UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

LUAM DE OLIVEIRA TUBINO

OLEAGINOSAS E/OU CANA-DE-AÇÚCAR COMO ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS: DUAS FACES DA MESMA MOEDA

Porto Alegre
2010

LUAM DE OLIVEIRA TUBINO

OLEAGINOSAS E/OU CANA-DE-AÇÚCAR COMO ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS: DUAS FACES DA MESMA MOEDA

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Economia, da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como quesito parcial para obtenção do título Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Aloisio Ely

Porto Alegre

2010

LUAM DE OLIVEIRA TUBINO

OLEAGINOSAS E/OU CANA-DE-AÇÚCAR COMO ALTERNATIVAS E-NERGÉTICAS: DUAS FACES DA MESMA MOEDA

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Economia, da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como quesito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Aprovado em: Porto Alegre, 09 de julho de 2010.

_____

Prof. Aloisio Ely – orientador
UFRGS

_____

Prof. Juan Algorta Plá
UFRGS

_____

Prof. Carlos Schmidt

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que acompanharam os anos dedicados ao desenvolvimento acadêmico. A começar pelo movimento estudantil, que contribuiu na minha formação, pelos professores, em especial ao meu orientador, que sem a compreensão e tolerância esse trabalho não seria concluído. Assim como agradeço ao suporte da minha família e, principalmente, da minha companheira, cuja dedicação e carinho possibilitaram a entrega em tempo hábil.

EPÍGRAFE

“Se no passado a economia condicionou a utilização do meio ambiente, sem se preocupar com a degradação e exaustão de seus recursos, atualmente parece ser o meio ambiente que deve condicionar a economia.”

Antônio Evaldo Comune

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1 – Evolução da área ocupada e colhida de cana-de-açúcar entre 1975-2008. 45

Gráfico 2 – Evolução da produção de cana-de-açúcar entre 1975-2008.....46

Gráfico 3 – Distribuição da produção dos derivados energéticos de petróleo, em 2007. 76

Gráfico 4 – Evolução da importação de óleo diesel (mil m³).....78

Gráfico 5 – Evolução dos preços médios do óleo diesel ao consumidor. 80

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 – Ficha técnica resumo sobre a cultura de cana-de-açúcar 43
Tabela 2 – Composição (%) e poder calorífico superior (PCS) do eucalipto, palha e bagaço da cana 56
Tabela 3 – Fluxo energético da geração de etanol.....61
Tabela 4 – Cronograma de proporção da mistura de biodiesel (%).....66
Tabela 5 – Comparação entre ésteres metílico e etílico 68
Tabela 6 – Principais características do etanol e metanol 68
Tabela 7 – Características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel 69
Tabela 8 – Demanda de biodiesel por região a partir das projeções do GTI do biodiesel. 73
Tabela 9 – Estimativa de acréscimo de renda, área cultivada e de investimento agrícola na agricultura familiar segundo o cenário proposto 73
Tabela 10 – Estimativa de custos, área e renda de produtos agrícolas na agricultura familiar 74
Tabela 11 – Demanda de Diesel e Previsão de consumo Biodiesel por Estado, com B5 79
Tabela 12 – Avaliação dos custos e receitas dos óleos vegetais para a geração de biodiesel (2002) 81
Tabela 13 – Simulação de preços de B5 81
Tabela 14 – Síntese de dados técnicos da cultura da soja.....83
Tabela 15 – Capacidade potencial para produção nacional de biodiesel. 85

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO 11

2 – SÍNTESE DO ESTADO DO ATUAL CONHECIMENTO 14

2.1 – TEORIAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 14

2.1.1 – Um conceito em pleno processo de constituição 16

2.1.2 – Existe somente um estilo de desenvolvimento?.....20

2.1.3 – Cúpula da Terra e uma agenda global rumo ao desenvolvimento sustentável.....24

2.2 – TEORIA DA ECONOMIA ECOLÓGICA 26

2.2.1 – É possível integrar economia e ecologia na mesma visão.....26

2.2.2 – Fluxos energéticos e um novo conceito de "valor" 28

2.2.3 – O crescimento e sua tendência linear 33

2.2.4 – Ecologismo dos pobres 37

2.2.5 – Balanço energético.....38

3 – O MODELO BIOENERGÉTICO DO BRASIL.....39

3.1 – SINAIS DE FALÊNCIA DO MODELO ENERGÉTICO GLOBAL.....39

3.2 – O PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL E SEUS DESDOBRAMENTOS 40

3.2.1 – As origens da matriz bioenergética brasileira 40

3.2.2 – Mapeamento da cadeia produtiva do etanol.....43

3.2.2.1 – Cultivo da cana.....43

3.2.2.2 – Colheita 48

3.2.2.3 – Conversão industrial da cana-de-açúcar em açúcar ou etanol..49

3.2.2.4 – Etapa de pesagem e descarga.....50

3.2.2.5 – Moagem 50

3.2.2.6 – Uso do bagaço para geração de distintas formas de energia ...51

3.2.2.7 – Conversão do caldo em açúcar.....51

3.2.2.8 – Geração de Etanol 52

3.2.2.9 – Os resíduos desse processamento 54

3.2.2.10 – Aproveitamento da palha.....55

3.2.2.11 – Armazenamento e Distribuição 56

3.2.3 – Etanol de segunda geração.....57

3.2.4 – Contradições do "combustível sustentável" sob uma ótica ambiental *58*
3.3 – BALANÇO ENERGÉTICO DA GERAÇÃO DE ETANOL 60
3.4 – PROGRAMA NACIONAL DE USO E PRODUÇÃO DE BIODIESEL 62
3.4.1 – Antecedentes Históricos e um "Novo Programa" Bioenergético... 62
3.4.2 – Rotas tecnológicas de conversão e diversidade de oleaginosas . 66
3.4.3 Especificações e testes 70
3.4.4 Integração da agricultura familiar na cadeia do biodiesel 71
3.4.5 - Mercado interno de diesel mineral 75
3.4.6 – Mapeamento da cadeia produtiva do biodiesel 82
3.4.6.1 – Cultivo e colheita da soja 82
3.4.6.2 – Processamento industrial 83
3.4.6.3 – Armazenamento e comercialização 86
3.4.7 – Efeitos do biodiesel sobre ecossistemas nacionais 87
4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS 91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 93
ANEXOS I 98
ANEXO II 99
ANEXO III 100

RESUMO

A temática central nesse trabalho será a análise comparativa entre os modelos produtivos de biocombustíveis a partir de oleaginosas, principalmente a soja, e da cana-de-açúcar, por meio da abertura da cadeia produtiva de ambos os modelos. A partir de um enfoque que vincule desenvolvimento econômico com sustentabilidade ambiental. Nessa medida, o objetivo central será verificar os efeitos ambientais e econômicos distintos desses modelos. Ao considerar que, a sociedade do século XXI está passando por um processo de transição de sua matriz energética em escala global, resultado da preocupação crescente com respeito à in(sustentabilidade) do modelo energético vigente, que está baseado em combustíveis fósseis não-renováveis. No caso do Brasil, existem duas alternativas para geração de combustíveis renováveis com o intuito de reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Para compreender a nova incursão em torno do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) é preciso avaliar seus antecedentes históricos e a evolução do Programa Nacional do Álcool (PNA). A partir dessa análise, constatamos que existem limites implícitos a função que os biocombustíveis assumem de forma suplementar à substituição dos derivados de petróleo. Nessa análise, é fundamental avaliarmos a eficiência do fluxo energético para geração do etanol e do biodiesel, sob uma ótica transdisciplinar e integrada com uma visão econômica e ecológica, simultaneamente. Com base, nos impactos ambientais gerados pelos modelos bioenergéticos e suas contradições em relação a sua concepção e implementação podemos afirmar que seu caráter sustentável é questionável.

Palavras-chave: sustentabilidade, balanço energético, biodiesel, etanol, matriz bioenergética.

1 – INTRODUÇÃO

A temática central nesse trabalho será a análise comparativa entre os modelos produtivos de biocombustíveis a partir de oleaginosas[1], principalmente a soja, e da cana-de-açúcar. A análise desenvolvida parte do pressuposto que a sustentabilidade ambiental é uma componente indissociável da sustentabilidade econômica. Nessa medida, verificaremos através do mapeamento das cadeias produtivas de ambos os modelos se seus efeitos são insustentáveis ou sustentáveis do ponto de vista ambiental. Logo, o objetivo principal será verificar os efeitos ambientais e econômicos distintos dos modelos brasileiros de produção de combustíveis renováveis.

Para tratar deste objetivo principal será preciso passar por algumas questões específicas, que são:

i) as limitações da matriz energética à base de combustíveis fósseis não-renováveis;

ii) a conceituação e identificação das características do desenvolvimento sustentável que podem ser aplicadas no modelo brasileiro;

iii) a análise das interrelações entre os agentes ao longo da cadeia produtiva dos biocombustíveis;

iv) um posicionamento sobre a discussão acerca dos impactos econômicos e ambientais;

O tema da mudança da matriz energética tem sido desenvolvido por pesquisadores de diversas matizes teóricas em todo o mundo, tendo em vista a preocupação crescente com respeito à in(sustentabilidade) do modelo energético vigente, baseado em combustíveis fósseis não-renováveis, bem como devido aos impactos de caráter irreversível que causa no meio ambiente. Considerando este debate, o modelo de produção baseado nos biocombustíveis retorna à agenda do governo brasileiro, a partir de dezembro de 2004, como uma forma alternativa e “renovável” de gerar energia, via o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Para compreender as reais possibilidades desse Programa, cujos obje-

[1] Podem ser conceituadas como vegetais que possuem alguma concentração de óleos e gorduras que são extraídos a partir de diferentes processos, cujo óleo extraído possui uma concentração energética que pode ser utilizada como combustível.

tivos declarados visam à ampliação da produção de combustíveis renováveis e a geração de desenvolvimento sócio-econômico nas regiões mais pobres do país, é preciso discutir os antecedentes históricos dessa política.

Esse processo se inicia com o Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, lançado como um dos principais projetos do II Programa Nacional de Desenvolvimento (II PND) criado pelo governo militar em 1974, objetivando a substituição de parcela do volume importado de petróleo.

Acompanhar a implementação do PROÁLCOOL é fundamental para avaliar os desafios que o PNPB se propõe a superar. Levando em consideração que o Brasil chegava a importar 80% do petróleo consumido na década de 1970.

Já em 2008, essa situação manifestamente mudou. Após quase quatro décadas o país passou por diversas transformações em termos políticos, sociais e econômicos, como a autossuficiência na produção de petróleo, a economia consolidou sua estabilidade monetária e seu nível de crescimento, a presidência da república é dirigida por um civil a mais de quatro gestões contínuas, e este novo contexto tende a influenciar os desdobramentos do PNPB de forma distinta ao PROÁLCOOL.

Apesar dessas diferenças, de acordo com alguns autores, como CAMPBELL (2005), o período de expansão da produção de petróleo nos EUA já se esgotou e no início do século XXI será atingido o ápice das suas reservas, o que significa que a partir desse período será uma questão de tempo e de ritmo do consumo para exaurirmos todas as reservas mundiais.

A sociedade do petróleo está passando por uma fase de transição, não somente pela escassez física das reservas a qual pode sempre ser discutida, mas pela viabilidade econômica e as potencialidades de alternativas energéticas. À medida que, as sociedades se desenvolvem seu modo de produção se altera, bem como sua matriz energética. Após a sociedade do carvão migramos para a do petróleo, que potencializou amplamente a capacidade de produção e consumo, e reside a dúvida qual será a próxima base da matriz energética. Nesta fase de transição pode-se identificar que haverá uma diversificação dessa matriz e maiores restrições em relação ao consumo das diversas formas de energia.

De acordo com estas conclusões a mudança da matriz energética será uma questão central para o desenvolvimento da sociedade como um todo, e neste cenário o Brasil apresenta alternativas via a produção de biocombustíveis e a redução

dos níveis de emissão de gases de efeito estufa (GEE), cuja maior emissão provêm das queimadas sobre a floresta nativa ou plantações agrícolas.

Diversos estudos sobre etanol tratam seu modelo de forma isolada, como os trabalhos de NOGUEIRA (2004), MACEDO (2004), HOMEM DE MELO (1981), entre diversos outros sobre o setor sucroalcooleiro e suas perspectivas no mercado mundial. Na área dos biocombustíveis as pesquisas em sua maioria tratam da discussão do PNPB, das suas potencialidades e efeitos, sendo esta uma característica presente em boa parte dos artigos de grupos de pesquisa da Fundação Estadual e Economia e Estatística (FEE) ou do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), mas existem poucos trabalhos com resultados do nível de produção desde 2005, ano em que se iniciou a produção de biocombustíveis a partir de oleaginosas, bem como sobre sua respectiva cadeia produtiva. Portanto, levantar essas informações, ressaltar a evolução histórica de ambos modelos produtivos e avaliar seus impactos econômicos e ambientais será a forma através da qual se buscará responder à questão levantada por este trabalho.

No campo da economia do meio ambiente é importante referenciar os autores que tratam de estilos de desenvolvimento sustentável, como SACHS (1986, 2000, 2004), ELY (1992), MEADOWS (1972), MUELLER (1997, 2007), BARBIERI (1987) entre outros. Todos estes autores ilustram uma parcela das correntes que compõem a economia do meio ambiente. Todavia, esta pode ser dividida em duas correntes principais: economia ambiental neoclássica e economia ecológica. De acordo com MUELLER (2007) a corrente ambiental da economia neoclássica surge a partir de 1960, com dois desdobramentos para avaliar os diversos impactos da poluição e da escassez dos recursos naturais em torno do bem estar social. Com base no mesmo autor a corrente econômica ecológica surge em contraposição às visões da economia ambiental neoclássica visando estabelecer uma reflexão mais integrada e interdisciplinar sobre as relações sócio-econômicas com o meio ambiente.

Existem muitos conceitos para caracterizar modelos de caráter sustentável, e esta conceituação ampla dificulta uma avaliação efetiva sobre os mesmos. Este teórico e doutrinário, ainda que faça parte do horizonte deste trabalho não constitui o seu foco central, que é bem mais limitado: ao avaliar os dois modelos brasileiros de geração de bioenergia do ponto de vista da sua sustentabilidade.

2 – SÍNTESE DO ESTADO DO ATUAL CONHECIMENTO

2.1 – Teorias sobre Desenvolvimento Sustentável

A discussão sobre estilos de desenvolvimento e sobre sustentabilidade dos processos de produção são antecessoras ao enfoque trabalhado por organismos internacionais a partir da segunda metade do século XX. Essas discussões foram levantadas, anteriormente, por pensadores clássicos como Marx, Engels, Jevons, Clausius, entre outros. Jevons já discutia sobre os potenciais problemas ocasionados pela utilização exacerbada das reservas de carvão, que era o combustível básico da "locomotiva industrial" europeia, durante a primeira Revolução Industrial, no final do século XVIII.

Em uma publicação que lhe rendeu o cargo de professor do Owen College de Manchester, que se denominava *A questão do carvão*, de 1865, fez uma análise completa sobre o comportamento das reservas de carvão da Grã-Bretanha até o final do século XIX. Porém, seu enfoque não foi plenamente marginalista, dado que não discutiu nesse artigo o comportamento dos preços relativos do carvão ou sua alocação ótima intertemporal em relação à sua utilidade marginal. Por outro lado, defendeu a necessidade da Grã-Bretanha utilizar suas reservas de forma acelerada no curto prazo para garantir seu ritmo de crescimento industrial, mas no médio prazo recomendou a redução do ritmo de extração com base em uma taxa de desconto do consumo presente sobre o consumo das próximas gerações. Possivelmente, suas preocupações a respeito dos limites das reservas de carvão em pleno século XIX originaram-se do seu pessimismo perante as mudanças tecnológicas da matriz energética, no futuro.

Na mesma direção Rudolf Clausius, que foi um importante físico e matemático do século XIX, levantou inúmeras preocupações sobre o ritmo de extração das reservas de carvão e o impacto que uma mudança radical da matriz energética, devido à exaustão dessas reservas, poderia gerar na sociedade europeia ocidental durante este século. Nas palavras do autor:

> "... Estas reservas las consumimos ahora y nos comportamos como herederos despreocupados. De la tierra se extrae tanto como la fuerza humana y los medios técnicos lo permiten y se consume como si fuese inagotable. Al mismo tiempo, aumentan en forma asombrosa los ferrocarriles a base de carbón, los barcos de vapor y las industrias accionadas por máquinas de

> vapor, de manera que al mirar hacia el futuro, casi sin querer se impone preguntar qué va a pasar cuando las reservas de carbón se hayan agotado." (MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN en La Ecología y la economía. p. 96-97).[2]

Fica claro, no trecho acima, que Clausius, já em meados do século XIX, questionava a capacidade de reprodução do estilo de desenvolvimento que a sociedade europeia utilizava para manter um ritmo crescente do nível de industrialização da sua economia, além de acumular um volume de capital, que lhe rendesse a liderança sobre o novo modelo de produção que estava se instaurando. Todavia, poucos economistas se perguntaram se seria possível manter indefinidamente o ritmo de consumo de reservas dos seus recursos naturais, de caráter não-renovável. Na verdade as principais economias da Europa Ocidental, não tinham, ainda, a completa dimensão dos efeitos gerados pela sua taxa de crescimento econômico a partir da primeira Revolução Industrial. Ressaltando que um físico foi um dos poucos pensadores que questionou as conseqüências de uma futura escassez das reservas deste primeiro combustível fóssil utilizado, mas além dessas preocupações, também contribuiu com a formulação da segunda lei da termodinâmica, após estudar, excessivamente, o comportamento da energia na sua forma de calor, principalmente através de experimentos com a máquina a vapor. Um dos resultados principais desse estudo se resume no conceito de entropia[3], que, basicamente, trata da dissipação de energia na forma de calor que não é recuperada em um processo de trabalho termodinâmico.

Essa reflexão histórica ajuda a compreender a dimensão e magnitude da discussão em torno da sustentabilidade, do modo de produzir mercadorias e dos limites impostos pela matriz energética de cada sociedade. Apesar da importância de avaliar o passado dessas discussões com maior profundidade, optou-se por traçar uma perspectiva histórica a partir do ponto em que essas questões foram tratadas, pós-segunda guerra, principalmente dentro de fóruns, conferências e assembléias da Organização das Nações Unidas (ONU).

---

[2] Tradução livre do autor: ... Estas reservas que consumimos agora e nos comportamos como herdeiros despreocupados. Da terra se extrai tanto através da força humana e dos meios técnicos que permitem e se consome como se fosse inesgotável. Ao mesmo tempo, aumentam em forma assombrosa a malha ferroviária do carvão, os barcos a vapor e as indústrias movidas pelas máquinas a vapor, de maneira que ao olhar para o futuro, quase sem querer se impõe a pergunta que se fará quando as reservas de carvão se esgotarem.

[3] Este conceito será aprofundado no decorrer do trabalho.

2.1.1 – Um conceito em pleno processo de constituição

A noção de sustentabilidade foi tratada de uma forma melhor e mais objetiva pelas Ciências Biológicas, podendo ser denominada de sustentável qualquer exploração de recursos renováveis que não gerem um impacto superior à sua capacidade de renovação e regeneração. Portanto, em primeiro lugar, para entender o conceito biológico de sustentabilidade e seus desdobramentos teóricos em outros ramos científicos é preciso compreender conceitos básicos já tratados de forma exaustiva pelas Ciências Biológicas. Este é o caso da definição de ecossistema, dito como um sistema estável e que perpetua a si mesmo, composto de uma comunidade de organismos vivos que ocupam um ambiente físico. Considerando um sistema um conjunto de objetos ligados entre si por alguma conexão ou ação regular. E suas partes são compostas de inúmeras interrelações complexas. A maioria destes sistemas baseiam-se em relações de cooperação e simbiose, apesar dos dois serem praticamente sinônimos. Teses mais recentes, como a desenvolvida pela bióloga Marguris, defendem que o processo de evolução só foi possível a partir da cooperação de diversas bactérias, que geraram as condições fundamentais para o desenvolvimento da vida e de organismos mais complexos, como os animais e vegetais. (LOVELOCK, 2006).

Com base nestes conceitos é possível dividir os recursos naturais utilizados cotidianamente ao longo de inúmeras cadeias produtivas, mais especificamente, aos utilizados para geração de energia, em renováveis e não-renováveis. É quase intuitivo perceber que os bens podem ser classificados na segunda categoria por não possuírem condições de se reproduzirem durante uma linha temporal humana. O petróleo é um bom exemplo, dado que é um dos principais combustíveis fósseis utilizados na matriz energética mundial. Pode ser caracterizado como uma combinação complexa de hidrocarbonetos oriundos, segundo a teoria mais aceita, de um longo processo de sedimentação de restos orgânicos de animais e vegetais depositados no fundo de oceanos e lagos pré-históricos, e as transformações que passou para atingir suas características físico-químicas no presente demoraram centenas de milhares de anos. Nesta medida, apesar da aparente abundância de suas jazidas no início da sua extração não será possível reconstituí-las pelos próximos milhares de anos – afinal o tempo geológico do Planeta é exponencialmente superior à dimensão de tempo compreendida pela civilização humana.

Com relação aos recursos naturais renováveis é possível tratarmos de um nível de exploração de caráter sustentável, porém, teremos que levar em consideração a capacidade de regeneração ou de absorção do impacto gerado ao longo do ciclo de reprodução do recurso em questão, que em geral é anual. No caso de uma floresta primária, por exemplo, é possível realizar sua extração através de um controle de manejo no qual as árvores mais "velhas" seriam identificadas e derrubadas para dar espaço ao desenvolvimento de diversas outras árvores que estão em fase de crescimento, porém o ritmo de extração destas árvores manejadas estará condicionado à taxa de crescimento das demais árvores menores, para que a extração não gere um impacto a uma taxa superior à capacidade da floresta primária se regenerar. Esse exemplo serve para relembrarmos a forma desordenada na qual a estrutura extrativista brasileira foi conduzida que, através do sistema de *plantation*[4], cultivou poucas espécies as quais consumiram, ao longo de três séculos, o bioma da Mata Atlântica[5]. Através de um profundo levantamento histórico Warren Dean, um brasilianista norte-americano que tratou ao longo da sua vida de questões ligadas aos recursos naturais e os impactos econômicos sobre estes, recontou a evolução da Mata Atlântica desde antes da chegada dos que denominou de neo-europeus. Através de um processo de derrubada e queimada da floresta primária os colonizadores europeus modificaram a completamente, para darem lugar a novas pastagens, monocultivos agrários e escombros deixados pela mineração de metais preciosos. Segundo Dean (1996), em sua obra *A ferro e fogo*, a Mata Atlântica foi consumida ao longo dos séculos XV e XVI em mais de 120 km^2 devido ao cultivo da cana-de-

---

[4] Regime de *plantation* – pode ser considerado o processo produtivo predominante ao longo dos séculos de colonização brasileira, e de diversos países da América Latina, que baseava-se na produção agrícola de algumas culturas, cuja maior parte da produção era direcionada aos mercados dos países colonizadores, como boa parte das principais nações da Europa Ocidental.

