéis	7,2 milhões de m ³
Produção de celulose	13,2 milhões de t
Produção de papel	8,8 milhões de t
Extração de madeira em tora para combustível	123,0 milhões de m ³
Extração de madeira em tora para indústria	122,2 milhões de m ³
Principais produtos não madeireiros extraídos das florestas naturais	
- Erva-mate	218,1 mil t
- Açaí	115,9 mil t
- Amêndoa de babaçu	109,3 mil t
- Piaçava	72,2 mil t
Exportações do setor florestal	7,2 bilhões de US\$
Importações do setor florestal	1,6 bilhão de US\$
Principais países importadores de produtos madeireiros do Brasil	
- Estados Unidos	1,26 bilhões de US\$
- China	1,20 bilhões de US\$
- Holanda	514 milhões de US\$

Fonte: Florestas do Brasil em resumo. SFB, 2010

O Brasil possui cerca de 6,8 milhões de hectares de florestas plantadas, principalmente com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que representam 93% do total. Isso corresponde a apenas 0,8% da área do país e 1,3% do total das florestas. Sendo o Eucalipto responsável por 66,58% desse total, revelando sua importância na atual conjuntura da silvicultura Brasileira (Tabela 7).

Tabela 9. Composição da área de florestas plantadas no Brasil (2009)

Espécie	Nome científico	Área (em ha)	%
Eucalipto	Eucalyptus spp	4.515.730	66,58
Pinus	Pinus spp	1.794.720	26,46
Acácia	Acacia mearnsii / Acacia mangium	174.150	2,57
Seringueira	Hevea brasiliensis	128.460	1,89
Paricá	Schizolobium amazonicum	85.320	1,26
Teca	Tectona grandis	65.240	0,96
Araucária	Araucaria angustifolia	12.110	0,18
Populus	Populus spp	4.030	0,06
Outras		2.740	0,04
Total		6.782.500	100,00

Fonte: ABRAF (2010).

As florestas plantadas encontram-se amplamente distribuída no país, no entanto com densidades bem diferentes (Tabela 8), assim a economia proveniente desse setor tem um alcance significativo no território, sobretudo a cultura do eucalipto.

Tabela 10. Distribuição das florestas plantadas com pinus e eucalipto no Brasil (2009)

Estado	Área com Eucalipto (em ha)	Área com Pinus (em ha)	Área total (em ha)	%
MG	1.300.000	140.000	1.440.000	22,82
SP	1.029.670	167.660	1.197.330	18,97
PR	157.920	695.790	853.710	13,53
BA	628.440	31.040	659.480	10,45
SC	100.140	550.850	650.990	10,32
RS	271.980	171.210	443.190	7,02
MS	290.890	16.870	307.760	4,88
ES	204.570	3.940	208.510	3,30
PA	139.720	0	139.720	2,21
MA	137.360	0	137.360	2,18
GO	57.940	15.200	73.140	1,16
AP	62.880	810	63.690	1,01
MT	61.530	10	61.540	0,98
TO	44.310	850	45.160	0,72
Outros	28.380	490	28.870	0,46
Total	4.515.730	1.794.720	6.310.450	100,00

Fonte: ABRAF (2010).

O setor florestal brasileiro de florestas plantadas vem apresentando aumento de produtividade florestal. Além dos fatores ambientais favoráveis para a silvicultura, novas tecnologias são utilizadas para aumentar a produtividade (Tabela 9), tais como melhoramento genético de sementes e clonagem de espécies florestais. Esse aprimoramento leva o Brasil a se destacar na produtividade florestal tanto de coníferas como de folhosas.