[5] Segundo Dean: "Na costa leste da América do Sul, extendia-se outrora uma imensa floresta ou, mais precisamente, um complexo de tipo de florestas, em geral latifoliadas, pluviais e de tropicais a subtropicais. Entre oito e 28º de latitude sul, interiorizava-se a cerca de cem quilômetros da costa no norte e alargava-se a mais de quinhentos quilômetros do sul. No total, a floresta cobria cerca de 1 milhão de quilômetros quadrados. Esse complexo tem sido chamado de Mata Atlântica brasileira, associado a outra muito maior, a Floresta Amazônica, mais distinto dela. (...) A Mata Atlântica era em si mesma de uma diversidade extraordinária, levando-se em conta seu tamanho relativamente modesto." (Dean, Warren (1996), A ferro e fogo – A história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. p. 24-25)

[7] Dean calculou que era preciso queimar "cerca de quinze quilos de lenha para cada quilo de açúcar produzido, o que daria a média de 210 mil toneladas de matas secundárias e florestas de manguezais de enseada cortadas anualmente para esse fim. [...] Calculando-se duzentas toneladas de lenha por hectare, as moendas teriam consumido mais de 1200 km2 no curso de 150 anos – um fator que, juntamente com a criação de gado e o fabrico de tijolo e telha, impedia que a floresta renascesse em torno de diversos estuários. (Dean, Warren (1996), A ferro e fogo – A história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. p. 96-97)

açúcar e em outros 1.200 km^2 pela utilização de lenha no processo de produção do açúcar. Para chegar neste resultado o pesquisador confrontou o volume de cana-de-açúcar extraída ao longo de 1600 e 1700 e avaliou o volume de lenha[7] necessária para produzir açúcar.

Outro conceito importante para compreendermos a noção de sustentabilidade é a ideia de continuidade, a qual tem como pressuposto de que haverá recursos para as futuras gerações, dado que a humanidade não consumirá todos os recursos finitos no presente. Portanto, não se trata de reduzir o nível de vida da geração presente em detrimento da vindoura, e sim frear seu ritmo de destruição gerado pela maneira como a geração presente produz suas mercadorias e as consome, e estimular uma transição para um modo menos destrutivo e desigual, o qual está se estabelecendo como condição necessária para a manutenção da espécie humana no planeta.

Essa discussão introduz alguns dos conceitos que foram tratados de distintas formas por alguns centros e grupos de pesquisa europeus e americanos pós-segunda guerra mundial. Como no trabalho encomendado pelo Clube de Roma[8] no final da década de 1960, o qual foi publicado no início da década de 1970, realizou um levantamento considerável dos impactos antrópicos gerados desde a primeira Revolução Industrial. Com a coordenação de MEADOWS (1972) um grupo transdiciplinar de pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* publicaram o relatório Limites do Crescimento[9], que defendeu a tese de que os países em geral deveriam reduzir sua taxa de crescimento econômico até estabilizá-la em zero para não gerar a exaustão plena dos recursos naturais. Apesar, dos resultados catastróficos sobre o meio ambiente apresentado neste relatório e sua argumentação de caráter neo-malthuasiana, o mesmo permeou a maior parte das discussões da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano que tratou do estilo

---

[8] Não existem muitas referências oficiais sobre o *Clube de Roma*, mas sabe-se que foi fundado por volta de 1968 por estudiosos e acadêmicos europeus para tratar das problemáticas globais ligadas a estabilidade da economia e os impactos do modo de vida da humanidade sobre o meio ambiente. Reúnem ainda hoje economistas, líderes-políticos, cientistas, acadêmicos, industriais das mais variadas nacionalidades.

[9] De todos os trabalhos publicados a partir das discussões realizadas por integrantes e simpatizantes do Clube de Roma os “Limites do crescimento”, de 1972, coordenado por D. L. Meadows, foi um dos mais controversos e pessimista em relação a visão de longo prazo do modo de produzir mercadorias desde a I Revolução Industrial. Porém, pode ser considerado um dos trabalhos mais lidos sobre meio ambiente e impacto antrópico da história, dado que foram vendidos mais de 30 milhões de cópias em dezenas de idiomas distintos.

dominante de desenvolvimento e seus impactos sobre o meio ambiente e a sociedade, o qual foi realizado em Estocolmo, em 1972.

Foi, também, nessa conferência que, pela primeira vez, se discutiu os limites do estilo de desenvolvimento seguido pela maioria das nações, e pouco tempo depois o conceito de ecodesenvolvimento[10] tentaria abarcar novas ideias para embasarem distintos estilos. Sachs, que estava presente nessa conferência, foi um dos autores que buscou detalhar as propostas desse estilo de desenvolvimento na forma de um programa aplicável pelas nações em geral.

Quando tratamos de estilo de desenvolvimento, em primeiro lugar devemos nos ater ao fato de que pode haver distintas formas, assim como de que o crescimento econômico deve ser entendido como um componente do desenvolvimento e uma condição muitas vezes necessária, porém não pode ser considerada uma condição suficiente e tão quanto um fim em si. Importante ressaltar que não estamos discutindo desenvolvimento como um simples processo histórico ou como ele meramente pode representar uma narrativa da evolução histórica dos diferentes sistemas econômicos.

BARBIERI (2008) ressaltou o conflito presente entre as nações desenvolvidas e em desenvolvimento que foi sintetizado pela Comissão Brasileira durante a participação na Conferência de Estocolmo, a qual era referendada pela Índia e por outros países em desenvolvimento, de que a pior forma de poluição que há é a da pobreza.

Durante as rodadas de discussões era evidente a posição defendida por boa parte dos países em desenvolvimento, os quais não desejavam frear seu ritmo de crescimento, pois acreditavam na possibilidade de atingir o mesmo patamar das nações desenvolvidas se trilhassem caminho semelhante ao que essas percorreram para alcançar seu atual nível de “riqueza”. Por isso, ao fazer uma avaliação dos discursos das nações desenvolvidas com relação aos perigos do estilo de desenvolvimento seguido, devido aos seus riscos sistêmicos implícitos em termos ambientais, não validaram esse discurso dado o grande volume das suas reservas de recursos naturais, renováveis e não-renováveis.

Não é o foco desse trabalho, mas deve ser levado em consideração, a existência de regimes políticos autoritários em quase todos os Estados Latino-

---

[10] Segundo Sachs (1986) este conceito foi lançado por Maurice F. Strong, diretor executivo do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), durante a primeira reunião do Conselho Administrativo do PNUMA, que ocorreu em Genebra, em julho de 1973.

Americanos, que no caso brasileiro estava colocando em prática seu Segundo Programa Nacional de Desenvolvimento (II PND), durante este período, o qual direcionava investimentos consideráveis em setores em que acelerariam ainda mais o ritmo de crescimento do país, sem levar em consideração os impactos gerados sobre os ecossistemas existentes. Portanto, não havia espaço na agenda política e econômica da maioria desses países para se discutir a exaustão dos recursos naturais e o volume de resíduos gerados dos seus processos produtivos normalmente de caráter mimético aos processos das nações desenvolvidas

Outra discussão, mas não menos importante, dessa Conferência refere-se às posições extremas: de um lado, os que defendiam o crescimento zero, de outro, os que eram a favor da completa substituição dos impactos ambientais através de inovações tecnológicas. Para SACHS (1972), a proposta do primeiro grupo acabaria limitando as nações em desenvolvimento ao nível de riqueza que chegaram. Enquanto o segundo grupo supervalorizaria o papel da tecnologia.

Nessa medida, não se avançou durante a Conferência em Estocolmo em termos de uma proposta global de um novo estilo de desenvolvimento de caráter mais sustentável, ou mesmo em um acordo consensual entre as diversas nações de uma considerável heterogeneidade e momentos históricos bem distintos. Porém, foi um marco importante para difusão das discussões implícitas aos limites do modelo de desenvolvimento aplicado até então, e dentro da ONU avançou na forma do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o qual passou a ser o braço daquele organismo para desenvolver novas conceituações e mobilizar as diversas nações em volta da temática da sustentabilidade.

2.1.2 – Existe somente um estilo de desenvolvimento?

O processo de conexão entre os conceitos de sustentabilidade com a lógica imperativa do crescimento econômico ocorreu de forma gradual e se constitui a partir das contradições presentes no modelo de crescimento calcado na dinâmica simples da acumulação de capital como um fim em si mesmo. Trabalhos publicados após a Conferência de Estocolmo tratavam, basicamente, dos limites físicos impostos pelos recursos naturais, que constituem a base das matérias-primas e o combustível dos principais agentes econômicos, por exemplo a publicação *World Conservation Strategy* desenvolvida pela *Internacional Union for Conservation of Nature* (UICN) e

*World Wildlife Fund (*que atualmente chama-se *World Wide Fund for Nature* – WWF) a pedido do PNUMA, e publicado em 1980. Nas palavras de BARBIERI (2008) esse documento propôs os seguintes objetivos:

> "1) Manter os processos ecológicos essenciais e os sistemas naturais vitais necessários à sobrevivência e ao desenvolvimento do Ser Humano; 2) Preservar a diversidade genética; 3) Assegurar o aproveitamento sustentável das espécies e dos ecossistemas que constituem a base da vida humana." (BARBIERI, José C. (2008) - Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21. p. 23).

Os objetivos delineados no trabalho da WWF era buscar a compreensão de um estilo de desenvolvimento de caráter sustentável. Afinal, o "*habitat humano*" está intrinsecamente ligado, queiramos ou não, com os ecossistemas naturais, e nesta medida seria imprudente continuarmos nos baseando em um modelo sócio-econômico e político, que não leva em consideração a dimensão ambiental e os impactos sobre esta. Logo, após a publicação do *World Conservation Strategy* a Assembléia Geral da ONU criou a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), a qual foi presidida pela Primeira-ministra da Noruega Gro Harlem Brundtland de 1983 até a publicação do Relatório Brudtland[11], em 1987. A Assembléia da ONU determinou como questões centrais da CMMAD:

> "1) Propor estratégias ambientais de longo prazo para obter um desenvolvimento sustentável por volta do ano 2000 e daí em diante;
>
> 2) Recomendar maneiras para que a preocupação com o meio ambiente se traduza em maior cooperação entre os países em desenvolvimento econômico e social e leve à consecução de objetivos comuns e interligados que considerem as inter-relações de pessoas, recursos, meio ambiente e desenvolvimento;
>
> 3) Considerar meios e maneiras pelos quais a comunidade internacional possa lidar mais eficientemente com as preocupações de cunho ambiental;
>
> 4) Ajudar a definir noções comuns relativas a questões ambientais de longo prazo e os esforços necessários para tratar com êxito os problemas da proteção e da melhoria do meio ambiente (CMMAD, 1988, XI)". ((BARBIERI, José C. (2008) - Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21. p. 24).

O Relatório Brudtland tratou de interligar a dimensão ambiental com um estilo de desenvolvimento, porém não de forma desconexa com a realidade social presente nos países, principalmente, das nações em desenvolvimento e subdesenvolvidas,

---

[11] O relatório recebeu o título de *Nosso Futuro Comum* e definiu um conceito abrangente, mas importante do desenvolvimento sustentável.

que podemos sintetizar no nível de desigualdade sócio-econômica existente internamente nestes países e em suas relações com outras nações. De acordo com este relatório o termo *desenvolvimento sustentável* seria:

> "... um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas." (CMMAD, 1988, p. 49)."

Apesar, do elevado nível de abrangência dessa definição duas questões estão diretamente ligadas à consolidação desse conceito. A primeira trata das condições em atender as necessidades da humanidade no presente da forma mais equitativa possível, logo a eliminação da pobreza e da desigualdade está integrada a esta visão de desenvolvimento. A segunda discute a questão da preservação, pois as gerações futuras possuem os mesmos direitos de usufruir o que é usufruído hoje, e esta visão de conservação abarca o meio ambiente, os aspectos culturais e históricos, entre outros.

Nesta perspectiva, qualquer modelo econômico que desconsidere a deterioração dos recursos naturais renováveis ou não, terá dificuldades de se manter no longo prazo, e também ressalta que a questão ambiental não deve ser tratada de forma fragmentada, dado que o desenvolvimento lida com um sistema complexo interconectado onde cada decisão pode gerar diferentes efeitos, tanto sobre os ecossistemas naturais, quanto humanos.

Assim como o desenvolvimento baseado apenas no crescimento econômico não é o único estilo possível, não existe apenas um estilo sustentável, afinal cada país ou região do Planeta possui suas próprias características biológicas, geográficas e étnico-culturais, porém a busca por modelos mais sustentáveis e harmonizados com o meio ambiente deve ser realizada por todas as nações humanas, segundo o Relatório Brudtland.

Em consonância com estas conclusões podemos analisar o ecodesenvolvimento como um conceito que pode estimular segundo Sachs (1986), "um estilo de desenvolvimento particularmente adaptado às regiões rurais do Terceiro Mundo". Mais especificamente, Sachs trata de um novo modelo que poderia ser introduzido pelos países tropicais, os quais possuem enorme biodiversidade e potenciais singulares em termos de exploração dos recursos naturais renováveis. Escolhemos algu-

mas das características mais marcantes deste estilo, de acordo com Sachs (1986), para entendermos sua estruturação teórica:

> "1. Em cada ecorregião, o esforço se concentra na valorização de seus recursos específicos, para a satisfação das necessidades fundamentais da população em matéria de alimentação, habitação, saúde, e educação, sendo essas necessidades definidas de maneira realista e autônoma, com vista a evitar os nefastos efeitos de demonstração do estilo de consumo dos países ricos. 3. A identificação, a exploração e a gestão dos recursos naturais se fazem numa perspectiva de solidariedade diacrônica com as gerações futuras; 4. Os impactos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente são reduzidos, mediante procedimentos e formas de organização da produção que permitam aproveitar todas as complementaridades e utilizar os dejetos para fins produtivos; 6. O ecodesenvolvimento implica um estilo tecnológico particular, já que, na maioria dos casos, as diretivas assinaladas acima não podem ser aplicadas sem o desenvolvimento de técnicas apropriadas." (SACHS, Ignacy, 1986. Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir. p. 16-17)

A partir destes elementos podemos perceber a amplitude da discussão que está sendo travada há muito tempo entre as ciências naturais e humanas. A forma como Sachs estruturou o ecodesenvolvimento como um estilo específico demonstra uma visão transdisciplinar e integrada das relações entre sociedade e meio ambiente. Desde a tecnologia, passando pelo modo de exploração dos recursos naturais e produção de mercadorias até as relações sociais implícitas nestes processos o elemento da endogeneidade é fundamental para a reflexão de um desenvolvimento dito sustentável. Obviamente, não devemos tratar essa visão de uma forma extremada e defender modelos autárquicos de produção, todavia as nações em desenvolvimento não devem simplesmente tentar copiar soluções ou caminhos delineados pelas nações desenvolvidas de forma mimética, como se estivéssemos tratando de bois seguindo o estouro da boiada.

A questão tecnológica é importante para verificarmos os limites do mimetismo das nações em desenvolvimento em relação às soluções exportadas pelas nações desenvolvidas. Afinal, uma visão estrita de eficiência econômica justifica o uso de tecnologias estrangeiras e mais competitivas em termos de preço perante as soluções domésticas, todavia, geralmente, essas tecnologias apresentam custos extras, pois precisam ser adaptadas a outras realidades e limites ecológicos. Estas tecnologias, normalmente, causam a desestruturação do nível de emprego formal em diversos setores, enquanto soluções desenvolvidas em parceria com as populações locais poderiam chegar ao mesmo resultado sem gerar os mesmos efeitos sobre os ecossistemas naturais e humanos.

É possível pensar soluções próprias, por exemplo, de como explorar a Amazônia, sem resumi-la a extensões gigantes de monocultivo, ou gerar renda a partir da floresta sem torná-la um deserto? Todavia, pensar em um outro estilo de desenvolvimento é repensar a forma selvagem como o crescimento econômico se expandiu às custas de um empréstimo diário a Gaia[12], que em algum momento precisará ser pago. Apesar de haver pesquisadores que acreditam que essa dívida poderá ser paga, plenamente, pelas gerações futuras, não é razoável usarmos um empréstimo hoje e transferirmos sua amortização para a próxima geração, mesmo que as condições tecnológicas possibilitassem isso.

Esta discussão está diretamente ligada à forma como as sociedades em geral consomem e desperdiçam seus recursos. Segundo Sachs (1986) o problema da "má distribuição" dos recursos é um dos principais entraves para a formulação de um outro estilo de desenvolvimento. Nas palavras do autor:

> "A desigualdade social engendra o desperdício de recursos nos ricos e a super exploração da terra por parte dos pobres. Daí porque não será possível haver soluções duráveis aos problemas ecológicos do nosso planeta que não sejam as fundamentadas na igualdade."(SACHS, Ignacy, 1986. Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir. p. 45)

Para o autor a racionalidade individual deve ser substituída pela racionalidade social, a qual deve levar em consideração os limites físicos intrínsecos aos recursos naturais como condicionantes do ritmo de crescimento. Assim como manter, de forma solidária, um elevado comprometimento ético em relação à base material que restará às gerações vindouras para desenvolverem sua economia.

2.1.3 – Cúpula da Terra e uma agenda global rumo ao desenvolvimento sustentável

Após esse levantamento da discussão sobre estilos de desenvolvimento e retornando nossa atenção para a descrição histórica da constituição conceitual desses estilos, podemos dizer que a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), que ocorreu no Rio de Janeiro em 1992, foi uma

---

[12] Na visão de LOVELOCK (2006) Gaia é sinônimo do Planeta Terra, cujo seu funcionamento ocorre semelhante a um organismo vivo..

demonstração da magnitude da discussão e mobilização em torno de um modo sustentável de produção.

A Cúpula da Terra (The Earth Summit) ou Eco-92, como ficou conhecida, reuniu representantes de 178 países, dentre os quais 108[13] Chefes de Estado, a exatos 20 anos após a última Conferência Global da ONU sobre meio ambiente e desenvolvimento. De acordo com BARBIERI (2008), em paralelo a conferência oficial mais de 4.000 Organizações Não Governamentais (ONG) se reuniram em um Fórum Global, e estes números já indicam o tamanho de um evento global sem precedentes na história dos grandes eventos organizados pela ONU, além de indicar as proporções que a discussão sobre sustentabilidade tomou.

Desta convenção foram extraídos diversos documentos[14] referenciais, mas com certeza nenhum desses foi tão completo e ambicioso como a Agenda 21, que tentou delinear em termos gerais um plano de ação com as medidas necessárias para as nações atingirem um novo modelo de desenvolvimento até o início do século XXI. Esta Agenda, que depois foi denominada de Programa 21, continha mais de 800 páginas e 40 capítulos indicando de forma consistente as principais ações que os governantes precisariam realizar em diferentes setores que afetassem diretamente ou indiretamente o meio ambiente, a sociedade e as instituições sociais desde os níveis regionais até os supranacionais. Devido a isso, o Programa 21 será um referencial importante para avaliação da temática central, que abrange, necessariamente, as políticas do governo brasileiro direcionadas para o segmento energético, principalmente, as medidas de fomento para o aumento da participação das energias sustentáveis na matriz energética do país.

Na verdade este resultado é fruto dos trabalhos desenvolvidos por ONGs, como *o Caring for the Earth*, elaborado pelo UICN e WWF, e por instituições supranacionais, como o Relatório Brundtland. Abarcando as resoluções da Assembléia da ONU, desde 1972, suas convenções e documentos elaborados por suas comissões técnicas, portanto, podemos considerá-lo como um dos programas mais complexos para indicar alguns caminhos que as nações poderiam optar rumo ao desenvolvi-

---

[13] Retirado de um documento resumo sobre a *Earth Summit* da ONU acessado através do link http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html, em 18/04/10.

[14] Foram aprovados mais de 36 documentos, mas de acordo com Barbieri (2008) os principais dos documentos oficiais aprovados, foram: Declaração do Rio de Janeiro sobre meio Ambiente e o Desenvolvimento; Convenção sobre Mudanças Climáticas; Declaração de Princípios sobre Florestas; Agenda 21.

mento sustentável. Todavia, este plano não deve ser visto como um tratado pelo qual os países signatários devam seguir normas imperativas, dado que não possui tal força, e sim como uma série de proposições gerais que podem estimular as sociedades desses países.

Por fim, outra questão que nos parece importante para este estilo de desenvolvimento refere-se aos arranjos políticos e institucionais, que devem seguir os pressupostos democráticos e motivar a participação ampla da sociedade nas decisões a ser tomadas que envolvam a coletividade ou o meio ambiente. Por exemplo, consultas às tribos indígenas que vivem em regiões amazônicas para expressarem sua opinião sobre empreendimentos de alto impacto ambiental, como hidrelétricas, mineração, não devem ser de caráter meramente formal, suas opiniões devem ser determinantes para a tomada de decisão do gestor público. Afinal, integram a população que sentirá mais diretamente esses impactos.

2.2 – Teoria da Economia Ecológica

2.2.1 – É possível integrar economia e ecologia na mesma visão

Em paralelo à discussão sobre estilos de desenvolvimento é preciso trabalharmos sobre um novo enfoque e novos instrumentos do ponto de vista econômico para avaliar os resultados e os impactos que os novos modelos de desenvolvimento estão gerando. Se formos repensar o modelo das sociedades contemporâneas, será preciso buscar um instrumental analítico mais realista e complexo do que a economia ortodoxa oferece. Neste ponto passaremos a avaliar alguns dos principais conceitos que uma corrente relativamente recente da economia ambiental tem proposto.

De acordo com Robert Costanza (1994) a economia ecológica:

> "é um novo campo de estudo transdisciplinar que se dirige às relações entre os ecossistemas e os sistemas econômicos em seu sentido mais amplo. Tais relações constituem o centro de muitos problemas atuais da humanidade e da construção de um futuro sustentável, mas não recebem cobertura total por parte de qualquer das disciplinas científicas existentes." (MAY, Peter Herman & MOTTA, Ronaldo Serôa, 1994. Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável, cap. 7, Economia ecológica: uma agenda de pesquisa, p. 112)

Para este campo teórico, que compõe as matizes da disciplina da economia do meio ambiente, a visão econômica não pode estar dissociada da visão ecológica, ou dito de outra forma, o sistema econômico é apenas mais um dos subsistemas integrados ao meio ambiente e só existe enquanto parte de um sistema global interligado.

Nesta perspectiva, é preciso explicitar as interações entre a ecologia e a economia, não a partir dos seus pontos de vistas tradicionais, nos quais tanto a ecologia quanto a economia baseiam-se em visões de mundo de forma isoladas e restritivas. De forma sintética, a economia ecológica se propõe utilizar referenciais das duas disciplinas, na medida em que contribuam para uma avaliação sistêmica e integrada. Como exemplo, existe a escala múltipla da ecologia tradicional que vislumbra um período temporal mais largo do que a visão de curto prazo da economia tradicional, ou ainda superar o objetivo da maximização das preferências individuais para uma maximização de sucesso reprodutivo[15]. Para MARTÍNEZ ALIER (2007), este campo de estudo pretende:

> "As pretensões de atribuir valores monetários aos serviços e às perdas ambientais, e as iniciativas no sentido de corrigir a contabilidade macroeconômica, fazem parte desta corrente. Todavia, sua contribuição e eixo principal é, mais precisamente, o desenvolvimento de indicadores e referências físicas de (in)sustentabilidade, examinando a economia nos termos de um "metabolismo social"." (MARTÍNEZ ALIER, Juan, 2007. O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração, p. 45)

A avaliação de indicadores de insustentabilidade se demonstrou como uma forma alternativa para comparar diferentes modelos produtivos e seus graus de sustentabilidade.

A idéia de um estilo sustentável de produção passa, necessariamente, pela interconexão dos sistemas econômicos com os ecológicos. Como afirma COSTANZA:

> "A longo prazo, uma economia saudável só pode existir em simbiose com uma ecologia saudável. São elas de tal forma interdependentes que isolá-las para fins acadêmicos tem conduzido a distorções e ao gerenciamento deficiente." (MAY, Peter Herman & MOTTA, Ronaldo Serôa, 1994. Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável, cap. 7, Economia ecológica: uma agenda de pesquisa, p. 119-120).

Afinal, os ecossistemas naturais e, principalmente, os ciclos naturais (ciclo do carbono, da água, do nitrogênio, etc.) tem muito a ensinar aos processos produtivos.

---

[15] Foi inserido como Anexo I um quadro completo das diferenças entre as três visões (CONSTANZA, 1994).

Dado que esses se baseiam em ciclos fechados, cuja geração de resíduo, quando há, não produz um impacto superior à capacidade de absorção do ecossistema. Outro elemento fundamental para a avaliação integrada das cadeias produtivas se refere ao fluxo da energia que será preciso discutir alguns conceitos da física para entendermos melhor.

2.2.2 – Fluxos energéticos e um novo conceito de "valor"

Seguindo uma retrospectiva histórica bem aprofundada por MARTÍNEZ ALIER e SCHLÜPMANN (1993), pudemos identificar que, por volta de 1880, já existiam trabalhos que tentavam medir a relação entre *input-output* de energia sobre os processos agrícolas e industriais, como os desenvolvidos por Serhii Podolinsky[16]. Segundo estes autores, desde essa época pesquisadores de distintos ramos científicos notaram que não se pode desvincular o crescimento econômico e o padrão de consumo de uma sociedade ou nação da expansão de energia e do fluxo de materiais implícitos a dinâmica do crescimento. Podolinsky considerava fundamental a radiação solar, que representa a maior quantidade de energia que o Planeta recebe e uma das fontes constitutivas da vida. De acordo com este pensador:

> "Tenemos frente a nosotros dos procesos paralelos que en conjunto forman el denominado "círculo de la vida". Las plantas tienen la capacidad de acumular energía solar, pero los animales, al ingerir sustancias vegetales, transforman uma parte de esa enegía ahorrada em trabajo mecánico disipándola en el espacio. Si la cantidad de energía acumualda por las plantas es mayor que la dispersada por los animales, aparecen reservas de energía. Si, por el contrario, la vida animal fuera preponderante, la provisión de energía sería rápidamente disipada y la vida animal tendría que retroceder a los límites determinados por la riqueza vegetal. De esta forma, se tendría que configurar um cierto equilibrio entre la acumulación y la disipación de energía". (MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN en La Ecología y la economía. p. 70)[17]

---

[16] Segundo levantamento biográfico de Schlüpmann (1993), Serhii Podolinsky atuou ativamente no movimento populista e na resistência ucraniana contra o czarismo, de 1867 a 1882. Podolinsky foi um estudante de ciências naturais em Kiev, e sofreu influências marxistas durante sua graduação. Conheceu Engels e Marx em Londres em 1872 e participou de um dos primeiros congressos da Internacional, em Haya. Após ter se tornado médico e retornado para Kiev publicou, em 1880, um estudo sobre "As manufaturas e a indústria na Ucrânia", que pode ser considerado um dos primeiros trabalhos de economia no seu idioma. Foi por volta desta época que trocou correspondências com Marx e Engels propondo uma conexão entre a teoria do valor e os fluxos energéticos ligados ao modo produtivo, porém sem obter um retorno positivo destes autores.

[17] Tradução do autor: Temos frente a nós dois processos paralelos que em conjunto formam o denominado "círculo da vida". As plantas tem a capacidade de acumular energia solar, mas os animais, ao ingerir substâncias vegetais, transformam uma parte dessa energia poupada em trabalho mecânico dissipando-a no espaço. Se a quantidade de energia acumulada pelas plantas é maior que a disper-

Logo, se faz necessário para compreender o funcionamento de qualquer processo produtivo agrícola ou industrial analisar o fluxo de energia em suas diferentes etapas e funções, além das reservas disponíveis de materiais energéticos, que são a base do “combustível” do “motor da economia”.

Ao avaliarmos esses fluxos é central identificar o grau de eficiência em termos de conversão energética entre os distintos processos produtivos utilizados. Na perspectiva de Podolinsky, a “máquina humana”, através de seu trabalho de transformação dos alimentos ingeridos em energia, era bem mais eficiente que a máquina a vapor, dado que o ser humano conseguia converter em torno de 20% da energia acumulada em seu organismo na forma de trabalho físico.

Segundo MARTINEZ ALIER (2007), existe um princípio ou mesmo um indicador de sustentabilidade da sociedade desenvolvido por Podolinsky, o qual defende que produtividade energética do trabalho humano deve superar a eficiência da transformação da energia dos alimentos convertida em trabalho humano. Esse princípio é mais aplicável para regimes produtivos da agricultura, todavia questiona a racionalidade do sistema econômico que não leva em consideração o nível de produtividade necessária a ser atingida em qualquer realização de trabalho para que o ser humano possa se alimentar. A grosso modo um ser humano que precisa consumir 3.000 kcal em um dia para realizar suas tarefas, estas precisam superar em cinco vezes esse consumo, uma vez que o nível de conversão energética do ser humano corresponde a 20%, portanto se sua produtividade for inferior a isso o produto gerado não recomporá toda sua energia consumida na forma de alimento para realizar o trabalho. Esse raciocínio serve de analogia para compararmos distintos setores da economia, como o setor agrícola e quanto ele precisa produzir para manter funcionando todo o exército industrial ou de serviços, que não planta nada do que come.

Todo seu raciocínio estava calcado nas leis da termodinâmica, que tiveram uma contribuição importante de Rudolf Clausius, e integram a base teórica da física moderna. A partir das observações de Clausius sobre as formas que a energia adquiria ao se transformar durante os processos produtivos realizados pela máquina a

---

sada pelos animais aparecem reservas de energia. Se, pelo contrário, a vida animal for preponderante, a provisão de energia seria rapidamente dissipada e a vida animal teria que retroceder os limites determinados pela riqueza vegetal. Desta forma teria que se configurar um certo equilíbrio entre a acumulação e a dissipação de energia.

vapor foi possível formular que esta máquina não reverteria a perda de calor sem a realização de um trabalho adicional. Com base nesta conclusão, MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN (1993) afirmaram que existem duas funções que o calor pode assumir: energia e entropia. Levando em consideração a entropia deve-se ter em mente que qualquer uso do calor para gerar algum trabalho será inevitavelmente acompanhado de uma perda irreversível de energia, que quanto maior esta perda, maior será o volume de entropia dispersado.

Em termos físicos, Clausius apenas notou que a energia que flui de corpos de maior temperatura para os de menor a faz em um sentido único, uma vez que não podem realizar seu fluxo inverso ou retornar a sua forma energética original sem sofrer alguma perda, esta formulação passou a ser a segunda lei da termodinâmica. Portanto, sistemas de baixa entropia significam pouca quantidade de energia não disponível, e devido a isso se busca melhorar a eficiência dos sistemas produtivos para migrarem de modelos de alta entropia para baixa entropia, que em última análise é o aumento da eficiência energética dos equipamentos e processos utilizados para produção.

Esta segunda lei não coloca em contradição a primeira lei que trata da conservação da quantidade de energia, e indica a possibilidade da energia ser transformada de um tipo em outro assumindo formas distintas, mas não pode ser criada nem destruída, e este é o caso da entropia. Para compreender melhor o raciocínio descrito até aqui faremos uso da explicação de PFAUNDLER[18]:

> "Un sistema de cuerpos cerrado a la entrada de energía exterior, contiene dos tipos de energía: la que aún es susceptible de transformación y la que ya no puede experimentar más transformaciones si no es mediante una compensación. El **primer tipo** se llama (segun Helmholtz) ***energía libre***, el segundo, ***energía "atada" o disipada***, y su cantidad recibe el nombre de "***entropía***". Los rayos del Sol que llegan al suelo o el calor del agua marina ya no pueden descender más de temperatura. El calor irradiado por la Tierra de nuevo hacia el espacio podría efectuar alguna transformación sólo en el caso de que encontrara un cuerpo más frío en su camino. [...] De las inmensas cantidades de energía que el Sol emite, sólo una pequena parte llega a la Tierra ye el resto se pierde en el espacio." (MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN en La Ecología y la economía. p. 142-143)[19]

---

[18] Segundo MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN Leopold Pfaundler (1839-1920) publicou um dos primeiros estudos que tratou da capacidade sustentadora da terra, mas sob um ângulo distinto das projeções geométricas de Malthus. Pfaundler era em 1902 um professor de física em Graz (Áustria). Foi um importante físico do século XIX que chegou a ter seu nome usado em um instrumento para medir eletricamente o calor de líquidos.

[19] Tradução livre do autor: Um sistema fechado de corpos a entrada de energia externa, contem dois tipos de energia: a que ainda é passível de transformação e a que não pode mais se transformar sem uma compensação. O primeiro tipo é chamado (segundo Helmholtz) energia livre, o segundo, energia "presa" ou dissipada, e denomina-se sua quantidade de "entropia". Os raios do Sol que chegam a

Em relação aos biocombustíveis existem ainda processos de destilação do álcool antiquados e dispendiosos em termos de energia, principalmente em destilarias e usinas do Norte/Nordeste. Porém, ao mesmo tempo existem exemplos de destilarias de alta eficiência, que são autossuficientes na geração de energia ao utilizar o bagaço da cana-de-açúcar para gerar energia na forma de calor e elétrica. Existem ainda, novos métodos para geração de biocombustível a partir de material celulósico, que demandaria em termos de consumo energético apenas uma fração do que seria gerado. A partir destas considerações, é possível perceber a conexão entre as leis da termodinâmica e o processo de geração de energia líquida através de cana ou oleaginosas.

O conceito de valor e, principalmente, de valor agregado ou produto líquido é visto sob outro ponto de vista a partir da inclusão na abordagem de conceitos do ramo da física. Em MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN (1993) encontramos Patrick Geddes, pesquisador importante que relacionou o uso energético em diferentes sociedades humanas ao longo de períodos históricos e contemporâneo de Walras e Jevons, que teceu algumas observações sobre a forma destes pesquisadores econômicos trabalharem com conceitos de valor e preços. Geddes afirmou o seguinte sobre o conceito de utilidade:

> "Otra objeción; siempre me ha parecido que el señor *Jevons*, queriendo aplicar las matemáticas al estudio de la utilidad, no reconoce que esta utilidad es simplemente una abstracción que ha heredado de la escuela metafísica y no un hecho o una generalización científica verdadera – que la *utilidad* de un reloj o de una píldora de opio es simplesmente la "relojidad" de uno y la *virtus dormitiva* de la otra [...]" (MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN en La Ecología y la economía. p. 115)[20].

Na visão deste autor também era equivocado considerar o "produto final", que foi gerado a partir de um processo produtivo (industrial ou agrícola), sintetizador em si de todo o valor agregado ao longo da sua produção. O valor agregado ou líquido seria questionável porque não se descontou a perda de energia ou de materiais ao

---

terra ou o calor da água dos oceanos já não podem reduzir mais sua temperatura. O calor irradiado pela Terra volta para o espaço e só poderia passar por outra transformação se encontrasse um corpo mais frio no seu caminho. [...] A partir das enormes quantidades de energia emitidas pelo Sol, apenas uma pequena parte chegava à Terra, enquanto o resto se perdia no espaço.

[20] Tradução livre do autor: Outra objeção; sempre tem me parecido que o senhor Jevons, querendo aplicar as matemáticas ao estudo da utilidade, não reconhece que esta utilidade é simplesmente uma abstração que herdado da escola metafísica e não um fato ou gereneralização científica verdadeira – que a utilidade de um relógio ou de uma pirúla de ópio é simplesmente a "relogiodade" de um *e a virtus dormitiva* da outra [...].

longo do processo. Esses descontos devem ser vistos em três etapas distintas, que são: na extração das matérias-primas e dos combustíveis, no processo de transformação e ao longo do transporte e da distribuição.

Em CONSTANZA (1991), identificamos a necessidade de utilizar um outro conceito de valor, do que a simplificação dos preços relativos a partir de relações entre oferta e demanda que deveriam indicar melhores alocações de bens úteis e escassos, que consiga comparar em termos monetários os bens artificiais com bens naturais. De outra forma não poderemos identificar o quanto são substituíveis alguns recursos naturais. Por exemplo, o quanto seria possível transformar a Floresta Amazônica, que é uma das três florestas tropicais mais diversas e importantes do ecossistema global, em barragens de geração de energia hidráulica, pastagens, plantações e áreas de mineração, sob o ponto de vista econômico, dado que a visão ortodoxa desconsidera o papel econômico da floresta, enquanto não for convertida em um destes bens citados acima.

Além de descontarmos do valor da mercadoria a perda de materiais e energia ao longo do processo de sua transformação, devemos considerar sua formação em termos biofísicos, ou seja, o quanto de energia solar acumulada foi necessária para sua formação e outras energias utilizadas para uma árvore se tornar uma folha de papel ou um móvel, não esquecendo que o bem na forma de árvore cumpria uma função no equilíbrio do sistema global e após sua transformação passa a cumprir uma finalidade de uso apenas para a espécie humana. O quanto de carbono este recurso deixará de absorver em seu processo de fotossíntese, ou o quanto sua extração colocou em risco a continuidade de um bioma específico, são elementos que devem ser levados em consideração quando o consumidor for pagar por sua forma de mercadoria.

Se formos nos deter em indicadores macroeconômicos que tentam mostrar em que ponto determinada nação se encontra em relação a outras do ponto de vista econômico, o PNB per capita ou sua versão de paridade cambial pode ser um destes indicadores, todavia na sua constituição o papel que uma floresta cumpre em termos recreativos, de hábitat para várias espécies, ou como sumidouro de carbono não aparecem no PNB, e a única forma de assumirem um valor no PNB é ser convertida em folhas de papel ou algum outro bem artificial.

Por outro lado, CONSTANZA (1991) chama a atenção que vendo de outra forma os bilhões que as companhias petrolíferas gastam na limpeza de vazamentos

de petróleo em pleno oceano a cada mês aparecem diretamente no PNB, porque geram empregos e demanda de alguns serviços específicos. Todavia, o impacto gerado sobre o meio ambiente é muitas vezes maior do que os gastos com a limpeza superficial do vazamento e em última análise o cálculo tradicional do PNB considera os dois impactos ambientais assinalados como “benefícios” para o desempenho econômico.

Logo, tem algo equivocado nessa forma de calcular o PNB, e o que parece uma economia pujante e desenvolvida pode esconder uma sociedade e meio ambiente desestruturados e completamente endividados. Neste sentido, diversas abordagens de mensurar o PNB ou mesmo compor indicadores mais completos devem ser levadas em consideração e CONSTANZA cita algumas delas: El Serafy e Lutz (1989), Hannon (1991), Peskin (1991) e Hueting (1991). Muitos utilizam da matriz desenvolvida por Leontief em termos de insumos e produtos para constituir uma contabilidade que considere as dimensões ecológicas e econômicas, simultaneamente, através de uma matriz de insumo-produto (I-P). Afinal, em uma matriz é possível verificar as interrelações de todos os segmentos econômicos com os recursos naturais.

2.2.3 – O crescimento e sua tendência linear

Não há uma controvérsia efetiva entre crescimento e desenvolvimento econômico, uma vez que ambos são codependentes, e sim uma discussão unidimensional das correntes econômicas ortodoxas, que defendem de forma distorcida a taxa de crescimento de um produto como um indicador universal para representar o patamar de desenvolvimento social, econômico, institucional, ambiental, cultural e todos os demais componentes de uma sociedade humana e complexa. Esta visão tradicional que acompanha a corrente neoclássica, desde os tempos da I Revolução Industrial, baseia-se numa potencial capacidade ilimitada da inovação tecnológica conseguir superar restrições impostas pelo meio ambiente ou pelo social. CONSTANZA (1991) afirma que esta crença na tecnologia deve ser vista com ceticismo pelos economistas ecológicos e pesquisadores que buscam aproximar mais seus modelos teóricos da realidade objetiva.

Ao fazermos uma análise histórica da mudança dos distintos modos de produção que as sociedades passaram, nos damos conta que à medida que transitavam, apesar das técnicas se ampliarem mais rapidamente a cada século, o avanço tecnológico trouxe uma maior capacidade ao ser humano de explorar de forma mais intensiva o meio ambiente, sem levar em consideração os impactos irreversíveis do modelo utilizado. Hoje, estamos assistindo a uma mudança de rumo do papel em que a tecnologia deve assumir, onde eficiência energética passe a ser um componente mais importante do que, por exemplo, um carro que tenha capacidade de voar, mas com um rendimento de dois km por litro de combustível consumido.

Podemos considerar quase um consenso entre as mais variadas correntes do pensamento econômico[21] que crescimento é uma condição necessária, mas não suficiente do desenvolvimento. Logo, deve ser visto como uma dimensão que compõe a organização sócio-econômica, e obviamente é uma variável limitada, dado que faz parte de um sistema global mais complexo, do que o sub-sistema econômico. Em MATÍNEZ ALIER e SCHLÜPMANN (1993) encontramos discussões teóricas desenvolvidas por Soddy[22], que questionam a forma racional da teoria econômica ser formulada e conceitos centrais da economia como investimento, riqueza e capital. Com base na perspectiva desse autor, investimento efetivo corresponde em ampliação da capacidade de produção, através da construção civil e de novas instalações, porém a maior parte dos investimentos direcionados a ampliação da capacidade instalada acabavam apenas aumentando o ritmo de extração de recursos naturais não-renováveis, como os combustíveis fósseis.

Seguindo esse raciocínio, concluímos que não se amplia a capacidade instalada com instalações que consumirão a riqueza acumulada na Terra ao longo de milhões de anos. Segundo Soddy:

> "Su análisis se basaba en la imposibilidad de una acumulación exponencial del capital, no a causa de las crisis de demanda efectiva y las consecuentes oscilaciones drásticas de la inversión y por ende de la demanda total, causadas por el exceso de la capacidad productiva debido a ese crecimiento acumulativo de capital, sino más bien a causa del absurdo físico de confun-

---

[21] As principais correntes que estamos considerando são as seguintes: escola neoclássica, escola institucionalista, escola marxista, escola schumpeteriana, escola ricardiana, escola keynesiana, escola kaleckiana, e todas estas em suas novas versões.

[22] Frederick Soddy (1877-1956) foi um importante químico e crítico da teoria econômica. Participou das pesquisas de Rutherford sobre desintegração atômica e descobriu alguns novos isótopos, que lhe renderam o Prêmio Nobel de Química em 1921.

> dir el gasto de energía con la acumulación de capacidad productiva."[23] (MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN en La Ecología y la economía. p. 160)

Assim usando o conceito tradicional de riqueza, dado que uma nação com taxas de crescimento do produto superiores a média mundial durante muitos anos e com um produto acumulado que representa mais de 20% do produto global pode ter alcançado esse patamar através de um endividamento contínuo do Estado e do meio ambiente. Portanto, seu nível de riqueza, mesmo apenas do ponto de vista da acumulação de capital, passa a ser relativa.

Para MARX (2008), a riqueza gerada a partir de uma mercadoria só poderia ser gerada com base no valor agregado pelo trabalho despendido pelo ser humano ao longo do seu processo produtivo, já que sem o qual uma árvore não se tornaria peças de mobília mesmo em um processo altamente automatizado. Soddy acreditava que essa visão estava mais próxima do seu conceito de riqueza, pois considerava riqueza uma forma de energia útil incorporada a algum objeto, e devido a isso estava sujeita as leis da termodinâmica. Tem uma expressão que MATÍNEZ ALIER e SCHLÜPMANN (1993) resgataram de Soddy que é bem interessante para sintetizar a noção de riqueza, que afirma o seguinte:

> "[...] El avance de los conocimientos había mostrado, no obstante, que si Adán fue un animal, el primer capitalista fue una planta. Las plantas acumulaban energía solar, mientras que nosotros sólo la consumíamos."[24] (MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN en La Ecología y la economía. p. 161)

Obviamente, por sermos mamíferos não temos a capacidade de sintetizarmos nosso próprio alimento, que é a nossa fonte energética, mas é válida a analogia para entendermos que a verdadeira fonte de riqueza em termos de ecossistemas é a energia proveniente do Sol, sem ela os insumos usados em todos os setores industriais, ou recursos não-renováveis utilizados na geração de energia não existiriam, além é claro da vida como um todo na Terra.