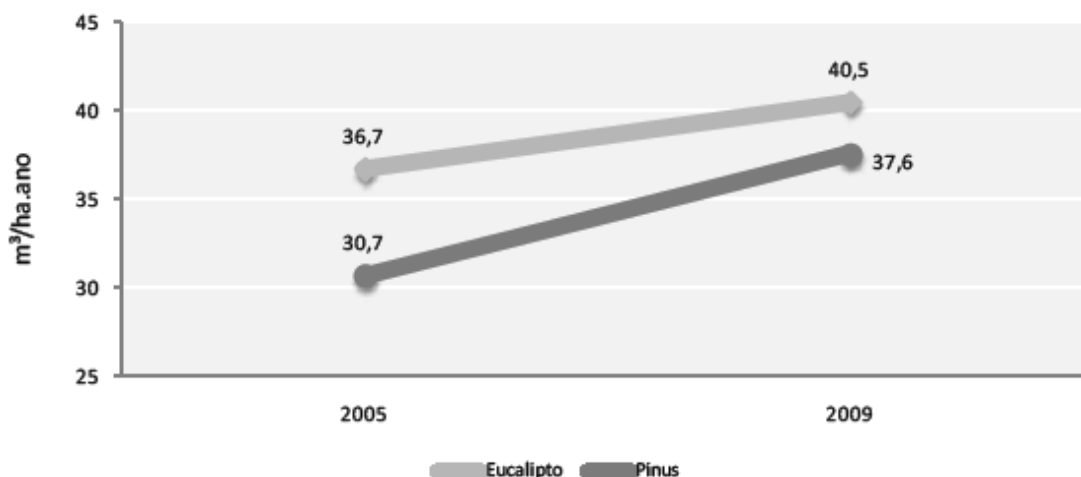


Gráfico 1. Evolução do incremento médio anual (IMA) dos plantios florestais de empresas associadas na Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf) (2005-2009)

Fonte: ABRAF (2010).

O eucalipto se destaca na silvicultura brasileira, sendo uma árvore nativa da Austrália, do Timor e da Indonésia, sendo exótico em todas as outras partes do mundo. Os primeiros plantios datam do início do século XVIII, na Europa, na Ásia e na África. Já no século XIX, começou a ser plantado em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal (Pryor, 1976; FAO, 1981).

As principais espécies cultivadas atualmente no Brasil incluem o *Eucalyptus grandis*, o *Eucalyptus camaldulensis*, o *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus urophylla*, entre outras. Além disso, foram desenvolvidos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* X *E. urophylla*).

O Brasil se destaca no cenário mundial por possuir excelente desempenho no setor florestal, fruto de nossas condições climáticas e da tecnologia desenvolvida pelas empresas e instituições de pesquisa do País (Tabela 10). Como resultado, as taxas nacionais de crescimento do eucalipto são bastante superiores às observadas em outros países (Figura 8). Além dos ganhos de produtividade, a redução na rotação das florestas plantadas (colheita) propicia também a diminuição dos custos dessa produção. O menor preço da madeira proveniente desse cultivo no Brasil, em relação aos demais países do Hemisfério Norte, tem criado importantes vantagens comparativas e competitivas na cadeia de produtos florestais.

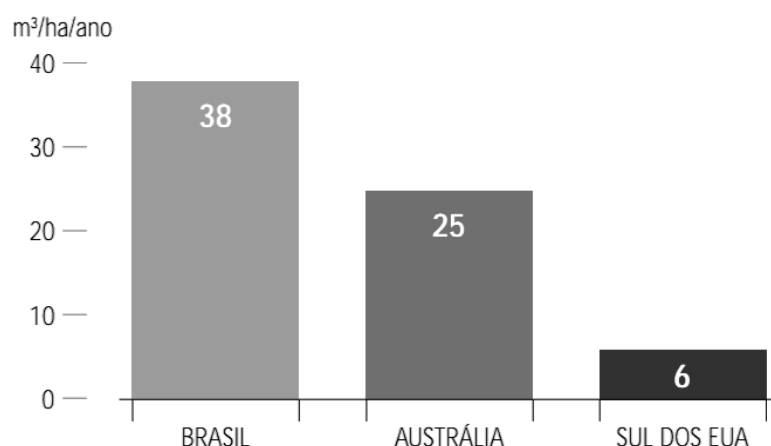


Gráfico 2. Comparação entre a produtividade do eucalipto no Brasil, na Austrália e nos EUA.

Fonte: Abraf, 2006

Atualmente, as plantações de eucalipto no Brasil ocupam 3.751.867 hectares ABRAF, 2007. O setor florestal responde por 3,5% do nosso Produto Interno Bruto (PIB) e gera 4,6 milhões de empregos diretos e indiretos. A exportação de produtos derivados de florestas plantadas, em 2007, somou US\$ 6,1 bilhões, dos quais 70% foram resultantes do cultivo de eucalipto.