O capital fictício ou investimento realizado apenas na forma de títulos e papéis do mercado financeiro não gera, necessariamente, um incremento na capaci-

---

[23] Tradução livre do autor: Sua análise baseou-se na impossibilidade de uma acumulação exponencial do capital, não devido às crises de demanda efetiva e as conseqüentes oscilações drásticas nos investimentos e, portanto, da demanda agregada, causada pelo excesso de capacidade produtiva devido a esse crescimento acumulado de capital, mas sim por causa do absurdo físico de confundir o gasto energético com a acumulação de capacidade produtiva.

[24] Tradução livre do autor: O avanço do conhecimento havia mostrado, no entanto, que se Adão era um animal, o primeiro capitalista foi uma planta. Elas acumulavam energia solar, enquanto que nós as consumíamos.

dade de produção, e muitas vezes sua natureza é de caráter meramente rentista, ou seja, não é do interesse do capitalista investir seus recursos em uma planta industrial que produza mercadorias e lhe renda lucros, e sim aplicar seus recursos em diferentes papéis de outros empresários para ficar ganhando dinheiro em cima da especulação dos negócios que acontecem na economia real.

Este capitalista rentista é um jogador em busca de lucro fácil e rápido, e um dos principais estimulantes da emissão de dívidas do governo, que pagam prêmios razoáveis para essa classe de capitalistas. Logo, se estamos tratando apenas da expansão da base monetária, ou do acúmulo de capital sem sua contraparte na forma de aumento da capacidade de produção, serão pagos juros sobre um montante de dívida, cujo incremento de capital decresce a cada novo período, porque os capitalistas estão apenas financiando a dívida pública ou especulando com seu capital, sem realizar qualquer investimento efetivamente produtivo.

Soddy chama também a atenção para uma falsa compreensão matemática que considera a ampliação da dívida um benefício do credor, pela multiplicação dos juros compostos de forma exponencial, porém este movimento não pode ser de fato contínuo:

> "Una persona que tenga, por ejemplo, 20.000 libras invertidas al 5% puede disfrutar perpetuamente, sin trabajar, de un ingreso de 1.000 libras al año, y luego también sus herederos. Consumiendo riqueza cada día de sus vidas, siempre tienen la misma riqueza que el primer día. Eso no puede ser ni física ni economía. Es un engaño como cualquier otro ejemplo de movimiento perpetuo."[25] (MARTINEZ ALIER E SCHLÜPMANN en La Ecología y la economía. p. 161)

Estamos assistindo um retorno ao período dos proprietários de grandes extensões de terras do feudalismo, em pleno período da Idade das Trevas em que a Europa Ocidental esteve mergulhada durante quatro séculos, que retiravam sua renda, exclusivamente, da quantidade de terra que possuíam, as quais eram passadas de pai para filho ao longo de gerações, sob a tutela da Igreja Católica. Quando a burguesia europeia surgiu teve que disputar seu lugar ao sol com estes proprietários de terras, que eram considerados o atraso da sociedade por receberem sua renda sem precisar produzir bens úteis a sociedade.

---

[25] Tradução livre do autor: Uma pessoa que tenha, por exemplo, 20.000 libras investidas a 5% pode desfrutar perpetuamente, sem trabalhar, de uma renda de 1.000 libras por ano, e logo também seus herdeiros. Consumindo riqueza a cada dia de suas vidas, sempre tem a mesma riqueza que no primeiro dia. Isso não pode ser física ou economia. É uma ilusão como qualquer outro exemplo de movimento perpétuo.

Entretanto, o capitalismo moderno retornou para esta fase na forma dos capitalistas rentistas que auferem sua renda, exclusivamente, através de intermediações financeiras. Com isso, fortunas são repassadas entre famílias de capitalistas a cada nova geração, que podem, simplesmente, desfrutar do ócio que o estoque de dinheiro na forma de papéis lhe permite.

2.2.4 – Ecologismo dos pobres

Desde os primeiros estudos da economia ecológica se questiona como quantificar a capacidade sustentadora do Planeta, ou seja, o quanto o Planeta suportaria com suas reservas naturais e áreas agricultáveis o aumento da população humana. Mais recentemente, os estudos acadêmicos passaram a utilizar o conceito de pegada ecológica como um dos indicadores da capacidade sustentadora, que passou a ser capacidade de carga da Terra.

Segundo J. MARTÍNEZ ALIER (2007) a pegada ecológica de uma população corresponde à soma de quatro tipos de uso do solo: a) a terra destinada para alimentar, cuja superfície variará de acordo com a dieta da população; b) a terra necessária para produzir madeira; c) a terra edificada e pavimentada para ruas, viadutos, estradas, meios urbanos e conexões entre cidades; d) terra que hipoteticamente serviria para produzir energia em forma de biomassa equivalente ao consumo atual de combustíveis fósseis, ou de outra forma, a terra necessária para que sua vegetação consiga absorver a emissão de dióxido de carbono da população específica. Pode-se dizer que este último indicador é dos mais importantes e delimitadores para identificar quando uma população está consumindo mais energia do que tem condições de gerar. Estes cálculos podem ser *per capita* e identificar a pegada ecológica de uma cidade, região ou país.

Como conclusão óbvia, quando uma determinada população consome mais energia e recursos naturais do que produz diz-se que ela está expropriando uma capacidade de carga de outra população ou região do Planeta, e essa expropriação poderão resultar em impactos ambientais negativos em regiões externas ao território da população expropriadora.

2.2.5 – Balanço energético

Existem alguns pesquisadores que levantam diferentes balanços energéticos na geração de biocombustíveis, entretanto boa parte deles difere nos resultados por considerarem premissas distintas no cálculo ou desconsiderarem impactos indiretos ao processo de produção.

Por exemplo, para MACEDO e NOGUEIRA (2004) o balaço energético no Brasil da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar corresponde a 8,3, ou seja, a proporção de consumo de combustíveis fósseis para geração de etanol é de 1:8,3. Esse indicador é essencial para avaliarmos o nível de impacto e de sustentabilidade da produção de biocombustíveis, dado que representa o quanto de energia “suja” é preciso para gerar energia “limpa”.

3 – O MODELO BIOENERGÉTICO DO BRASIL

3.1 – Sinais de Falência do Modelo Energético Global

Há sinais evidentes de que o modelo energético baseado no consumo de recursos não renováveis de origem fóssil, petróleo inclusive, aproxima-se da insustentabilidade.

Em primeiro lugar, o mercado desses recursos não apresenta as características da concorrência perfeita descritas pela corrente neoclássica. Por ser composto de algumas empresas com condições de dominar a cadeia de extração do recurso fóssil e distribuí-la em volta do Globo, seu grau de concentração no mercado é bem elevado. A oscilação dos preços relativos do barril de petróleo tem demonstrado que não é com base na relação entre oferta e demanda que são determinados os preços desta *commodity*. Como exemplos, podemos citar a crise do petróleo no início da década de 1970, tratada como se fosse uma externalidade de oferta ocasionada a partir de um componente exógeno ao mercado, e, no final dessa década, quando os preços ultrapassaram exponencialmente seus patamares históricos. Em ambas as ocasiões os preços foram influenciados por decisões dos principais países produtores, articulados na Organização dos Países Produtores e Exportadores de Petróleo (OPEP), e não pela falta de capacidade para extrair o volume de petróleo demandado pelo mercado. Dadas as características deste mercado, tais decisões são variáveis endógenas ao sistema.

Em segundo lugar, há um crescente debate sobre a emissão de GEE como consequência da utilização desse recurso, sem que as respectivas empresas, principalmente as petrolíferas, assumam responsabilidade sobre os impactos ambientais, principalmente sobre o equilíbrio climático. Entretanto, estudos[26] já apontam para a falência desse modelo energético em virtude da escassez das reservas desse recurso natural em função do nível e ritmo de consumo da sociedade capitalista.

---

[26] Como em CAMPBELL (2005)

3.2 – O Programa Nacional do Álcool e seus Desdobramentos

3.2.1 – As origens da matriz bioenergética brasileira

O processo de substituição de combustíveis líquidos derivados de petróleo iniciou no Brasil em 1975, através do lançamento do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), fazia parte de um pacote de projetos de investimento que o Governo militar considerou prioritários para ampliação da capacidade produtiva do país. E, ao mesmo tempo, necessários para finalizar o processo de substituição de importações através da formação do segmento industrial produtor de bens de capital. Durante a década de 1970, o país era consideravelmente dependente da importação de petróleo dos EUA para seu consumo energético, chegou a importar 80% do seu consumo interno de combustíveis líquidos e outros derivados do petróleo. O aumento do preço internacional do barril de petróleo em 1973, de aproximadamente US$ 3,00 para acima de US$ 12,00, levou diversos países a reverem a dependência da sua matriz energética de derivados de petróleo. O regime militar brasileiro optou por reduzir essa dependência através do estímulo da produção de etanol a partir de cana-de-açúcar, lançando o programa PROÁLCOOL. Além disso, com os programas PROÓLEO E PROCARVÃO, buscou diversificar a matriz energética do país. Circunstâncias ligadas aos atores envolvidos e aos estímulos governamentais, apenas o PROÁLCOOL conseguiu avançar em seus dois objetivos: a preservação da indústria automobilística nacional e geração de economia de divisas.

Pode-se dividir esse programa em três fases distintas.

Primeira fase: do lançamento do programa realizado em 1974 até meados da década de 1980.

Inicialmente, a produção se voltou para o álcool anidro que seria misturado à gasolina na máxima proporção que os motores permitiam. A capacidade produtiva em 1975 era proveniente de destilarias centrais controladas pelo Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), que geravam etanol a partir do mel residual gerado no processo industrial da cana-de-açúcar. Somente nos últimos anos da década de 1970 surgem produções de etanol extraído de forma direta da cana-de-açúcar através de moendas e caldeira para geração de vapor. Os projetos de novas destilarias enviados para financiamento na década de 1980 apresentavam, em geral, uma capacidade de

120 mil litros/dia e funcionariam 150 dias por ano, resultando numa capacidade potencial de produção de 18 mil m^3/ano de etanol.

Segunda fase: iniciada na década de 1980 com a produção de carros com motores de ciclo Otto que utilizariam 100% de álcool como combustível na sua forma hidratada. Dessa forma, o mercado não ficaria mais restrito à adição do etanol na gasolina. As destilarias passaram então a produzir álcool hidratado, além do álcool anidro. Devido novo aumento significativo do preço internacional do petróleo em 1979, a produção de etanol recebeu novo incremento, principalmente em função de estímulos de crédito e outros subsídios governamentais indiretos visando reduzir o tamanho do déficit na balança comercial. Tanto que notamos um aumento considerável na produção de cana-de-açúcar ao longo da década de 1980 a taxas acima de 11% ao ano, mas o volume de açúcar produzido oscila entre quedas e pequenos crescimentos ao longo da década. Na safra de 1983/84 é explícito o incremento da produção de etanol, que aumentou em 35% em comparação com a safra anterior e atingiu o montante de 7.864 milhões de m^3, com a redução da produção de açúcar. No entanto, é importante ressaltar que apesar da ampliação da produção de etanol no decorrer das décadas de 1970 e 1980, as metas de produção estabelecidas pelo governo só foram atingidas nas safras de 1984/85 e 1985/86. Apesar da existência de dados contraditórios entre os diferentes setores que consumiram etanol durante a década de 1980, é possível destacar os principais setores demandantes:

a) Veículos automotores (consumiam álcool na sua forma hidratada ou na sua forma anidro como carburante adicionado a gasolina);

b) Indústria química;

Mesmo sendo interessante os preços internacionais para a exportação no início da década de 1980, apenas uma fração da produção de álcool era de fato exportado, acumulando a maior parte do excedente como estoque até a safra seguinte. Neste aspecto, o maior volume de álcool hidratado ou anidro era consumido por veículos automotores, geralmente veículos do governo ou de passeio. Ao longo do período, o crescimento da frota foi considerável, porém seu ritmo de expansão foi reduzindo gradativamente a cada ano, à medida que os preços internacionais do petróleo fossem reduzindo a níveis mais estáveis. Com relação ao consumo destes veículos utilizava-se um consumo médio referencial de álcool hidratado correspondente a 240 litros/mês, que resulta num consumo por veículo de 2.880 litros/ano, e através da multiplicação da frota em 1985, correspondente a 2.626.184 veículos,

obtém-se uma demanda de 7.563 milhões de m^3 de álcool. Em 1979, de cada 100 veículos automotores produzidos no país, em torno de 90 utilizavam gasolina como combustível e 10 utilizavam diesel. Houve um crescimento considerável da produção de veículos a álcool que já respondiam por mais de 50%[27] da produção de 1983, enquanto os veículos a gasolina corresponderam a 18% da produção. Essa proporção se manteve durante todo o *boom* da produção de etanol, que foi perdendo intensidade no final dos anos 80. É importante ressaltar que durante esta época os carros produzidos para utilizar álcool hidratado como combustível não poderiam utilizar gasolina, portanto houve uma expansão dos carros, que logo se retraiu e estagnou até o início dos anos 2000, quando foi criado o carro *flex-fuel.*

Terceira fase: esta fase se caracterizou pela estagnação do Programa de estímulos do governo à produção de etanol na década de 1990. Como os preços internacionais do petróleo voltaram a patamares inferiores a US$ 20,00 no final da década de 1980, e o governo oscilou entre ciclos recessivos em toda a economia, o PROÁLCOOL deixou de ser uma prioridade e o setor sucroalcooleiro voltou-se em sua maior parte, para o mercado do açúcar. A capacidade produtiva ampliou-se consideravelmente desde o lançamento do Programa, porém a produção de etanol passou a ser utilizada somente como aditivo carburante à gasolina numa proporção máxima de 25%, logo seu consumo tornou-se marginal em relação a sua estrutura.

É interessante notar algumas distorções que surgem no decorrer da implantação do PROÁLCOOL. Como exemplo, a produção de etanol a partir da mandioca, defendida por centros de pesquisa como alternativa para integrar a agricultura familiar à produção de culturas energéticas: os poucos projetos de destilarias com capacidade para processar mandioca, como a usina de Curvelo (MG) da Petrobrás[28], falharam por basearem-se no fornecimento por grandes empresas ao invés dos pequenos agricultores. A distribuição espacial da produção de etanol ilustra a permanência das desigualdades regionais, quando apenas o Estado de São Paulo respondeu ao longo de todo o período por 60% da produção de etanol e concentrou a maior parte da capacidade instalada no país. Hoje a produção de São Paulo seria a única com capacidade produtiva para gerar etanol a partir do bagaço da cana.

---

[27] Com base em COASE (1987).
[28] De acordo com informações de BUENO (1981).

Outro fator é a defesa "técnica" da monocultura da cana em larga escala. Técnicos do Conselho para Assuntos de Energia (COASE) ao fazerem uma avaliação do PROÁLCOOL II chegaram a afirmar o seguinte:

> "... não é conveniente para a indústria sucro-alcooleira operar com muitos pequenos fornecedores. O esquema de suprimento ideal de matéria-prima é um bom contingente de cana produzida pela própria unidade agroindustrial e um razoável número de médios fornecedores, considerados como tal os que produzem entre 7.200 e 20.000 toneladas e (por safra), correspondem a propriedades entre 120 e 400 hectares." (CHACEL, (1987) Conselho para Assuntos de Energia – COASE. Avaliação do PROÁLCOOL II, p. xxx)

Essa visão ideológica gerou a ampliação de usinas tradicionais do setor açucareiro e a criação de destilarias de grande porte que possuem até hoje uma estrutura verticalizada da produção de cana, onde apenas 20% da produção é fornecida por propriedades rurais independentes da usina ou destilaria autônoma.

Portanto, o Programa Nacional do Álcool (PNA) reproduz as distorções da estrutura fundiária brasileira, fortalecidas ao longo do regime militar, e das quais o setor sucroalcooleiro se converterá num dos elementos estruturantes.

3.2.2 – Mapeamento da cadeia produtiva do etanol

3.2.2.1 – Cultivo da cana

Tabela 1 – Ficha técnica resumo sobre a cultura de cana-de-açúcar

Item	Dado
Ciclo	5 anos
Número de cortes	5 cortes
Produtividade de cana	85 ton/ha (120 – 65)
Rendimento de álcool	82 l/ton.

Fonte: Balanço Nacional da Cana-de-açucar e Agroenergia (MAPA, 2007)

Para entender o modelo produtivo gerador de etanol a partir da cana-de-açúcar optamos por uma abordagem que apresente toda a cadeia produtiva da principal matéria-prima, desde seu cultivo até seu consumo nas bombas dos postos de abastecimento. Desta forma, também acreditamos que será possível identificar impactos diretos e indiretos gerados a partir do atual modelo de processamento, e seus *inputs-outputs* em termos de fluxo de energia.

Por se tratar de uma cultura de ciclo anual deve-se ater para as características climáticas das diferentes regiões de cultivo, tendo em vista que o clima ideal é o tropical com duas estações distintas, uma vez que a planta precisa de um período com mais calor e umidade, que permitem uma germinação e um bom desenvolvimento vegetativo, e um período de frio mais seco, que promove a maturação e um acúmulo maior de sacarose pela planta. Nessa perspectiva o melhor período do ano para plantio na maior região produtora de cana, a Centro-Sul, é de janeiro a março, enquanto na região Norte-Nordeste é de maio a julho.

Por ser uma cultura plantada no Brasil desde os tempos da colonização, é importante levar em consideração sua evolução biológica, que permitiu se adaptar em praticamente todas as regiões do país. Além disso, programas de melhoramento genético possibilitaram ampliar a geração de sacarose, bem como diversificar a produção em centenas de variedades para mitigar o ataque de pragas e doenças específicas. A partir do PNA instituições e redes passaram a trabalhar no desenvolvimento tecnológico do cultivo, como a Copersucar, mais direcionada para o cultivo no Estado de São Paulo, a Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro-Ridesa e Instituto Agronômico de Campinas. Segundo MACEDO & NOGUEIRA (2005) existem mais de 550 variedades dessa cultura em todo o país, mas as 20 principais ocupam em torno de 70% do cultivo. Para se ter uma parâmetro, o banco de germoplasma da Copersucar conta com mais de 3 mil genótipos, incluindo uma ampla coleção de espécies “selvagens”, entre as quais destacam-se Saccharum officinarum (423 genótipos), S. spontaneum (187 genótipos) S. robustum (65 genótipos), espécies precursoras das modernas variedades de cana-de-açúcar e fontes da grande variabilidade genética encontrada no gênero[29].

Neste ponto, cabe uma diferenciação entre culturas energéticas e alimentares. A primeira diz respeito à produção de *commodities* utilizadas para gerar etanol ou biocombustíveis, que servem de combustíveis para veículos automotores, enquanto a segunda, se refere à produção de alimentos.

Ao longo dos anos a área ocupada pela cana-de-açúcar cresceu na medida em que crescia a demanda por etanol na sua forma misturada com a gasolina ou hidratada. Em 2008, a área ocupada por cana correspondia a 8.920 milhões de hectares, correspondendo a aproximadamente 10% da área disponível para cultivo no

[29] De acordo com MACEDO & NOGUEIRA (2005).

país, expandindo-se em torno de 4,85% ao ano desde 1975, enquanto a produção cresceu em média 6,4% ao ano. É importante ressaltar que ao longo desses 34 anos a área saltou de 1,900 milhão ha. para 8,920 milhões de ha., e isso representa um crescimento de aproximadamente 370%, abaixo o gráfico 1 apresenta essa evolução (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA AGROENERGIA – MAPA, 2009).

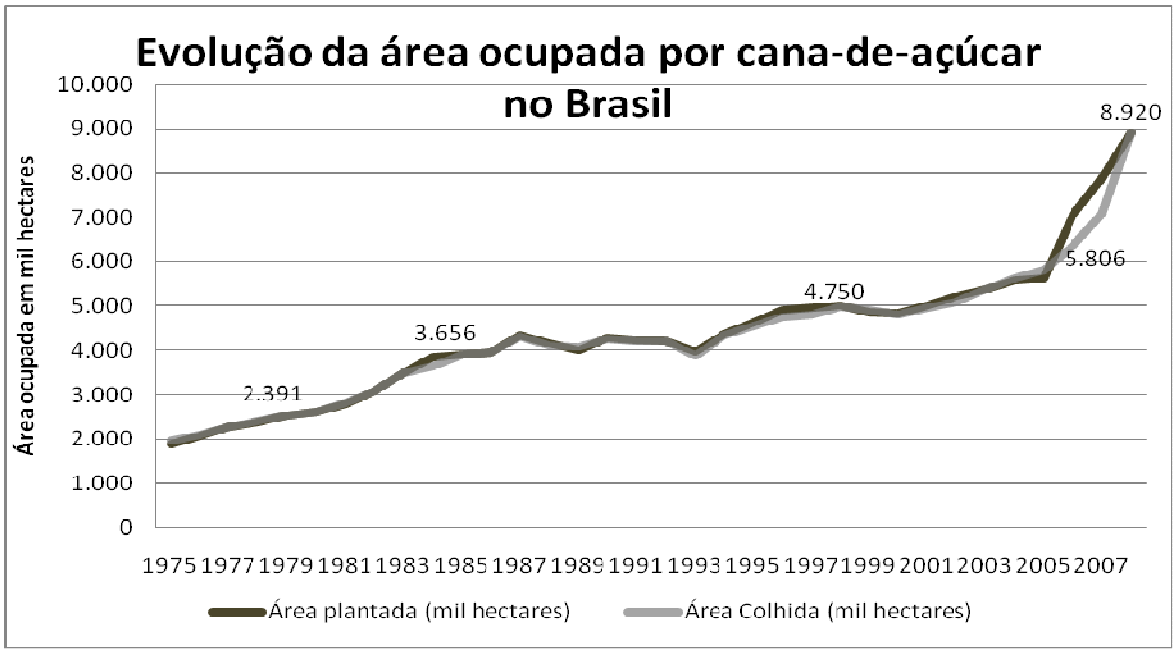

Gráfico 1 – Evolução da área ocupada e colhida de cana-de-açúcar entre 1975-2008.