Toda essa cadeia é responsável por inúmeros produtos essenciais ao bem-estar da sociedade, como papel para livros, cadernos, higiene pessoal e embalagens e madeira para fabricação de móveis, geração de energia, carvão vegetal e construção civil, além de óleos essenciais com os quais são fabricados alimentos, produtos de limpeza, perfumes e remédios, entre outras aplicações.

Tabela 11. Indicadores econômicos do setor florestal brasileiro.

Indicador	Setor florestal	%
• Produto Interno Bruto (PIB) (2006)	US\$ 26 bilhões	3,5% do PIB nacional
• Valor bruto da produção florestal (VBPF) (2007)	US\$ 28 bilhões	
• Arrecadação de impostos (2006)	US\$ 4,3 bilhões	1,1% da arrecadação nacional
• Arrecadação de impostos (2007)	US\$ 4,8 bilhões	0,981% da arrecadação nacional
• Empregos diretos e indiretos (2006)	4,3 milhões	4,4% da população economicamente ativa (PEA)
• Empregos diretos e indiretos (2007)	4,6 milhões	
• Exportação (2006)	US\$ 5,2 bilhões	3,8% das exportações nacionais
• Exportação (2007)	US\$ 6,1 bilhões	
• Importação (2006)	US\$ 0,95 bilhão	1,3% das importações nacionais
• Importação (2007)	US\$ 1,403 bilhão	
• Superávit da balança comercial (2006)	US\$ 3,9 bilhões	8,4% do superávit nacional
• Superávit da balança comercial (2007)	US\$ 4,7 bilhões	

Fonte: CIB, 2008

Uma das grandes vantagens do eucalipto é a facilidade que essa planta oferece para a obtenção de cruzamentos entre diferentes espécies, processo conhecido como hibridação. Resultante da combinação entre o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla*, o chamado *Eucalyptus urograndis* é um dos híbridos de eucalipto mais conhecidos e usados no Brasil. Essa mistura reúne as melhores características do *E. grandis* (crescimento e qualidade da madeira) e do *E. urophylla* (adaptação e resistência a doenças, particularmente ao fungo causador do cancro do eucalipto).

A clonagem de árvores “superiores”, provenientes de cruzamentos, e a utilização em larga escala dessa tecnologia foram dois dos principais fatores que levaram o Brasil a alcançar reputação mundial na produção de eucalipto de alta qualidade e de baixo custo. Esse processo trouxe os seguintes benefícios: Melhor qualidade da madeira (densidade, tipo de fibra, teor de lignina e celulose) para aplicações industriais; Maior homogeneidade da matéria-prima para a indústria; Melhores rendimentos de operação (florestais e industriais); Melhor aproveitamento de áreas de valor marginal (menos produtivas); Melhor planejamento e prognóstico da produção; Redução significativa dos custos de produção e do impacto ambiental do processo industrial.

A indústria brasileira de celulose é uma das mais fortes do setor florestal, tendo os mais baixos custos de produção do mundo (Tabela 11). Em comparação com alguns dos principais países nesse mercado, o Brasil é disparadamente o que produz a madeira pelo menor custo.

Tabela 12. Custo de produção da celulose (U\$\$/tonelada)

Países	Madeira	Energia	Químicos	Trabalho	Outros	Custo total
Brasil	63	13	25	16	40	157
Portugal	139	6	44	43	45	277
Canadá	120	21	32	50	49	272
Espanha	154	7	30	43	43	277
EUA	106	21	40	58	79	304

Fonte: CIB, 2008

A celulose de fibra curta, típica do eucalipto, vem conquistando também o mercado da fibra longa, derivada principalmente das coníferas (pínus). A demanda de celulose é alta, mas o interesse pela fibra curta tem sido ainda maior. Com isso, o Brasil ganha destaque no mercado internacional, uma vez que apresenta uma alta taxa anual de crescimento das exportações de celulose em relação a seus principais concorrentes (Tabela 12). Mantidos esses resultados, muito em breve o País será o maior exportador do produto no mundo.