Fonte: IBGE

Períodos de estagnação na expansão do plantio foram comuns com o fim dos subsídios e benefícios governamentais. Isso fica evidente no gráfico a partir do início da década de 1990, porém deve-se levar em consideração também o fim da produção de carros B100 pela indústria automotiva nacional, ou seja, utilizando 100% de etanol como combustível.

No início dos anos 2000 com a introdução dos veículos *flex-fuel*[30], o consumo doméstico por etanol voltou a crescer e estimular o plantio de cana. Outro fator determinante na evolução do plantio é a demanda por açúcar. Afinal, o país é, historicamente, um dos principais exportadores. Por ser uma *commodity*, as oscilações dos preços relativos internacionais impactam sobre seu cultivo.

[30] Modelos bicombustíveis que podem utilizar simultaneamente gasolina e etanol sem prejudicar os componentes do veículo.

Em torno de 70%[31] da cana processada nas usinas é oriunda de suas próprias propriedades. O restante se divide entre milhares de pequenos produtores, que muitas vezes plantam em terras arrendadas dos proprietários de usinas. Além da produção verticalizada, a irrigação e a inserção de novas práticas agronômicas explicam o aumento da produtividade, que saltou de 46 ton./ha, em 1975, para 70 ton./ha, em 2008, e com uma média histórica desde a década de 1970 de 64 ton./ha[32].

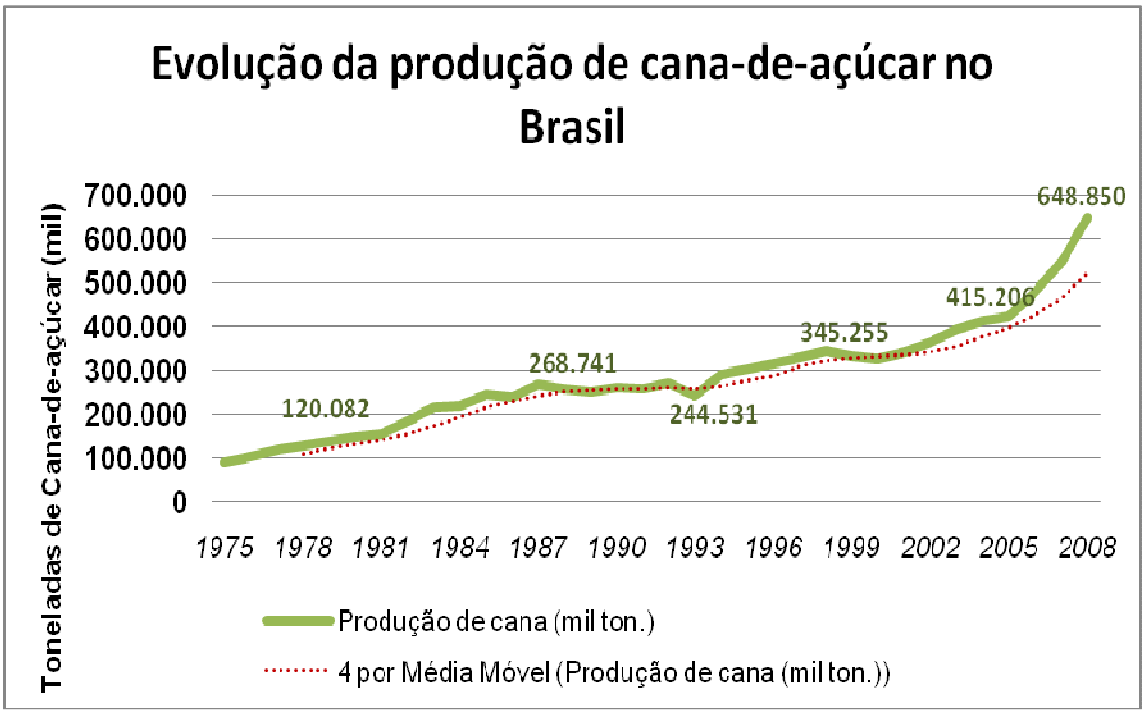

Gráfico 2 – Evolução da produção de cana-de-açúcar entre 1975-2008

Fonte: IBGE, desenvolvido pelo autor.[33]

Quando avaliamos o nível de produção da cana-de-açúcar no final da primeira década dos anos 2000, podemos não perceber que ao longo de três décadas sua produção não cresceu de forma explosiva na maioria dos anos, e analisando as variações anuais da produção constatamos que somente em três anos a produção cresceu em um ritmo três vezes superior à sua média histórica: 1983-84; 1994 e 2008. Logo, foi durante o governo instituído a partir de 2002 que o ritmo de cresci-

[31] MACEDO e NOGUERIA (2004).
[32] Resultado de cálculos do autor com base em dados do IBGE, cujo cálculo se resume a produção/área colhida.
[33] O anexo III apresenta uma planilha com a produção de cana por Estado ao longo deste período.

mento voltou a ser contínuo, entretanto a oscilação da produção permanece sendo uma marca do setor.

Após verificarmos os dados de produção e ocupação da cultura da cana, é possível comentarmos sobre um indicador bastante utilizado em diferentes trabalhos sobre etanol. A produtividade da produção de cana é uma simples relação entre volume produzido em toneladas pela área colhida em hectares, e neste aspecto sua produtividade global passou de 59 ton./ha, em 1980, para aproximadamente 80 ton./ha em 2008. Entretanto, é interessante a evolução desta produtividade ao longo dos anos, tendo em vista sua considerável oscilação e desigualdade entre os maiores Estados produtores, apesar de manter uma tendência ascendente.

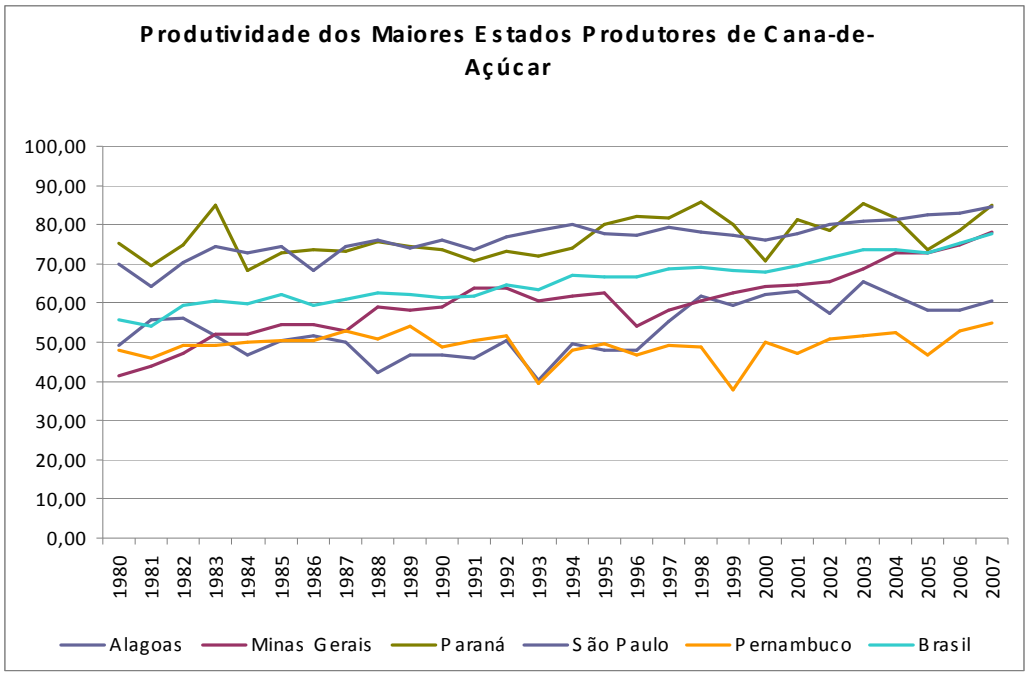

Gráfico 3 – Níveis de produtividade da cana-de-açúcar dos principais Estados produtores entre 1980-2007

Fonte: IPEA – elaboração dos autores.

Em relação à produtividade, quando analisamos a evolução da extração de álcool em litros por tonelada de cana é explícito o aumento da capacidade tecnológica. Se compararmos a produtividade da safra de 1975/76, correspondente a 8,13 litros[34] d/ álcool/ton. cana, com a safra de 2007, correspondente a 45,27 litros d/ álcool/ton. cana, perceberemos um crescimento de aproximadamente 457%. Esse

[34] Dados retirados do Anuário Estatístico de 2009 do MAPA.

rendimento foi possível mediante desenvolvimento e seleção genética realizados pela EMBRAPA, uso de fertilizantes e diversificação das variedades de cana plantadas.

O cultivo da cana tem sido feito com um uso relativamente menor de agrotóxicos e fertilizantes quando comparada com outras culturas mais intensivas nesse uso como soja e milho. Em partes isso ocorre devido à utilização de controles biológicos, como a *cigarrinha*, mais efetivos nas principais pragas da cana, como a broca. De acordo com MACEDO E NOGUEIRA (2005), no caso da broca o controle biológico chegou a reduzir a infestação ao nível de 2% a 3%. Também é utilizada a prática da rotação de culturas sendo realizados no máximo cinco ciclos de corte para não incapacitar a regeneração do solo. O menor uso de fertilizantes está vinculado à aplicação de vinhoto, que é um dos resíduos gerados em maior abundância durante o processo de fermentação do bagaço, como fertirrigação. Essa prática se tornou comum em meados da década de 1990, após um longo período de dispersão deste resíduo no meio ambiente sem maiores tratamentos. Todavia existe risco de contaminação do lençol freático em áreas de cana com elevada concentração de vinhoto, além dos custos implícitos ao uso deste resíduo em termos de estocagem e deslocamento da usina até a plantação.

3.2.2.2 – Colheita

Desde os séculos XVI o período de colheita da cana-de-açúcar é feita de forma manual mobilizando um contingente considerável de trabalhadores. O termo “bóia-fria”, designativo dos trabalhadores que realizam o processo de corte da cana, e as características degradantes desse trabalho temporário: jornadas extenuantes, principalmente sem descanso, nas quais as refeições, providenciadas pelos próprios trabalhadores, são realizadas nos próprios canaviais nos pequenos intervalos da colheita.

O processo de corte é realizado logo após a queimada do canavial, que é uma prática histórica e até hoje especialistas da área a consideram importante para aumentar o rendimento da cana. Com uma produção superior a 600 milhões de toneladas é preciso uma quantidade significativa de trabalhadores “bóias-frias” para realizar a colheita, tendo em vista que a produtividade média diária de um trabalha-

dor é de 15 ton./dia[35]. Entretanto, devido à crescente perda de legitimidade das condições de trabalho nos canaviais, bem como aos efeitos ambientais da prática da queimada, está sendo introduzida paulatinamente a colheita mecanizada de cana crua, até pela sua redução de custo em quase 50%[36] em relação à colheita manual. De acordo com CORTEZ E BRAUNBECK (2005), a colheita mecanizada ainda é uma realidade distante da maioria das plantações, mas estima-se que existiam no início dos anos 2000 aproximadamente 600 colhedoras, realizando a colheita de cerca de 30 milhões de toneladas, que corresponde a menos de 5% da produção em 2008. Apesar dos benefícios em termos de custos no processo da colheita da cana a tecnologia utilizada ainda apresenta problemas de adaptação à realidade dos canaviais brasileiros, uma vez que resulta de uma adaptação de tecnologias desenvolvidas nos EUA e na Austrália, implicando em restrições técnicas de utilização decorrentes da topografia das plantações. Tais restrições atingem mais de 55% da área de cana plantada.

Além disso, mesmo com a introdução da mecanização no processo de colheita, a prática da queimada não deve cessar em razão do rendimento da cana em sacarose, com exceção de locais determinados por lei.

3.2.2.3 – Conversão industrial da cana-de-açúcar em açúcar ou etanol

Após passarmos por todo o processo de cultivo, colheita e transporte da matéria-prima, vamos entrar no processamento industrial que irá gerar etanol ou açúcar na proporção que o mercado e as expectativas dos usineiros determinarem. Porém, descreveremos apenas as principais etapas de todo o processamento industrial e o produto gerado, tanto na forma de resíduo quanto de mercadoria para consumo.

O componente químico mais importante para o rendimento industrial extraído da cana-de-açúcar é a sacarose, que como qualquer outro açúcar possui um potencial razoável para gerar energia na forma de alimento ou combustível líquido. Como é um componente importante para o processamento industrial uma parcela da cana

---

[35] Correspondendo a quase 3 vezes a produtividade média diária de um escravo nas plantações de cana do Brasil Colônia e Império.
[36] ROSILLO-CALLE (2005).

transportada por caminhões é deixada como amostras, que serão analisadas posteriormente por laboratórios químicos, para determinar o teor de sacarose. Segundo MACEDO E CORTEZ (2005), essa avaliação possibilita que os usineiros façam o controle da moagem, o cálculo de rendimento industrial e a determinação dos valores para o pagamento da cana. Quando a cana picada ou inteira é descarregada na esteira da usina apresenta uma composição média de 8% a 14% de fibras, 12% a 23% de sólidos, solúveis e de 65% a 75% de água.

3.2.2.4 – Etapa de pesagem e descarga

Toda a cana colhida é transportada via rede rodoviária, dado que as plantações costumam ser próximas às usinas ou destilarias, e pesada quando chega na usina. Normalmente, a maior parte da matéria-prima irá seguir diretamente para as moendas, e são largadas em uma esteira rolante para iniciar o processo industrial. Mas, uma parcela ou toda a cana pode ficar estocada no pátio ou mesmo em galpões aguardando o início do processamento.

3.2.2.5 – Moagem

A moagem inicia na mesa alimentadora que possui uma declividade e prepara a cana para seguir nas demais etapas do complexo de moagem. Neste momento, é feita a limpeza da cana com água para eliminar sujeiras que podem atrapalhar no processamento, como, pedras, terra, areia, além de reduzir o desgaste dos equipamentos. Logo, após a limpeza a cana é preparada para seguir rumo ao desfibrilador. Na primeira etapa um conjunto de facas pica a cana para ir liberando seu caldo, e literalmente abrindo as células para facilitar sua extração. O desfibrilador é formado por um tambor com um eixo concêntrico que irá martelar de forma oscilatória a matéria-prima e forçá-la a passar por pequenas aberturas de 1 cm de espessura. A velocidade tangencial do desfibrilador, de 60 a 90 m/s, permite um índice de preparação de 80% a 92%, que seria o nível que esta preparação conseguiu abrir no volume de açucares nas células e no colmo da cana, respectivamente.

Logo após esta etapa, a cana preparada entra numa calha de alimentação, cujo volume colocado irá determinar a velocidade de funcionamento das moendas. Nas moendas será extraído o volume máximo de açúcar da cana, através de dois processos denominados de: moagem e difusão. A moagem é composta por um conjunto de rolos compressores que farão a extração via compressão da cana, porém nessa etapa também será gerado um produto importante para todas as demais de conversão, o bagaço. Cada grupo de rolos compressores constitui uma unidade de moagem. A cana passa algumas vezes pela moagem para extração plena do seu caldo, e ao longo dessa etapa é adicionada água ao bagaço para ampliar a extração de sacarose, e denomina-se essa adição de embebição. Através dela se obtém, em média, a extração de até 97% de sacarose do caldo com um teor de umidade do bagaço de aproximadamente 50%.

3.2.2.6 – Uso do bagaço para geração de distintas formas de energia

Após a extração do caldo, o bagaço da cana é composto de 46% de fibra, 50% de água e 4% de sólidos dissolvidos. De cada tonelada de cana processada se obtem em torno de 240 a 280 kg de bagaço, o qual será utilizado nas caldeiras das usinas para gerar energia mecânica, sendo utilizada ao longo das demais etapas, até a conversão completa em etanol ou açúcar. A energia é gerada através do vapor das caldeiras, que variam entre 20 e 60 bar, apesar da pressão em média ser de 18 a 21 kgf/cm^2 (1,76 a 2,06 MPa), que impulsiona as turbinas a vapor e transforma a energia térmica em mecânica. As turbinas são responsáveis pela geração de energia para o complexo da moagem e para os geradores elétricos.

3.2.2.7 – Conversão do caldo em açúcar

O tratamento do caldo - mesmo após a moagem o caldo passa por tratamentos físicos e químicos para eliminar níveis residuais de impureza, que não chegam a 1% em condições normais, através de peneiras e ou agentes químicos que sedimentarão essas impurezas.

Sulfitação - consiste na absorção de dióxido de enxofre (SO_2) pelo caldo com o intuito de reduzir seu pH original para mais próximo de 4,0. Nas próprias usinas é gerado o gás de enxofre através de sua combustão em fornos especiais, portanto não há a emissão desse gás na atmosfera.

Uso da cal – a cal hidratada ($Ca(OH)_2$) é adicionada ao caldo para aumentar seu pH para mais próximo de 7,0. Seu consumo no tratamento varia de 500 a 100 g/TC.

Aquecimento, sedimentação e filtragem – o cálcio ainda será aquecido acima de 100º C para sedimentar alguns colóides de proteína e emulsificar a gordura, além de ocorrer um processo de sedimentação contínuo no clarificador, que filtrará níveis de impurezas ainda presentes. Desse clarificador será gerado um resíduo a partir do lodo que ficou acumulado, que é denominado de torta de filtro e, normalmente, é utilizada como fertilizante em plantações de cana.

Evaporação, cristalização e secagem – para, finalmente, o caldo se tornar açúcar será preciso passar ainda por evaporadores contínuos e dessa forma ampliar sua concentração de 14º a 16º Brix para 50º a 58º Brix, quando passa a ser denominado de xarope. Logo após, o xarope é dissolvido em água para que ocorra o processo de cristalização. A massa cristalizada será centrifugada para separar o melaço dos cristais de sacarose, e os cristais são lavados com água na forma líquida ou de vapor, no recipiente da centrífuga. Este processo é realizado diversas vezes para se extrair o máximo de cristais do melaço. A última etapa desse processo será a secagem na secadora, cujo açúcar sairá pronto para ser pesado, empacotado e armazenado com uma temperatura entre 35º e 40º C. Esse processo de conversão em açúcar apresenta uma eficiência, em média, de aproximadamente 88%.

3.2.2.8 – Geração de Etanol

Pode-se dizer que o processamento da cana-de-açúcar para gerar álcool é mais simplificado em etapas quando comparado com todos os processos para produzir o açúcar, e estas etapas podem ser divididas basicamente em: fermentação e destilação. Afinal, o álcool é um resultado de um processo bioquímico da fermentação do caldo de cana puro ou com melaço misturado.

Fermentação – antes do caldo ser fermentado propriamente dito, ele passa por um tratamento pelo qual é resfriado e aquecido rapidamente. Durante esse tra-

tamento são eliminadas as impurezas do caldo para que seja enviado a destilaria. Nela o mosto[37] terá sua concentração em Brix ajustada e iniciará sua fermentação, que é o método pelo qual a levedura é recuperada através da centrifugação do "vinho", que é o produto final gerado pela fermentação. As leveduras recuperadas são diluídas na água e recebem a adição de ácido sulfúrico para reduzir o nível do seu pH, e somente após esse tratamento da levedura, o qual pode durar até três horas, que ela será despejada nos tanques de fermentação.

As reações ocorrem em tanques onde o mosto, inserido por um período de 3 a 6 horas e a levedura acidificada são misturados numa proporção de 2 para 1, respectivamente, e toda a reação demora entre quatro a doze horas. O álcool é gerado a partir da transformação química da sacarose, conforme a seguinte reação simplificada demonstrada por Gay Lussac:

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2 + 98{,}2\ kJ$$

Além do álcool são gerados, a partir dessa reação, produtos secundários, como aldeídos, éteres, entre outros. É importante ressaltarmos que durante essa reação todo o açúcar é consumido, e o teor médio de álcool ao final desse processo fica entre 7% a 10% GL, além de passar a ser denominado de "vinho fermentado".

Destilação – O nível de álcool presente no vinho fermentado é recuperado através do processo de destilação, que consiste na ebulição das substâncias mais voláteis presentes no vinho. O processo de destilação simples, apresenta duas etapas para recuperar o máximo de álcool do vinho, que são: destilação e retificação. O produto final desse processo de destilação simples é o álcool hidratado que pode ser comercializado diretamente nessa forma, ou passar por uma terceira etapa. Consiste em uma mistura de água e álcool com um nível alcoólico em torno de 96º GL. Em algumas destilarias com melhor tecnologia o álcool hidratado passa por uma nova etapa chamada de desidratação: é adicionar um produto, normalmente por meio do ciclo-hexano, no álcool que amplia seu volume para quase 100º GL.

---

[37] Se refere a mistura do caldo de cana tratado com o melaço, que passou por diversas etapas do processamento industrial.

3.2.2.9 – Os resíduos desse processamento

Durante o desenvolvimento vegetativo e o processamento industrial da cana-de-açúcar são gerados alguns resíduos, que trataremos com maior cautela nessa parte.

Um dos resíduos gerados em maior abundância, a partir do caldo de cana ou da fermentação do melaço, é o vinhoto, também conhecido como vinhaça. Tendo em vista, que a cada 1 litro gerado de álcool é produzido entre 10 e 15 litros de vinhoto[38], e se formos avaliar o volume produzido na safra de 2008/2009 constataremos que foram produzidos mais de 275 milhões m^3 de vinhoto em todo o país. Apesar de sua composição variar, consideravelmente, em cada área plantada e espécie de cana é sua demanda biológica de oxigênio (DBO) muito elevada, que resulta em sérios danos, quando despejado diretamente em biomas aquáticos. Esse nível de DBO pode atingir até 40.000 mg/l (o mínimo seriam 30.000 mg/l), devido a presença de carboidratos não fermentados, compostos inorgânicos, ácidos orgânicos corrosivos, etc. O descarte do vinhoto pode ser reduzido através da sua reutilização na diluição do caldo da cana ou melaço, mas para isso é preciso reciclá-lo durante o processo de fermentação.