Tabela 13. Valor das exportações de celulose (em mi U\$\$) e taxa média de crescimento anual do valor exportado (em %)

Países	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Cresc. médio %
EUA	5.099	5.456	–	–	5.113	5.121	0,1%
Canadá	10.260	10.522	–	–	10.897	10.614	0,7%
Brasil	3.333	3.440	4.570	4.988	5.545	6.243	13,4%
Finlândia	1.687	1.972	2.490	2.524	2.047	2.746	10,2%
Suécia	2.958	3.347	3.431	3.525	3.468	3.466	3,2%

Fonte: Bracelpa, Risi e PPPC

O gênero *Eucalyptus* encontrou, no Brasil, as condições ideais para seu crescimento. A produtividade desses plantios em terras brasileiras chega a ser até dez vezes superior à de países como Finlândia, Portugal e Estados Unidos. Em algumas empresas florestais do País, que, na década de 70, produziam uma média de 20 m³/ha/ano, hoje é possível atingir de 40 m³/ha/ano a 50 m³/ha/ano com o uso de material genético melhorado e das tecnologias atualmente disponíveis. Já não é mais surpresa ver, no Brasil, áreas produzindo em torno de 70 m³/ha/ano. Mesmo em comparação com a Austrália, país de origem da espécie, a produtividade brasileira é muito superior, o que se atribui às nossas condições climáticas e aos investimentos em melhoramento genético e em tecnologias de silvicultura.

O principal produto do eucalipto é a madeira, no entanto, existem diferentes usos para o plantio dessa cultura, o principal produto é para a indústria de celulose e papel, sendo que outros segmentos vêm aumentando cada vez mais sua demanda por eucalipto. Como no caso, por exemplo, do setor siderúrgico que por imposição legal precisa mudar para uma fonte de madeira plantada, na produção de carvão vegetal, para alimentação de seus fornos (Figura 9).

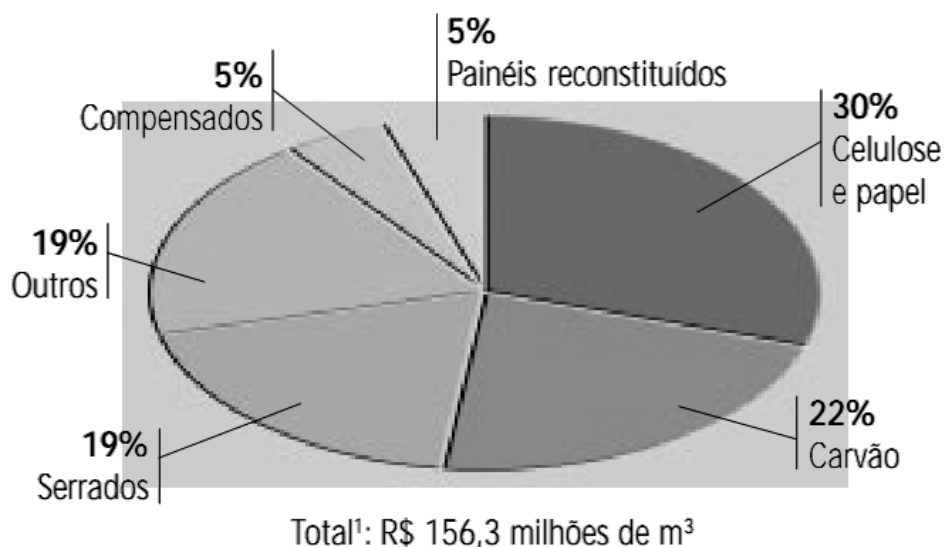


Gráfico 3. O mercado do eucalipto no Brasil. Fonte: CIB, 2008.¹ Estimativa STCP

3. METODOLOGIA

Neste trabalho se fez a opção pela revisão de literatura, para análise da dimensão da sustentabilidade, pesquisando a metodologia eMergética, sua aplicabilidade e relevância no contexto da eucaliptocultura, tendo em vista o atual quadro de sustentabilidade exigida para as atividades econômicas, sobretudo, para aquelas altamente demandantes de recursos naturais como a do setor primário.

O desenvolvimento foi analisado a partir da primeira e segunda lei da termodinâmica. Abordado como um processo de aumento de entropia, principalmente pela indústria, que é a forma crucial para alcançar o crescimento econômico, por ser mais produtiva, tendo como efeito diretamente proporcional o aumento da pressão sobre matérias-primas e energias fósseis, geralmente não valorados adequadamente pela economia neoclássica. A questão da sustentabilidade foi analisada através da ótica da economia-ecológica, que aborda o assunto a partir de um contrapondo entre “sustentabilidade fraca”. Representada por análises com poucas ou apenas uma forma de valoração da natureza. E a “sustentabilidade forte”. Representada por análises multicriteriais, através de baterias de indicadores, resultando na possibilidade de mais de uma forma de valoração, sendo assim, mais adequadas. Os indicadores estudados foram os da metodologia eMergética, quantificando a energia incorporado em um produto final, fazendo uso de abordagens de sistemas e transformidades.

Depois de realizado o levantamento do referencial teórico, constatou-se a coerente aplicabilidade e relevância da metodologia eMergética, para dimensionar a sustentabilidade da eucaliptocultura, como uma análise multicritérios, capaz de indicar a contabilidade ambiental do cultivo intensivo de eucalipto de forma adequada.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a revisão de literatura relacionada à metodologia eMergética, como uma análise multicliterial, observa-se que a mesma é capaz de valorar produtos através da memória eMergética (energia incorporada para o produzir). Possibilitando dentre outros fatores contribuir com uma melhor noção de sustentabilidade, através do conhecimento das entradas no sistema produtivo. Entende-se que investigações desse gênero serão cada vez mais necessárias, tanto pelo atual quadro de crise ambiental, como pelo avanço da ciência em direção à análises mais complexas e multicriteriais.

Em relação à eucaliptocultura como importante atividade econômica do setor primário para o desenvolvimento do Brasil, o uso do valor eMergético é significativamente aplicável e relevante, carecendo de mais estudos aprofundados capazes de formular uma apropriada modelagem, convertendo os *inputs* (ambientais, materiais e trabalho) para unidades de eMergia conhecendo assim a eficiência ecológica em uma base comum. Dessa forma a noção de sustentabilidade pode ser melhor compreendida, norteando o processo de tomada de decisão em diferentes esferas, sobretudo, no Brasil um país de riqueza natural singular, valorando seus recursos naturais que não são adequadamente incorporados em metodologias convencionais de valoração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTVATER, E. **O preço da riqueza**. São Paulo: Editora UNESP, 1995. 333 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAPÉIS DE MADEIRA (ABIPA). Números [produção madeireira no Brasil]. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acessado em: 04 out. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). Dados sobre a produção de celulose e papel no Brasil. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/461>>. Acessado em: 16 set. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. Brasília, DF, 2010. 140 p.
- AMAZONAS, M. C. **Valor e meio ambiente. Elementos para uma abordagem evolucionista**. 2001. Tese doutorado. Instituto de Economia – IE/UNICAMP.
- BOFF, L. Cuidar da Terra, nossa casa comum. Encontro de sustentabilidade - 2008. Disponível em: <http://sustentabilidade.bancoreal.com.br/cursos/Documents/080423_Encontros%20de%20Sustentabilidade_Leonardo%20Boff.pdf>. Acessado em: 08 de Set. 2011
- BRANCO, S. M. **Energia e meio ambiente**; São Paulo: Moderna, 1990.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Matriz Energética Nacional 2030. Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . Brasília : MME : EPE, 2007.p. 254 : il.
- COELHO, O.; ORTEGA, E.; COMAR, V. Balanço de Energia do Brasil (Dados de 1996, 1989 e 1981), 1998. Disponível em: < <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C05-Brasil-COC.pdf> >. Acessado em: 06 de Set. 2011.
- COSTANZA, R. The value of the world's ecosystem services and natural capital, **Nature**, 987: 253-260, 1997.
- COMISSÃO NACIONAL PARA A CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Documento de Contribuição Brasileira à Conferência Rio+20 – Brasília, 2011. Disponível em: < http://conselho.saude.gov.br/ultimas_noticias/2011/doc/rio20_propostabr_182.pdf >. Acessado em 28 de Set. 2011.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Guia do eucalipto, oportunidades para um desenvolvimento sustentável. 2008. Disponível em: < http://www.cib.org.br/pdf/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf >. Acessado em 20 Ago. 2011.
- CHANDLER JR., A. D. **The Visible Hand**. Cambridge: Havard University Press, 1977.

DEVALL, B.; SESSIONS, G. *Deep ecology*, Salt Lake City, G. M. Smith, 1985.

EBELING, W. Modelle de selbstorganisation in ökologischen und ökonomischen systemen. In BECKENBACH, F. (Ed.) **Die ökologische Herausforderung fur die ökonomische Theorie**. Marburg: Metropolis, 1991. p.347.