Existem alguns métodos[39] para o aproveitamento do vinhoto, mas por opção trataremos com maior detalhe de apenas dois, a fertirrigação e a biodigestão, sendo que o primeiro é o mais empregado nas plantações brasileiras. Em boa parte da estruturação do mercado de etanol entre o lançamento do Proálcool I e II o vinhoto era desperdiçado e jogado diretamente no solo ou em rios próximos às usinas. A evolução tecnológica destas e a pressão social mudaram, parcialmente, essa situação, passando o vinhoto a ser empregado como um fertilizante nas plantações, principalmente em função de um elevado teor de potássio em sua composição. Além da necessidade de conhecer o nível de nutrientes do solo, que receberá a aplicação desse resíduo, estão sendo realizados alguns estudos para mensurar o impacto que o acúmulo de vinhoto no solo pode causar, principalmente em áreas com a presença de lençóis freáticos, os quais correriam um sério risco, caso fossem contaminados com vinhoto. Obviamente, nem todo o vinhoto gerado é aproveitado como fertilizan-

---

[38] Visto em artigo em livro organizado por ROSILLO-CALLE (2005).

[39] Os principais métodos de aproveitamento descritos por CORTEZ e BRAUNBECK (2005) foram: fertirrigação, biodigestão, ração animal, produção de fundos, material de construção e incineração.

te, e uma quantidade significativa é depositada em tanques resistentes de aço inoxidável ou fibra de vidro. Entretanto, de acordo com CORTEZ e BRAUNBECK (2005), o uso desse resíduo é influenciado pelo preço do petróleo, dado que em muitas vezes a área plantada está distante da usina, e o gasto em transporte para levar o vinhoto até a plantação torna-se um impedimento. Todavia, esse custo poderia ser reduzido caso a usina substitui-se em seus caminhões o diesel pelo biogás, e gera-se biogás a partir do vinhoto. Em destilarias localizadas em São Paulo foi testado a biodigestão da vinhaça, cujo resultado é um biogás de qualidade constituído de 60% de metano e 40% de dióxido de carbono[40] e um poder calorífico significativo. Apesar do potencial da aplicação dessas tecnologias, o volume dos investimentos demandados e os custos da aplicação não tornaram comum o reaproveitamento do vinhoto.

3.2.2.10 – Aproveitamento da palha

Com a possibilidade tecnológica de efetuar a colheita mecanizada, está sendo estudada a melhor forma de utilizar o resíduo vegetal, gerado durante o processo de desenvolvimento da planta, mais conhecido como a palha de cana. Devido à prática da queimada pré-colheita, tem-se se desperdiçado, ao longo de séculos, os resíduos de origem vegetal da cana. Eles correspondem a cerca de 23% do peso total da matéria-prima, equivalente ao volume de participação do bagaço[41]. A geração de biomassa em termos de matéria seca no caso da palha corresponde 10 ton./ha por ano, representa mais de 25% da energia da cana *in natura*[42]. Em outras palavras, tem-se queimado anualmente um potencial de cerca de 89 milhões de toneladas de palha. Tendo por base 1975 corresponderia a um desperdício, em termos percentuais, idêntico ao crescimento acumulado da área colhida de 352%, ou quase 1.462.156 toneladas de matéria seca.

Na tabela 2, observar que seu poder calorífico corresponde a 85% do poder do bagaço de cana, o qual é comumente usado na cogeração de energia mecânica e elétrica no processamento industrial da cana.

---

[40] Com base em CORTEZ e BRAUNBECK (2005).
[41] Segundo Ripoli ET al., 1990; Payne, 1991 APUD ROSILLO-CALLE, Frank; BAJAY, Sergio V. e ROTHMAN, Harry (2005).
[42] Com base em BRAUNBECK E CORTEZ (2005).

Tabela 2 – Composição (%) e poder calorífico superior (PCS) do eucalipto, palha e bagaço da cana

Amostra	Unidade	Voláteis	Carbono fixo	Cinzas	C	H	PCS (kj/kg)
Eucalipto	11,9	80,2	19,8	0	50	6	18.494
Palha de cana	10,5	74,7	15	10,3	43	6	15.203
Bagaço de cana	9,9	75,4	13,7	10,8	44	6	17.876

Fonte: Extraído de BRAUNBECK E CORTEZ (2005).

Todavia, devemos levar em consideração que ao avaliarmos o aproveitamento da palha de cana, somente nas lavouras onde houver colheita mecanizada implica numa dedução equivalente a 50% da área plantada, e tendo em vista o teor de umidade do resíduo vegetal de aproximadamente 50% chegamos em um saldo líquido, com base na área colhida em 2008, de cerca de 22 milhões de toneladas. Correspondem em torno de 339 PJ[43] ou cerca de 28 mil GWh[44]. De qualquer forma, seria necessário desenvolver uma tecnologia para a colheita da palha no período da colheita, bem como para sua conversão energética em termos comercializáveis, para finalmente superar o desperdício dessa biomassa. Além disso, a palha ainda poderia ser aproveitada para geração de etanol lignocelulósico.

3.2.2.11 – Armazenamento e Distribuição

Em estudo realizado por especialistas da UNESP[45] sobre concentração e verticalização do setor sucroalcooleiro foi possível notar o aumento significativo de fusões e aquisições entre empresas proprietárias de grandes usinas, principalmente, entre 2000 e 2007 onde ocorreram em torno de 80 fusões e aquisições (KPMG apud ALMEIDA, 2008). Alguns grupos de usineiros, como o Grupo Cosan, chegaram a adquirir onze usinas em seis anos, e indicando uma tendência de concentração de capital deste setor, além da concentração de terras, que já é uma característica histórica dos principais atores deste mercado. Com o aprofundamento da crise econômica em 2008 foi possível verificar em jornais de circulação nacional desgastes do

---

[43] Significa petajoule, que corresponde a 10^{15}. Joules.

[44] Cálculos apresentados em planilha como anexo III, sendo que a resultado em GWh, que corresponde a 10^{9} W.h, baseou-se em uma tecnologia com capacidade para converter 30% da matéria seca em energia elétrica.

[45] Os autores do artigo foram: José Giacomo Baccarin, José Jorge Gebara, Cíntia Oliva Factore

setor sucroalcooleiro com abertura de concordatas e ampliação da concentração do setor através da aquisição dos menores grupos.

Na cadeia produtiva do álcool a distribuição é feita por mais de 400 bases, de acordo com a ANP, todavia mesmo com esta quantidade significativa de bases a maior parte do estoque de álcool é controlado pelos usineiros, na medida em que as bases de distribuição possuem capacidade de armazenamento limitada para alguns dias.

3.2.3 – Etanol de segunda geração

Existem estudos em curso no país para tentar produzir etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar, também conhecido como etanol de segunda geração, pois produz álcool, a partir da hidrólise do composto lignocelulósico presente no bagaço ou em qualquer outra forma vegetal. Na verdade, já é possível gerar combustível a partir do bagaço, principalmente, através do processo chamado Dedini Hidrólise Rápida (DHR), o qual foi desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e Copersucar em parceria com a Dedini Indústrias de Base, com o apoio da FAPESP. A partir deste processo foi possível converter uma parte dos açucares presentes no bagaço com ácido diluído. Contudo, ainda existem dificuldades, principalmente, com relação à viabilidade econômica do processo de conversão em etanol, devido às inúmeras barreiras biológicas no processamento de material lignocelulósico[46]. O bagaço é composto basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, que são componentes celulares de maior complexidade que as células animais.

A utilização do bagaço como matéria-prima para produzir álcool gera um potencial de dobrar o volume produzido hoje, a partir do caldo da cana, sendo que uma parcela dele deve continuar gerando energia elétrica e térmica para o funcionamento das usinas. Entretanto, mesmo com a redução dos custos de implantação da tecnologia de hidrólise, haverá uma nova fase de concentração do setor, tendo em vista o volume de investimentos necessários para implantação da tecnologia. Em uma tese de mestrado da Engenharia Química o autor, Fábio de Ávila Rodrigues, mensurou investimentos superiores a US$ 1,500 milhão para aquisição dos equipamentos de

[46] Para saber mais sobre barreiras biológicas para geração de bioetanol a partir de biomassa vegetal leia Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol: A Joint Research Agenda, 2005.

uma usina com capacidade para processar 48 toneladas de bagaço/dia. Os resultados líquidos foram deficitários nos primeiros anos, sendo que as margens de rentabilidade ficaram próximas das auferidas pelas usinas convencionais.

É importante frisar que o conhecimento desses processos tecnológicos tem avançado mais em grupos empresariais, nacionais ou estrangeiros, do setor sucroalcooleiro, ao invés de centros de pesquisa públicos ou universidades, que vem desenvolvendo novas tecnologias para o setor sucroalcooleiro desde a década de 1970. Neste aspecto, os avanços tecnológicos dessa área estão se dirigindo para o controle da propriedade intelectual através de patentes, ao invés da difusão do conhecimento para desenvolver um ambiente mais equilibrado entre os diferentes agentes que integram este setor.

3.2.4 – Contradições do “combustível sustentável” sob uma ótica ambiental

Apesar da defesa incondicional da utilização do etanol como combustível alternativo aos combustíveis líquidos derivados de petróleo, basicamente gasolina, em trabalhos publicados por MACEDO e NOGUEIRA (2004), Workshops organizados pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), e outras instituições ligadas ao setor sucroalcooleiro, é importante levar em consideração alguns impactos gerados no meio ambiente devido à expansão da monocultura da cana-de-açúcar, a qual tem sido, potencialmente, estimulada por demandas crescentes do mercado de etanol.

Inicialmente, o modelo de produção de cana nos remete ao início da colonização brasileira, quando caracterizou-se uma prática de agricultura à base da derrubada e queimada das florestas naturais. Não devemos esquecer que a produção de açúcar a partir do monocultivo de cana foi responsável pela destruição direta e indireta de uma parcela significativa da Mata Atlântica entre os séculos XVII e XVIII.

Mesmo com o avanço tecnológico na produção de cana-de-açúcar é inviável dissociar sua expansão com a desestruturação de diversos ecossistemas como da Mata Atlântica.

Ainda hoje a prática de queimadas da palha da cana é recorrente e considerada a mais rápida e econômica pelos produtores, ao ampliar temporariamente a

matéria orgânica absorvida pelo solo, quando a chuva cai rapidamente. Porém, esta prática reduz a permeabilidade do solo gerando erosão e favorece o desenvolvimento de plantas com raízes superficiais, as quais apresentam menor capacidade de reciclagem dos minerais que determinam o nível de fertilidade do solo. O Estado de SP pode ser considerado uma referência, por ter desenvolvido uma legislação de combate às queimadas e outros impactos graves da produção de cana. Mas, os órgãos de fiscalização do Estado não possuem quadro funcional suficiente e tão pouco condições orçamentárias para realizar um controle efetivo de uma área superior a 4,3 milhões de hectares ocupados por cana em 2006[47]. A emissão de poluentes na atmosfera provenientes de queimadas causa doenças respiratórias às pessoas que residem nas proximidades e amplia a poluição do ar em locais com menor concentração industrial e de veículos automotores.

O plantio de cana impacta sobre os recursos hídricos de formas diferentes. Além da vinhaça, já referida anteriormente, não podemos desconsiderar a utilização de agrotóxicos e herbicidas com alto risco de contaminação, como o Glifosato (largamente utilizado nas plantações de soja transgênica e potencial contaminador de lavouras próximas à sua utilização, também conhecido como Roundup), Paration metil (faz parte do grupo dos pesticidas organo-fosforados, que são proibidos em diversos países agrícolas do Planeta, mas o projeto de lei proibindo sua utilização no Brasil tramita no Congresso há anos), Aldrin (utilizado de forma clandestina em diversas plantações de cana por ser um organoclorado proibido no país, devido o potencial acumulativo de seu resíduo na cadeia alimentar). Esses agrotóxicos possuem grande potencial de contaminação de águas subterrâneas e de lavouras próximas às plantações de cana.

Apesar da região Nordeste ser responsável por uma parcela menor da produção de cana e, consequentemente, de etanol, faz uso intensivo de água para realizar a irrigação de salvação e suplementar a maior parte das plantações.

Outra maneira de utilização da água que passa muitas vezes de forma despercebida, é ao longo do processo industrial para produção de etanol: resfriamento de condensadores, colunas, resfriamento dornas, lavagem de esteira, outras águas de resfriamento. E por mais que estes processos tenham ampliado sua eficiência e

---

[47] Retirado do relatório final do Workshop Aspectos Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-de-açúcar realizado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa.

utilizado um menor volume de água, não podemos desconsiderar que as usinas demandam água para garantir sua capacidade de produção industrial.

Com o estímulo para expansão das lavouras de cana-de-açúcar para intensificar a produção de etanol é preciso retornar ao debate da década de 1970 a respeito dos riscos desta expansão sobrepor culturas alimentares. A lógica de mercado implícita aos produtores rurais impõe uma busca por maximização de seu capital através da produção de culturas mais rentáveis. Numa relação superficial de preços relativos é explícita a vantagem de produção de culturas energéticas em relação às culturas alimentares e mais tradicionais da agricultura familiar. Mesmo que os agentes econômicos a frente destes tipos de culturas façam parte de classes sociais distintas, nas quais os agentes ligados ao agronegócio são grandes proprietários de terra em sua maioria, enquanto os agentes ligados a agricultura familiar constituem a classe do campesinato, em geral, proprietários de pequenas propriedades de terra. Entretanto, o ponto de risco é o novo estímulo expansionista propiciado pelo governo visando o incremento da oferta de álcool, causando pressão sobre as pequenas propriedades rurais voltadas a produção de culturas alimentares.

3.3 – Balanço Energético da Geração de Etanol

Existem diferentes métodos para se avaliar a relação entre consumo e geração de combustível a partir de biomassa, que serve para comparar sua eficiência energética em relação aos combustíveis fósseis. No caso da geração de etanol são considerados apenas os *inputs/outputs*[48] que incidem diretamente sobre a etapa agrícola e industrial. A partir de uma simulação feita por MACEDO e NOGUEIRA (2005) fica mais fácil de identificar o fluxo:

[48] Considerando os *inputs* como “entradas” ou consumos de energia ao longo do processo, e os *outputs* como “saídas” ou as formas de energia resultantes do processo de geração do combustível.

Tabela 3 – Fluxo energético da geração de etanol

Item	Fluxos de energia (Mcal/t cana)
	Cenário com valores médios de produção
Consumo na fase agrícola	48,21
Consumo na fase industrial	11,8
Produção de etanol	459,10
Produção de bagaço excedente	20,30
Relação produção/consumo	8,3

Fonte: Retirado dos Cadernos NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (2005).

Considerando os fluxos energéticos diretos obteve-se uma eficiência energética de 1:8,3, ou seja, a cada 1 Mcal consumidos de combustíveis fósseis são geradas 8 Mcal de combustível renovável. Apesar de não mensurarmos os impactos ambientais em cada etapa da cadeia produtiva do etanol é importante os destacarmos como pré-requisito para compor uma análise transdiciplinar e complexa do balanço energético.

Ao longo da cadeia produtiva existem fatores impactantes que são subdimensionados, como a emissão de GEE causada pela prática das queimadas na etapa de colheita da cana, que desperdiça uma quantidade considerável de biomassa por queimar a palha, ou ainda, o uso de agrotóxicos e fertilizantes – que também são derivados de petróleo – na lavoura. Nesse último deve-se ponderar sobre o consumo um percentual teórico de acréscimo, que representaria os agrotóxicos clandestinos utilizados comumente pelos produtores. O consumo de água, tanto para irrigação na etapa de cultivo como ao longo do processamento industrial deve compor o balanço, na medida em que torna-se um recurso a cada ano mais restrito.

A monocultura da cana apresenta relação com o setor pecuário, e sua expansão sobre áreas degradadas de pastagens indiretamente estimula a expansão de novas terras para criação de gado sobre áreas de floresta primária ou mata, então o volume de desmatamento causado pela expansão da pecuária nos ecossistemas do Cerrado e da Amazônia também devem ser mensurados e considerados no balanço energético, em função da perda de biodiversidade e de parcela dos sumidouros de carbono.

Sabemos das dificuldades de mensurar impactos qualitativos e alguns quantitativos, todavia não é aceitável considerarmos um balanço energético positivo na

geração de etanol com base em dados simplificados, com risco de tornar o fluxo energético em um resultado arbitrário e limitado.

3.4 – Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel

3.4.1 – Antecedentes Históricos e um "Novo Programa" Bioenergético

A inserção de biocombustíveis, além do etanol, na matriz energética brasileira foi um acontecimento relativamente recente, dado que foi instituída a partir da Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Todavia, os estudos em relação ao potencial dos óleos vegetais começou no Brasil na mesma época do lançamento do Programa do Álcool. O Conselho Nacional de Energia através da resolução nº 7/1980, homologou o Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energético (Proóleo), em 1980. Esse programa objetivava substituir o consumo de óleo diesel com a adição de óleos vegetais na proporção de até 30%, além de constituir um mercado para os produtores de várias culturas oleaginosas com potencial para gerar biodiesel. Na época, era um programa tão importante quanto o Proálcool, dado que assim como a gasolina o volume de diesel importado era significativo e impactava negativamente sobre as divisas brasileiras, havendo um projeto de governo que buscava a soberania energética através das reservas de biomassa, que o país possui em larga escala. Entenda-se biodiesel como um combustível renovável de queima limpa e procedência vegetal, podendo ser usado puro ou misturado com o diesel mineral em qualquer proporção[49]. Outra função que o biodiesel cumpre é reconstituir a lubricidade do diesel mineral, que pode reduzir o teor de enxofre, que na emissão de seus particulados influenciam o efeito estufa. Sabe-se que adicionando de 5% a 8% de biodiesel obtém-se uma redução significativa de teores de enxofre, sendo que o éster específico de mamona teria condições de ampliar ainda mais essa lubricidade por ter em torno de 30%[50] a mais, que os demais óleos vegetais. Nesse sentido, é importante referenciarmos o trabalho pioneiro do Professor Expedito Parente, da

---

[49] Apesar de estudos empíricos com uso do B100 em motores a diesel existem dúvidas dos setores automotivos e de auto-peças com relação a riscos de uso prolongado desse combustível em uma proporção acima de 20% nos motores a diesel, e devido a isso que o governo brasileiro iniciou a mistura obrigatória com o óleo diesel em no máximo 5% (B5).

[50] Com base nos relatórios finais dos subgrupos do GTI do Biodiesel, p. 14.

Universidade Federal do Ceará, que pesquisou sobre os potenciais das oleaginosas na década de 1970[51], e apesar do Proóleo na época não ter gerado resultados efetivos, como o Proálcool, foi no meio acadêmico que seus estudos continuaram e possibilitaram o embasamento das novas discussões do governo federal no início dos anos 2000. Além dos estudos promovidos pela via acadêmica, o governo instituiu também o Programa Nacional de Alternativas Energéticas Renováveis de Origem Vegetal, conhecido como programa OVEG, seguindo-se estudos por setores da indústria automotiva, de autopeças e de óleos vegetais, para demonstrar a viabilidade técnica, no uso desses óleos em motores de ciclo diesel.

Nesse período, o governo brasileiro percebeu as possibilidades de inserir-se no mercado global de biocombustíveis por meio da ampliação da produção, não mais limitada ao etanol, em virtude de um mercado crescente na Europa e EUA, que já produzem biocombustíveis há mais tempo. A União Européia consolidou seu programa de subsídios para geração de biodiesel e os principais países produtores[52] e consumidores vem ampliando a participação do biodiesel na matriz de combustíveis líquidos. Para se ter uma referência a capacidade instalada para produção de biodiesel nesse bloco econômico era de aproximadamente, 4.200 bilhões[53] litros de biodiesel em 2005. Os EUA não estão longe como quarto produtor de biodiesel, que correspondia a 280 milhões de litros em 2005[54], e sua nova legislação previa nessa época a adição de pelo menos 20% de combustível renovável em combustíveis de origem fóssil, e pelas previsões da USDA deve representar um mercado consumidor de 490 milhões de litros.

Todas essas perspectivas de incremento do mercado global de combustíveis alternativos estimularam o governo brasileiro a estruturar, desde 2002, um mercado nacional produtor e consumidor de biodiesel a partir de diversas oleaginosas, tendo em vista a competitividade que o país poderia atingir frente aos custos de produção dos demais países, como aconteceu na produção de etanol. A primeira iniciativa foi a estruturação de um Grupo de Trabalho Interministerial (GTI) do Biodiesel que articulou os principais agentes econômicos e políticos envolvidos no mercado de com-

---

[51] Segundo BENEDETTI (2007).

[52] De acordo com MAPA (2007) os principais países europeus produtores são Alemanha, França, Itália, Dinamarca e Áustria, e além da comunidade européia a produção dos EUA também se destaca.

[53] Segundo levantamento do MAPA (2007) a produção efetiva estava muito próxima da capacidade instalada e o mercado consumidor europeu já representava mais de 3 bilhões de litros de biodiesel.

[54] Segundo MAPA (2007)

bustíveis fósseis e alternativos, o qual foi instituído no ano de 2003. Segundo A-BRAMOVAY (2009), o Grupo foi coordenado pela Casa Civil e constituído por onze ministérios, além de entidades técnicas, reguladoras e específicas do setor energético, automotivo, entre outras. O GTI do Biodiesel desenvolveu um programa com base nas seguintes diretrizes gerais:

> a. "começar o programa de produção e uso racional de biodiesel em todas as regiões do país a partir da produção de óleos vegetais das espécies mais apropriadas e consolidadas localmente, para atender uma demanda de B5.
> b. As ações de governo precisam ser priorizadas para a região Nordeste por concentrar o maior número de agricultores familiares e para a região Norte pelo potencial da terra, especialmente em função da possibilidade de aproveitamento de áreas degradadas.
> c. A apropriação da etapa de esmagamento dos grãos pelos agricultores associados é importante pois este irá auferir um maior preço ao óleo (seu preço é cerca de 4 vezes superior ao do grão que lhe deu origem) e também irá integrar o farelo (torta) na propriedade, diminuindo seus custos de produção e aumentando a oferta de proteína de origem animal, o que melhora o padrão nutricional da população.
> d. A agricultura familiar é capaz de atender plenamente às demandas no cenário proposto desde que haja acesso ao mercado de biodiesel e, principalmente, a credibilidade no programa." (Grupo de Trabalho Interministerial – Biodiesel, Relatórios Finais dos Subgrupos – Anexo III. p. 7)

Esse GTI desenvolveu através dos seus subgrupos e equipes técnicas em parceria com instituições acadêmicas e organizações do setor energético e agropecuário, as rotas tecnológicas disponíveis, potencialidades de cada região do país, restrições em termos de capacidade produtiva e as diferentes estratégias para estimular a constituição desse novo mercado. A partir das principais conclusões do seu relatório percebemos que *a priori* existem dificuldades de implantação das metas iniciais do programa (esse é um dos fatores que determinam os limites de adição do óleo vegetal no diesel mineral), bem como de definição da cadeia produtiva, dado que existem poucas empresas privadas ou públicas com plantas industriais para geração do combustível vegetal.

Outro elemento importante que estava presente nas discussões do grupo eram as duas principais estratégias de implantação do programa. Enquanto setores do governo ligados ao Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) defendiam participação efetiva da agricultura familiar na geração de biodiesel, não apenas como produtores rurais, mas também como geradores do combustível a partir de pequenas plantas industriais, de outro lado agentes privados e políticos ligados ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), defendiam que somente o setor da soja teria condições de assumir no início a produção projetada. Além dos a-

gentes econômicos desse setor terem condições de efetuar os investimentos necessários para ingressarem na matriz bioenergética. Essa discussão, que em diversos momentos é caracterizada de forma complementar, ilustra as diferentes visões sócio-políticas que vão compor o programa do governo, e nesse momento achamos interessante fazer o paralelo com as discussões iniciais do Proálcool, que originalmente acreditava na possibilidade de integrar à cadeia sucroalcooleira os pequenos agricultores de cana e mandioca, conforme a discussão apresentada anteriormente sobre a viabilidade econômica das micro-destilarias. A partir das recomendações feitas nesse relatório final identifica-se que a visão mais plural e ligada a agricultura familiar influenciou a forma como o programa seria estruturado, e abaixo iremos destacar algumas dessas:

> "a) Trabalhar o conceito-ação do biodiesel de modo a possibilitar a inserção gradativa de várias tecnologias de geração de energia a partir da biomassa (Transesterficação etanólica, metanólica, craqueamento, dentre outras);
> b) Ser precedido de uma estratégia de descentralização da produção, da industrialização e da distribuição.
> c) Garantir o acesso da agricultura familiar ao mercado do biodiesel;
> d) Possibilitar a utilização de quaisquer rotas tecnológicas que conduzam a produtos dentro de padrões de qualidade aceitáveis (inclusive, considerar os padrões a serem estabelecidos para o combustível vegetal obtido por craqueamento);
> e) Trabalhar os padrões de identidade e qualidade de maneira a não excluir quaisquer matérias-primas;
> f) Priorização do conjunto de políticas públicas (financiamento, assistência técnica e extensão rural – ATER, de uso da terra e de apoio à comercialização) voltadas à produção de biodiesel a partir da agricultura familiar e dos assentados da Reforma Agrária;" (Grupo de Trabalho Interministerial – Biodiesel, Relatórios Finais dos Subgrupos – Anexo III. p. 7)

Essas recomendações e diretrizes serviram de base para o lançamento do Programa Nacional da Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em dezembro de 2004, logo após a aprovação do relatório final do GTI do Biodiesel em dezembro de 2003, o qual inseriu os biocombustíveis a partir de oleaginosas na matriz bioenergética do país e sinalizou ao mercado o uso desse combustível na mistura com o diesel mineral a partir de 2%. Inicialmente os agentes tinham liberdade para efetuar a mistura no diesel, até a adição tornar-se obrigatório depois de instituída pela já referida Lei 11.097/05, que determinou a utilização de percentual mínimo de 2% na mistura com diesel mineral. Até chegar em 5% (B5) o percentual mínimo obrigatório de adição do biodiesel ao óleo diesel consumido em todo o país, conforme o Art. 2º dessa lei[55]. O volume misturado ao óleo diesel seguiria o seguinte cronograma:

---

[55] Visto na redação final da Lei 11.097 que foi publicada em 13 de janeiro de 2005.

Tabela 4 – Cronograma de proporção da mistura de biodiesel (%)

Anos	2005 – 2008	2009 – 2012	2013
Volume de biodiesel adicionado ao diesel mineral	2%	3%	5%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRAMOVAY (2009).

Entretanto, a própria lei já dá abertura para mudar os prazos para ampliação da mistura em função da capacidade industrial instalada, dos leilões da ANP e da demanda por diesel no país, tanto que o B5 já foi implementado em 2009 em função do elevado nível industrial alcançado a partir de 2005. Segundo ABRAMOVAY (2009), foram leiloados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) 885 mil m^3 de biodiesel e entregue cerca de 402 mil m^3, entre 2005 e 2007.

Através do PNPB o governo buscou estimular a constituição de um mercado específico e regulado nos moldes do mercado do álcool, porém baseando-se em subsídios tributários e creditícios, que fomentassem a produção em regiões mais pobres do país, como Norte e Nordeste, e integrassem a cadeia do biodiesel com a produção agrícola de pequenos agricultores, principalmente dessas regiões.

3.4.2 – Rotas tecnológicas de conversão e diversidade de oleaginosas

A produção de biodiesel no contexto brasileiro possui ao menos três rotas distintas em termos tecnológicos para converter óleos vegetais ou gordura animal em combustível alternativo. A articulação desses estudos foi promovida pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). Existem ao menos três categorias de óleos vegetais cultivados em diferentes regiões do Brasil com potencial distinto para geração de combustível, sendo elas: óleos monoinsaturados, óleos de características singulares (mamona), óleos laurílicos[56]. Esses últimos são interessantes por serem derivados de palmáceas e possuírem algumas das melhores propriedades ao biodiesel.

Esterificação **–** Para um aproveitamento pleno do potencial assinalado acima, que será aprofundado mais a frente entre as matérias-primas mais promissoras,

[56] Com base nos relatórios finais dos subgrupos do GTI do Biodiesel.

é necessário utilizar uma rota tecnológica de caráter nacional, com um nível de eficiência de conversão representativo e viabilidade econômica. Nessa perspectiva a rota alcoólise alcalina[57] foi a que se adequou melhor aos pontos levantados, e o processamento que potencializa a eficiência de conversão e minimiza a geração de subprodutos (resíduos) é a transesterificação[58], que pode basear-se em ésteres etílicos ou metílicos. Principalmente, a transesterificação que utiliza como catalisador a soda cáustica e obtém éster como produto principal, e como subprodutos o glicerol e os ácidos graxos líquidos. Ela ocorre em uma sequência de três sub-reações consecutivas e reversíveis, com di e monoglicerídeos como intermediários, e as proporções estequiométricas são três moles de álcool por mol de triglicerídeo, óleo vegetal.

Com a tecnologia disponível o processo de transesterificação pode ser simplificada nas seguintes etapas:

a. Álcool e o catalisador são misturados em um tanque com um agitador.
b. Óleo vegetal é colocado em um reator fechado contendo a mistura álcool/catalisador. O reator é usualmente aquecido à aproximadamente 70º C para aumentar a velocidade da reação, que leva entre 1 a 8 horas.
c. Ao final da reação, quando se considera convertido um nível suficiente de óleo vegetal, os ésteres (biodiesel) e a glicerina são separados por gravidade.
d. O álcool em excesso é separado do biodiesel e da glicerina por evaporação sob baixa pressão ou por destilação. O álcool recuperado é reutilizado.
e. O biodiesel deve ser purificado e em alguns casos, lavado com água morna para remover resíduos de catalisador e sabões.

A utilização do álcool é fundamental para separação dos ésteres do glicerol, também conhecido como glicerina. O processo pode ser conduzido na presença de catalisadores ácidos, básicos e enzimáticos, mas é a catálise básica o processo mais rápido e que obtem rendimentos superiores a 90%[59]. Empregar esse catalisador na reação química apresenta um inconveniente em função da sensibilidade à

---

[57] Com base nos relatórios finais dos subgrupos do GTI do Biodiesel.
[58] De acordo com APUD Lincoln Camargo Neves Neto em MACEDO E NOGUEIRA (2005).
[59] De acordo com MACEDO E NOGUEIRA (2005), em Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - NAE.

presença de água e dos ácidos graxos, que se formam durante a reação, o que gera um volume maior de géis e sabões. Os catalisadores enzimáticos são melhores nesse aspecto que os básicos, todavia seus custos tornariam o processo demasiadamente dispendioso economicamente.

Como identificado no processo da transesterificação é preciso o uso de álcool que pode ser de origem metílica ou etílica. O uso do metanol gera impactos indiretos ao balanço energético do biodiesel, uma vez que possui origem fóssil, porém aproveitar a produção de etanol torna o processamento mais complexo. Tendo em vista, que o álcool etílico exige um volume maior de reagentes, que geram mais resíduos ao longo do processamento, além de mais tempo despendido para recuperação do excesso de álcool na penúltima etapa. Abaixo identificamos as principais diferenças entre o metanol e o etanol.

Tabela 5 – Comparação entre ésteres metílico e etílico

Propriedade	Éster melílico	Éster etílico
Conversão (óleo → biodiesel)	97,5%	94,3%
Glicerina total no biodiesel	0,87%	1,40%
Viscosidade	3,9 a 5,6 cSt @ 40ºC	7,2% superior ao éster metílico
∆% potência frente ao diesel	2,5% menor	4% menor
∆% consumo frente ao diesel	10% maior	12% maior

Fonte: MACEDO E NOGUEIRA (2005), em Cadernos NAE.

A tabela 5 é ilustrativa sobre as vantagens do uso do etanol frente ao metanol, todavia ela não é aplicada comumente nos principais países produtores de biodiesel em função do seu elevado custo de produção nesses países. Durante as reuniões do GTI do Biodiesel a rede UNICA foi uma das principais defensoras do uso do etanol no processo de transesterificação para estimular e integrar a cadeia produtiva do etanol à do biodiesel.

Tabela 6 – Principais características do etanol e metanol

Características	Etanol	Metanol
Autossuficiência	Sim	Não
Dispêndio de divisas c/ importação	Não	Sim
Geração de empregos no país	Muitos	Poucos
Impactos na cadeia produtiva	Grande	Pequeno

Disponibilidade onde óleos vegetais são produzidos	Sim	Limitada
Tecnologia de transesterificação dominada	Sim	Sim
Potencial de exportação da tecnologia	Sim	Não
Toxidez	Moderada	Elevada
Compatibilidade com materiais	Maior	Menor
Impactos em caso de acidentes	Baixo	Alto
Renovável	Sim	Não

Fonte: Retirada da apresentação da ÚNICA na reunião do GTI do Biodiesel, que foi realizada em 04 de setembro de 2003, de acordo com a ATA nº 04/2003, cuja elaboração foi da própria entidade.

Craqueamento – apesar da comprovada eficiência da rota alcóolise devemos considerar as dificuldades de estruturação de unidades de processamento que usem o caminho da transesterificação para pequenos agricultores consorciados em cooperativas e associações, logo essa rota prima por uma escala industrial. Nessas situações a rota do craqueamento catalítico teria uma aplicabilidade maior por utilizar um volume menor de matéria-prima e não exigir etapas tão complexas como na transesterificação. Esse outro processo produz uma mistura de hidrocarbonetos condensados e apresenta um rendimento de aproximadamente 80% em uma fase orgânica[60]. Seu ponto forte é a não formação de compostos aromáticos com maior potencial poluidor.

As matérias-primas escolhidas para a extração do óleo devem ser consideradas sobre seu volume de óleo, rendimento e qualidade, logo apresentamos essas características abaixo para avaliarmos:

Tabela 7 – Características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel

Espécie	Origem do óleo	Conteúdo de óleo (%)	Meses de colheita	Rendimento em Óleo (t/ha)
Dendê (Elaeis guineensis N.)	Amêndoa	26	12	3,0 – 6,0
Babaçu (Attalea speciosa M.)	Amêndoa	66	12	0,4 – 0,8
Girassol (Helianthus annus)	Grão	38-48	3	0,5 – 1,5
Colza (Brassica campestris)	Grão	40 – 48	3	0,5 – 0,9
Mamona (Ricinus communis)	Grão	43 – 45	3	0,5 – 1,0
Amendoim (Arachis hipogaea)	Grão	40 – 50	3	0,6 – 0,8
Soja (Glycine Max)	Grão	17	3	0,2 – 0,6

Fonte: MACEDO E NOGUEIRA (2005).

[60] Com base nos relatórios finais dos subgrupos do GTI do Biodiesel na p. 13.

Com base na tabela 6, podemos notar que a maior parte das culturas avaliadas são de ciclos curtos em termos de desenvolvimento vegetal e colheita, além de apresentarem diferentes processos de cultivo. Por exemplo, a mamona apresenta certas características de uma produção extrativista, está mais ligada a agricultura familiar e sua cadeia produtiva é simplificada. Já a soja está mais ligada a produção agrícola extensiva, também conhecido como agronegócio, sua cadeia produtiva é complexa e a maior parte da sua produção é escoada para o comércio internacional como uma das principais *commodities* brasileiras. De acordo com estudos de zoneamento e aptidão realizados pela Embrapa foi possível determinar em quais regiões certas culturas poderiam ser extraídas com maior eficiência e sem mudar drasticamente a tradição agrícola. Então, a grosso modo, são considerados os cultivos da soja para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a mamona para o Nordeste e o dendê para a região Amazônica[61], além das palmáceas tropicais que não possuem um zoneamento completo, mas são tradicionais nas regiões Norte e Nordeste, como babaçu largamente presente no Maranhão.

3.4.3 Especificações e testes

A ANP cumprirá a função de garantir a qualidade do combustível gerado a partir de oleaginosas ou gordura animal, e instituiu a partir da Portaria 255/2003 um conjunto de especificações[62] que o biodiesel teria que seguir para ser distribuído e consumido, com base nessa portaria o biodiesel é considerado um combustível "composto de mono-alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais". Segundo a ANP, as especificações não teriam caráter restritivo e sim servem para alertar sobre características do biodiesel como sua alta higroscopicidade, baixa estabilidade à oxidação e sua elevada corrosividade em metais não ferrosos, com exceção do alumínio[63]. De acordo com MACEDO e NOGUEIRA (2005), a partir das especificações européias e norte-americanas foram estabelecidas algumas premissas que a ANP seguiu, conforme destacamos abaixo:

---

[61] Segundo MACEDO E NOGUEIRA (2005) em Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - NAE.
[62] As especificações podem ser vistas em sua íntegra no Anexo II.
[63] Retirado do resumo das visões das entidades convidadas as audiências públicas sobre o PNPB, que foram realizadas pelo GTI do Biodiesel.

> "a) Especificar o biodiesel puro, para uso em misturas até B20.
> b) Tomar por base as propriedades do combustível, independentemente da matéria-prima utilizada.
> c) Basear-se na especificação do óleo diesel, eliminando as características não aplicáveis e incluindo as particularidades do biodiesel.
> d) Procurar alinhar-se à experiência internacional." (Cadernos NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (2005). Biocombustíveis, p. 89)

Todavia, as especificações, inicialmente, foram mais flexíveis em relação a viscosidade e ao índice de iodo, mas a partir de 2006 a Resolução nº 15[64] definiu um nível de viscosidade que passou a restringir o uso da mamona como matéria-prima pela sua alta viscosidade, pelo menos quando produzido pelo óleo puro dessa oleaginosa. Por mais que algumas especificações sofram mudanças ao longo do tempo alguns elementos são essenciais para o controle de qualidade do biodiesel tal como sua estabilidade à oxidação. Por ser um combustível biodegradável sem a adição de compostos antioxidantes, apresenta um tempo mais limitado para ser utilizado e não influenciar no bom funcionamento do motor, e sua mistura com diesel mineral atender as especificações do óleo diesel convencional, seguindo os níveis de exigências internacionais dos sistemas de injeção, do motor, de filtragem e de exaustão.

3.4.4 Integração da agricultura familiar na cadeia do biodiesel

Como vimos na discussão do GTI do biodiesel e nas diretrizes do PNPB, a agricultura familiar é de grande importância para a efetividade desse programa, além de cumprir com um papel social ao tentar reduzir as desigualdades regionais presentes no campo, e integrar os pequenos agricultores a cadeia produtiva do biodiesel. Foi mediante a Lei nº 11.116/05, que o governo buscou integrar a produção de biodiesel das regiões Norte e Nordeste com os pequenos produtores locais. Nessas regiões busca-se a utilização de culturas tradicionais da região como mamona, dendê e babaçu. No lançamento do programa havia muita expectativa na inclusão de milhares de pequenos agricultores nordestinos, que através do biodiesel, poderiam ampliar sua renda e ter um mercado cativo para sua produção de mamona.

A agricultura familiar caracteriza-se como um modelo agrícola baseado na produção em pequena escala, aplicando a policultura, e alguns casos a agricultura orgânica, e com a participação direta da família em todas as etapas do processo de

---

[64] Visto em ABRAMOVAY (2009).

cultivo/colheita. Envolvem mais de quatro milhões de agricultores, e corresponde aproximadamente a 85% dos estabelecimentos rurais do País. Neste universo, existem cerca de 475 mil assentados distribuídos em 6.067 assentamentos[65]. Também é importante ressaltar que esse modelo agrícola se relaciona com o mercado muito antes do surgimento do mercado capitalista, e diferente do modelo agroindustrial exportador[66] seu regime de produção está sob certo aspecto à margem do processo de mercantilização e homogeneização das culturas alimentares. Apesar de reconhecida a importância da agricultura familiar descrita, exaustivamente, por autores brasileiros, como José Graziano, não nos custa ressaltar que essa atividade responde por quase 80% das ocupações produtivas agropecuárias e pela maior parte da produção das culturas alimentares básicas, que compõe a dieta diária de consumo da população brasileira.

A partir dessas potencialidades, e ao levar em consideração a quantidade de mão de obra de baixa qualificação disponível nesse setor da agricultura, que o governo decidiu projetar distintos volumes de biodiesel, nas cinco regiões do território nacional, distribuídas resumidamente da seguinte forma:

a. Região Norte e Nordeste: 100% da matéria-prima necessária para a produção do biodiesel é produzida pela agricultura familiar;
b. Região Sudeste: Apenas 30% do mercado do biodiesel será atendido pela produção da agricultura familiar;
c. Região Centro-Oeste: Projetou-se uma participação marginal de 5% da produção da agricultura familiar em função do nível de concentração fundiária e da escala de produção dessa região;
d. Região Sul: A agricultura familiar deveria responder por mais de 50% da matéria-prima necessária para a geração do biodiesel.

Podemos analisar as diferentes participações da produção agrícola da agricultura familiar a partir da demanda do mercado doméstico de óleo diesel em cada uma das cinco regiões assinaladas considerando uma adição de 5% (B5) do biodiesel. De acordo, a tabela abaixo.

---

[65] Baseado em dados do Ministério do Desenvolvimento Agrário (2002), a partir dos Relatórios Finais do GTI do biodiesel.
[66] Ver uma discussão conceitual desse modelo agrícola em TUBINO e ZAMORA (2008).

Tabela 8 – Demanda de biodiesel por região a partir das projeções do GTI do biodiesel.

Região	Consumo de diesel (t)	Consumo de biodiesel estimado (t)
Nordeste	4.480.000	415.520
Norte	2.400.000	222.600
Sudeste	13.360.000	1.239.140
Centro-Oeste	3.600.000	333.900
Sul	6.160.000	571.340
Total	30.000.000	2.782.500

Fonte: Retirado dos relatórios finais dos sub-grupos do GTI do biodiesel (2002).[67]

Para que a produção dos pequenos agricultores, principalmente das regiões Norte e Nordeste, atinjam o nível necessário com base na demanda projetada será preciso a realização de uma série de investimentos, para aumentar o rendimento por hectare e melhorar a estrutura logística dessas localidades. Abaixo apresentamos uma tabela que nos dá uma dimensão desse investimento e do incremento potencial de renda, que pode ser gerado a partir dessa integração com os produtores industriais do biodiesel.

Tabela 9 – Estimativa de acréscimo de renda, área cultivada e de investimento agrícola na agricultura familiar segundo o cenário proposto

Região	Área Cultivada	Estimativa de acréscimo de renda bruta anual (R$)	Investimento agrícola (R$)
Nordeste	1.038.800	997.248.000	443.567.600
Norte	61.833	389.550.000	166.950.000
Sudeste	118.069	153.489.656	70.841.380
Centro-Oeste	34.781	69.423.375	34.781.250
Sul	607.049	1.211.669.305	607.048.750
Total	**1.860.532**	**2.821.380.336**	**1.323.188.980**

Fonte: Retirado do Relatório Final dos Subgrupos do GTI biodiesel (2002)

Apesar da área cultivada não ser significativa em termos da área ocupada pela agricultura familiar nessas regiões, o potencial de incremento a renda, a primeira vista é representativo, principalmente, para as regiões Norte, Nordeste e Sul. A renda adicional, nessas regiões, pode chegar a R$ 6.300/ha ao Norte e R$ 1.996/ha ao Sul. Todavia, deve se ter em mente as dificuldades de realizar o volume total de in-

[67] Considerou-se que 30% do óleo diesel empregado em frota agrícola abastecido com B100; restante do óleo diesel consumido no Brasil (95% do total) abastecido com B5 e tomou-se 80% de rendimento de processamento. (pg. 5)

vestimentos projetados dadas as precárias condições da malha rodoviária e das máquinas e equipamentos usadas na produção das regiões Norte e Nordeste, sendo que o investimento dessas regiões representa quase 92% do investimento global estimado.

Também podemos avaliar essa distribuição por região em termos de matérias-primas de maior potencial e a integração com a agricultura familiar.

Tabela 10 – Estimativa de custos, área e renda de produtos agrícolas na agricultura familiar

Região	Espécie	Área média por agricultor (ha)	Produção óleo (kg/ha)	Nº de famílias/ha	Renda média liq. (R$/ha/mês)
NE	Mamona	7,5	1000	0,33	280
NO	Palma	2,5	4500	0,2	300
SE	Amendoim ou girassol	5	1300	0,1	48
CO	Soja	5	600	0,1	46
SU	Soja	8	600	0,125	55

Fonte: Retirado do Relatório Final dos Subgrupos do GTI biodiesel com base no MAPA, Embrapa, Icepa, Epagri e Deser.