ESQUEDA, M. D.; LEÃO, A. L.; REIS, M. F. C. Ambiente, energia e educação ambiental: Temas relacionados aos resíduos sólidos urbanos. II Simpósio em Energia na Agricultura. FCA/UNESP, Botucatu, 2000. **Anais....v.2**, p.380-388.

FLORESTAS DO BRASIL EM RESUMO - 2010: dados de 2005-2010. / Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília: SFB, 2010. Disponível em: < http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_florestas_resumo_22648.pdf > Acessado em 12 Ago. 2011.

GADOTTI, M. **Pedagogia da terra**; São Paulo: Peirópolis, 2000.

HOURCADE, J-C. Précaution et approche séquentielle de la décision face aux risques climatiques de l'effet de serre. In: GODARD, O. (Ed.). **Le principe de précaution das la conduite des affaires humaines**. Paris: Editions de la MSH/INRA, 1997.

KELLERT, S. R. **Biophilia in Human Evollution and Development**, Washington DC. Island Press, 1997.

KELLERT, S. R.; WILSON, E. O. (eds.) **The Biophilia Hypothesis**, Washington DC. Island Press, 1993.

LEIA - Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada. Análise eMergética de sistemas online. Disponível em: < <http://www.unicamp.br/fea/ortega/em-folios/software/index.htm> >. Acessado em 02 de Ago. 2011.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L.; THOMAZ, D. T. Balanço Energético da Produção de *Eucalyptus benthamii* para Uso em Programas de Bioenergia. Comunicado Técnico 183. Embrapa Florestas. Colombo, 2007.

MILLER, G. T. **Ciência ambiental**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

MARTÍNEZ-ALIER, J. **Ecological economics: energy, environment and society**. Blackwell Publishers, Oxford, Reino Unido 1994..

MARTÍNEZ-ALIER, J. **Da economia ecológica ao ecologismo popular**. Blumenau: Ed. da FURB, 1998.

MARTÍNEZ-ALIER, J. **O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração** - São Paulo: Contexto, 2007.

McNEELY, J. A. **Economics and Biological Diversity: Developing and using economic incentives to conserve biological resources**. Gland: IUCN. 1988.

ODUM, E.P. Energy flow in ecosystems: a historical review. **American Zoologist**, 1968.

ODUM, H.T. **Ecological and general systems: an introduction to systems ecology**. University Press of Colorado. Colorado. 1994.

ODUM, H.T. Environmental accounting: emery and environmental decision making. John Wiley & Sons, Inc. Patten, B.C. & E.P. Odum. 1981. The cybernetic nature of ecosystems. **The American Naturalist** 1996.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5. ed. São Paulo: Thomson, 2007.

OLIVEIRA, S. A.; MORAES, M. L. T.; BUZETTI, S. Efeito da adubação NPK com e sem boro no crescimento de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 13, n.2, p115-120. 2001.

ORTEGA, E. ZANGHETIN, M.; TAKAHASHI, F. Cartilhas do LEIA: Modulo 1. Como funciona a natureza? Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.bdt.org.br/sma/entendendo/atual.htm>>. Acesso em: 10 set.2011.

PERRINGS, L. Reserved Rationality and the Precautionary Principle: Technological Chance, Time and Uncertainty in Environmental Decision Making. In: COSTANZA, R. (ed.). **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability**. New York: Columbia University Press, 1991.

PEET, R.; WATTS, M. N. (eds.). **Liberation ecologies**, Londres. Routledge, 1996.

ROMEIRO, A. R. Economia ou economia política da sustentabilidade? In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier 2003.

SICHE, J. R.; ORTEGA, E. O Índice de Sustentabilidade EMergético como ferramenta para avaliar a sustentabilidade dos países da América Latina. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA, 2., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2005. Disponível em: <http://www.cori.rei.unicamp.br/CT/resul_trbs.php?cod=214>. Acesso em: 12 nov. 2007.

SINISGALLI, P. A. A eMergia como indicador de valor para a análise econômica-ecológica. 2006. **Megadiversidade**, Volume 2, Nº 1-2.

SORESINI, L. Benefícios sociais e econômicos da pesquisa florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV, 1993. p.300-305.

VEIGA, J. E. O “fordismo” na acepção regulacionista. **Revista de Economia Política**. 1997, vol.17, n.3 (67), p: 63-70.