Devido à considerável diversidade de espécies oleaginosas que pode ser empregada na geração do biodiesel, a tabela 9 é ilustrativa da visão restrita trabalhada pelos agentes políticos ainda na fase de elaboração do PNPB, tendo em vista o foco em somente uma oleaginosa em, praticamente, cada região. Nessa perspectiva, podemos assinalar que a cultura da Mamona é a que apresenta maiores benefícios para as regiões Norte e Nordeste, dado que o óleo das palmáceas ainda está sendo testado por laboratórios e centros de pesquisas, além de apresentar um volume de produção incipiente, para se integrar na geração de biodiesel.

O Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA) desenvolveu um certificado denominado Selo Combustível Social, que outorga subsídios tributários aos produtores industriais de biodiesel que comprarem parcela de sua matéria-prima oriunda da agricultura familiar ou de cooperativas de pequenos produtores, principalmente das regiões do País já citadas anteriormente.

No objetivo de integração do PNPB com a agricultura familiar o governo falhou a partir dos resultados auferidos nos últimos anos até 2008, por não dimensionar corretamente os diferenciais de preço do óleo da mamona para produção de bi-

odiesel ou uso pela indústria química. Assim, mesmo com a contratação inicial de 2007 de cerca de 30 mil agricultores familiares da Região Nordeste, somente 5 mil venderam sua produção de oleaginosas a produtores de biodiesel, ou seja, pouco acima de 15% dos contratos foram efetivados. Essa dificuldade colocou em descrédito o programa nas regiões Norte e Nordeste, principalmente pela maior parte da sua produção basear-se na soja, que está mais ligada ao complexo agroindustrial exportador. Serve de exemplo o caso de empresas produtoras de biodiesel do Nordeste, que em 2007 produziram seu combustível alternativo a partir de soja importada da região Sudeste, e revenderam o óleo de mamona fornecido pelos pequenos produtores nordestinos para a indústria química. Ganharam na diferença de preço, além dos subsídios tributários dados pelo governo federal pelas empresas estarem instaladas no Nordeste e terem contratos de compras com pequenos produtores. Essa prática foi bem classificada pelos agricultores familiares de "atravessamento"[68] é uma forma das empresas produtores de biodiesel ampliarem sua margem de lucro através da intermediação do óleo de mamona com a indústria química.

Será preciso aguardar os resultados das três unidades industriais da Petrobras para geração de biodiesel com Selo de Combustível Social, para avaliar o nível de integração efetiva com a agricultura familiar dessas regiões. Das três unidades duas estão instaladas em Guamaré, no Rio Grande do Norte, desde 2005, e uma em Candeias, na Bahia, que de acordo com a empresa utilizarão o óleo de mamona na proporção de 30% com o óleo de girassol ambos fornecidos por agricultores familiares[69].

3.4.5 - Mercado interno de diesel mineral

Como o mercado de biodiesel é codependente da demanda de diesel mineral é importante avaliarmos seu mercado interno para projetarmos o percentual de participação que o biodiesel terá sobre esse mercado. A partir dos dados do Anuário Estatístico da ANP (2008), estamos tratando de um mercado de aproximadamente 39 milhões de m³ de óleo diesel refinados em 2007, sendo que esse representa 44% do conjunto de derivados energéticos do petróleo refinados no mesmo ano. Conforme a distribuição ilustrada abaixo.

---

[68] Visto em ABRAMOVAY (2009)

[69] Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/noticias/biodiesel-com-oleo-de-mamona-ja-e-realidade/, publicada em 08/09/2009.

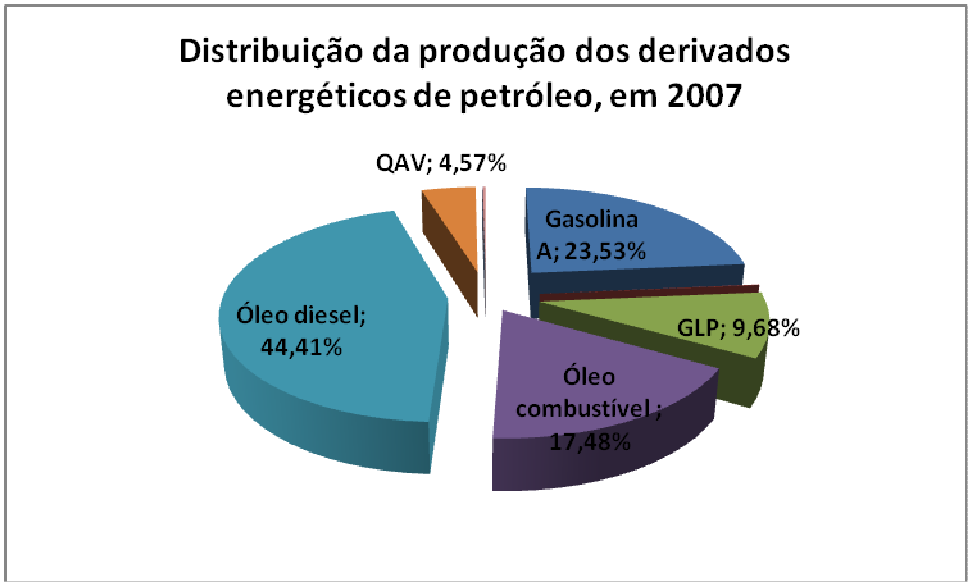

Gráfico 3 – Distribuição da produção dos derivados energéticos de petróleo, em 2007.

Fonte: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ANP, 2008.

A grosso modo, o óleo de diesel é consumido no Brasil por três setores distintos: transportes, que consome 75%; agropecuária, que responde por 16%; indústria de transformação, consumindo 5%, principalmente, para a geração de energia em regiões afastadas do País[70]. Nessa perspectiva, o biodiesel poderia ser aplicado na forma B100 em todo o consumo do setor agropecuário, com a aplicação direta em tratores e maquinários utilizados na produção agrícola. Isso proporcionaria maior benefício em termos de redução das emissões dos gases do efeito estufa, pois substituiria completamente o consumo do diesel mineral. Entretanto, o maior mercado consumidor de diesel – o setor de transportes – teria apenas uma participação residual porque o biodiesel seria adicionado ao óleo diesel na proporção de 5%. Mais especificamente, seria distribuído através dos milhares de postos de combustíveis para consumo de carros leves e transporte de carga, ou ainda nos transportes urbanos, como ônibus de passageiros.

Nesse ponto, podemos notar uma convergência de interesses entre os produtores de motores e autopeças e os produtores de diesel, na medida em que não manteriam as garantias dos seus equipamentos se fosse utilizado o biodiesel acima

[70] Disponível em: http://www.biodieselbr.com/biodiesel/diesel/disel-combustivel.htm.

do B5, apesar da proporção B100 ser utilizada largamente em outros países, como Alemanha.

Tendo em vista que 100% do óleo diesel é refinado, de acordo com a ANP, há 14 refinarias operacionais, sendo que destas 11 são da Petrobras, as quais representam mais de 98% da capacidade de refino nacional, sendo as outras três privadas. O parque de refino nacional possui uma capacidade diária de 307,6 mil m³ de derivados de petróleo energéticos, sendo que dessa capacidade a região Nordeste responde por 16%, com apenas 2 refinarias, e a região Norte com apenas 2,25% com 1 refinaria. Isso nos mostra que mais de 60% da capacidade de refinado está concentrado na região Sudeste, que também é a que apresenta maior demanda (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ANP, 2008).

A capacidade diária de refino assinalada acima corresponde a 110 milhões de m³ ao ano, mas somente 6,9% da produção efetiva pode ser armazenada pelas refinarias instaladas no país, correspondendo, aproximadamente, a 6.399 milhões de m³, e nesse requisito as regiões Norte e Nordeste possuem capacidade inferior a 12%. A região Sul possui cerca de 16,5% da capacidade de estocagem e, para completar, a região Sudeste concentra mais de 70% (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ANP, 2008).

De todo volume refinado em 2007, o óleo diesel representou a maior parte com 39 milhões de m³ processados e, também, notamos que a capacidade de refino está plenamente utilizada em praticamente todas as refinarias. O que indica necessidade de investimentos para ampliação dessa capacidade ao considerarmos o ritmo de avanço, dos últimos anos, da produção nacional de barris de petróleo dia (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ANP, 2008).

Apesar do volume de diesel processado nacionalmente ser significativo uma parcela do consumo é importada, representa aproximadamente 13% do óleo diesel refinado pelo país, ou seja, 5 milhões de m³ em 2007. Desse volume, em torno de 68% é oriundo da Ásia-Pacífica e da América do Norte. Notamos que de todos os derivados de petróleo energéticos importados, o diesel foi o mais representativo desde 1998, dado que respondeu por mais de 64% do volume importado em m³ desses derivados, ao ter em consideração uma mediana histórica dos últimos nove anos de 5.450 mil m³ (ANUÁRIO ESTATÍSTICO ANP, 2008).

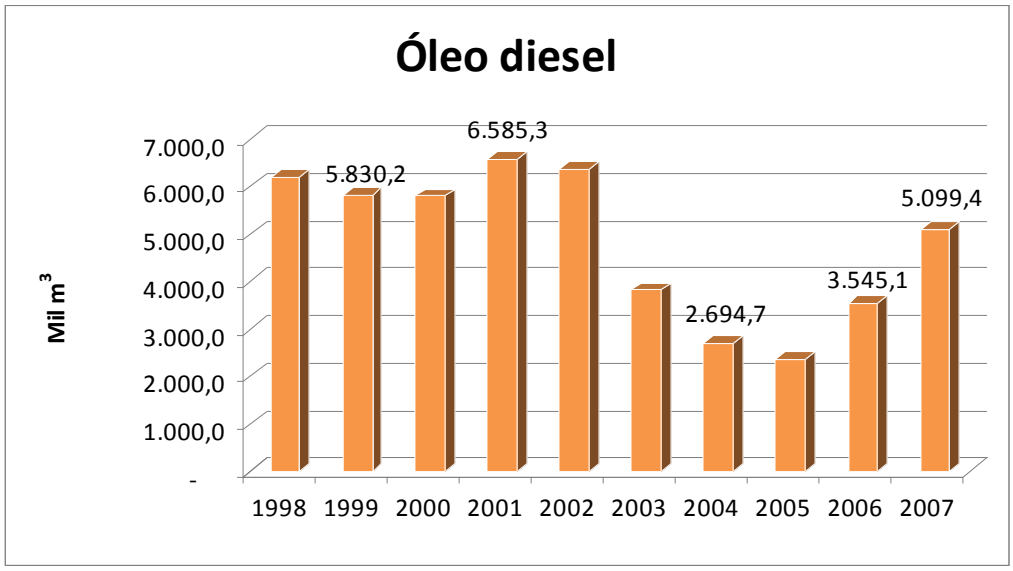

Gráfico 4 – Evolução da importação de óleo diesel (mil m³).

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir da Anuário Estatístico ANP, (2008).

Com base no gráfico, podemos perceber que com exceção dos anos de 2003 a 2005 o volume importado de diesel mineral foi, relativamente, estável, mesmo que, ao longo do mesmo período, a dependência externa de petróleo e derivados tenha tornado-se negativa, principalmente, pelo fato da produção de petróleo ser superior a demanda interna. De acordo com informações do Ministério de Minas e Energia (2004), esse percentual de importação deve se manter ao longo dos próximos anos, o que gera dispêndios da ordem de US$ 826 milhões/ano.

A partir dessas informações é possível resumir as perspectivas de consumo em torno de biodiesel por região do país tendo como referência a adição de 5% e 20% do biodiesel ao combustível fóssil, conforme a distribuição da tabela abaixo.

Tabela 11 – Demanda de Diesel e Previsão de consumo Biodiesel por Estado, com B5

Região/Estados	*Vendas de Diesel em 2007 (m3)*	*Estimativa Consumo Biodiesel (B5)*	*Participação no consumo Biodiesel*	*Estimativa Consumo Biodiesel (B20)*	*Nº de Base de Distribuição*
Brasil	**41.558.180**	**2.077.909**	**100,00%**	**8.311.636**	**570**
Região Nordeste	**6.214.428**	**310.721**	**14,95%**	**1.242.886**	**75**
Maranhão	779.812	38.991	1,88%	155.962	10
Piauí	334.863	16.743	0,81%	66.973	1
Ceará	660.767	33.038	1,59%	132.153	12
Rio Grande do Norte	358.010	17.900	0,86%	71.602	6
Paraíba	354.242	17.712	0,85%	70.848	4
Pernambuco	918.209	45.910	2,21%	183.642	12
Alagoas	315.257	15.763	0,76%	63.051	4
Sergipe	287.170	14.359	0,69%	57.434	3
Bahia	2.206.098	110.305	5,31%	441.220	23
Norte	**3.765.621**	**188.281**	**9,06%**	**753.124**	**65**
Rondômia	631.352	31.568	1,52%	126.270	15
Acre	123.674	6.184	0,30%	24.735	6
Amazonas	703.212	35.161	1,69%	140.642	8
Roraíma	55.766	2.788	0,13%	11.153	2
Pará	1.481.450	74.072	3,56%	296.290	27
Amapá	231.801	11.590	0,56%	46.360	1
Tocantins	538.366	26.918	1,30%	107.673	6
Centro-Oeste	**4.672.516**	**233.626**	**11,24%**	**934.503**	**70**
Mato Grosso do Sul	908.582	45.429	2,19%	181.716	12
Mato Grosso	1.663.249	83.162	4,00%	332.650	29
Goiás	1.732.372	86.619	4,17%	346.474	19
Distrito Federal	368.313	18.416	0,89%	73.663	10
Sudeste	**18.739.569**	**936.978**	**45,09%**	**3.747.914**	**241**
Minas Gerais	5.720.686	286.034	13,77%	1.144.137	37
Espírito Santo	872.670	43.634	2,10%	174.534	9
Rio de Janeiro	2.355.824	117.791	5,67%	471.165	29
São Paulo	9.790.389	489.519	23,56%	1.958.078	166
Sul	**8.166.045**	**408.302**	**19,65%**	**1.633.209**	**119**
Paraná	3.705.979	185.299	8,92%	741.196	66
Santa Catarina	1.867.867	93.393	4,49%	373.573	20
Rio Grande do Sul	2.592.199	129.610	6,24%	518.440	33

Fonte: Retirado do Relatório Final dos Subgrupos do GTI biodiesel, atualizado com base no Anuário Estátistico da ANP, 2008.

As previsões indicadas pela tabela 10 demonstram que a concentração do consumo, a partir das vendas realizadas pelas distribuidoras de combustível, ocorre nas regiões Sudeste e Sul do país. Ressalvando que não consideramos para efeito de cálculo o consumo do setor agropecuário, por não termos esse dado aberto por região, logo essa demanda é maior do que a indicada na tabela uma vez que o bio-diesel pode substituir 100% do diesel mineral usado pelo setor agropecuário.

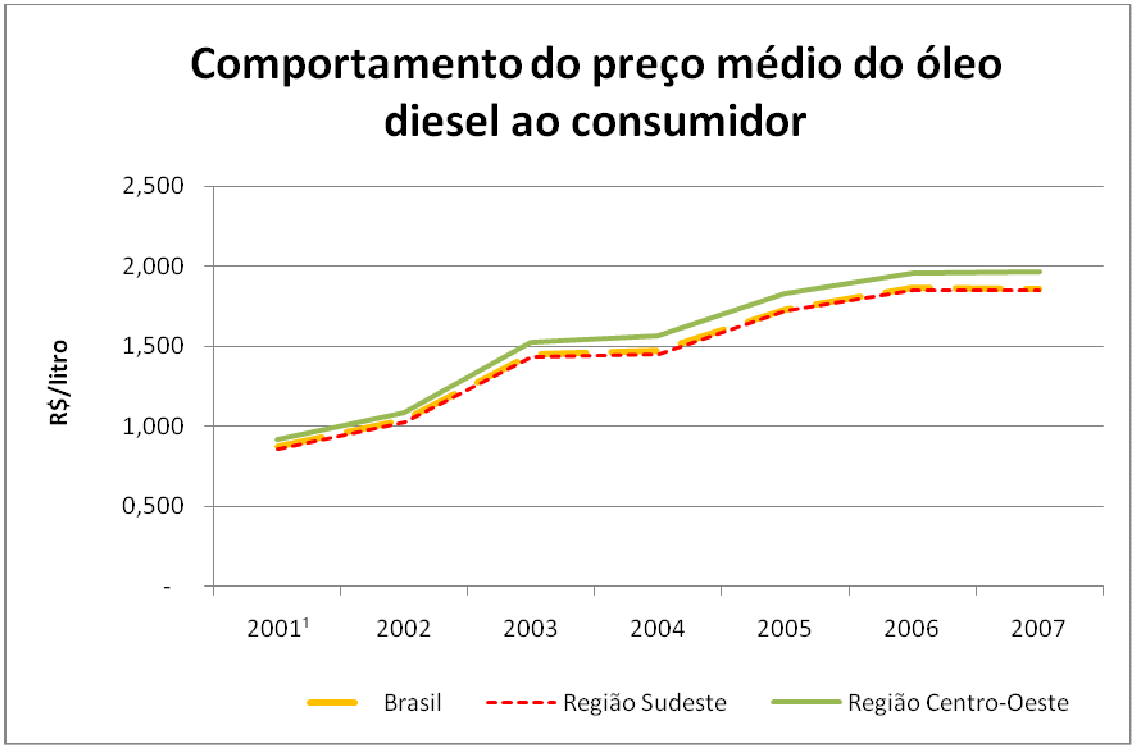

Gráfico 5 – Evolução dos preços médios do óleo diesel ao consumidor.

Fonte: elaborado pelo autor, com base no ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ANP, 2008.
Nota: preços a valores correntes.

A partir do comportamento dos preços ponderados de diesel mineral na venda ao consumidor é importante avaliarmos os custos de produção projetados pelo go-verno para comparações e avaliações sobre o nível de subsídio do preço do litro do biodiesel com o do diesel mineral. Segue abaixo a avaliação de custo desenvolvida pelo Subgrupo Incentivos, Financiamentos e Repercussões Econômicas do GTI do Biodiesel.

Tabela 12 – Avaliação dos custos e receitas dos óleos vegetais para a geração de biodiesel (2002)

Matéria-prima	Preço Saca (R$)	Custo Ton. (R$)	Produtividade óleo/ton. de grão (kg)	(a) Custo Moagem (R$)	(b) Custo/ton. grãos (R$)	(c) Receita da Torta (R$)	(d) Custo/ton. óleo (R$)*
Soja	35	583	200	180	2.915	-2.157	938
Mamona		400	500	72	800	-100	772

Fonte: Retirado do Relatório Final dos Subgrupos do GTI biodiesel (2002)
* O resultado foi calculado da seguinte forma: (d) = (a) +(b) + (c)

Conforme, visto em tabelas anteriores o nível de produtividade da mamona é de cerca de 2,5 vezes em relação a produtividade da soja, e nessa medida seu custo de produção é, significativamente, inferior, chegando a representar 82% do custo do biodiesel de soja.

Essa proporção se reflete diretamente nos preços ao consumidor, que para o B100 de soja seria de R$ 0,902 l e para o de mamona seria de R$ 0,761 l, contudo, para viabilizar comercialmente o óleo puro de mamona ou seu biodiesel seria preciso subsídios diretos aos produtores, uma vez que os preços oferecidos pela indústria química são muito superiores aos gerados pela venda como combustível, embora os custos de produção, a partir da mamona, sejam menores que os da soja (Relatório Final dos Subgrupos do GTI do Biodiesel, 2002).

Entretanto, o nível de preços que seria praticado no mercado de biodiesel, até a proporção de mistura do B5, em função da sua relação direta com o preço médio do diesel seguiria, a simulação abaixo.

Tabela 13 – Simulação de preços de B5

	Soja	Girassol	Mamona
B5 c/ diferimento Diesel R$ 1,397	1,407	1,394	1,400
Com diferimento Diesel R$ 1,353	1,367	1,354	1,360
Sem diferimento Diesel R$ 1,397	1,385	1,372	1,378
Sem diferimento Diesel R$ 1,353	1,346	1,333	1,339

Fonte: Retirado do Relatório Final dos Subgrupos do GTI biodiesel, 2002.

Nesse ponto constatamos que existe margem no preço em relação aos custos para o governo subsidiar a produção, conforme deseje que o biodiesel torne-se um foco rentável para os produtores de oleaginosas, principalmente, aos produtores de mamona. Ou mesmo, mantenha os níveis de preço do biodiesel acima do mercado

do diesel, para estimular o consumo do óleo mineral. Novamente é perceptível a diferença de preço do biodiesel de soja, quando comparado com o preço do biodiesel de mamona. Não é evidente essa diferença de custos de produção na etapa de comercialização do combustível com mistura vegetal. De acordo com MACEDO E NOGUEIRA (2005), o óleo de soja precisaria de um subsídio mínimo, que pode ser gerado a partir da renúncia fiscal dos impostos federais sobre produção, para tornar-se competitivo frente ao óleo diesel.

É importante levarmos em consideração na análise dessas simulações a evolução tecnológica, em termos de eficiência de conversão e produtividade, além da consolidação de um mercado de biodiesel ou óleo vegetal puro. Simultaneamente, devem impactar na redução dos preços avaliados nessa etapa inicial do PNPB, assim como ocorreu no caso do mercado do etanol. Cujo preço de produção na década de 1970 era, significativamente, superior ao praticado após 40 anos de funcionamento do mercado. Existe uma maior oscilação dos preços dos combustíveis alternativos, uma vez que são oriundos da produção agrícola sujeitas a interferências, principalmente, climáticas ao longo dos anos. Diferente do que ocorre com os poços de petróleo e a geração de seus derivados.

3.4.6 – Mapeamento da cadeia produtiva do biodiesel

Conforme o subtítulo referencia faremos uma abertura da cadeia para geração de biodiesel, logo o processamento de óleo puro não será avaliado. Somente o processo de cultivo, processamento industrial e comercialização do óleo vegetal misturado ao diesel mineral. A partir dessa análise, perceberemos a integração da cadeia de produção do combustível alternativo, com a cadeia de refino e distribuição do combustível não renovável. Em primeiro lugar vale ressaltar que em função dos resultados auferidos até 2008 será avaliada a cadeia completa somente da cultura da soja, que respondeu desde 2006 por quase a totalidade do biodiesel produzido no país.

3.4.6.1 – Cultivo e colheita da soja

O plantio da soja é uma das culturas que melhor caracteriza o modelo agroindustrial exportador, tanto em função das técnicas de produção aplicadas como da escala industrial, que apresentou na evolução da sua colheita nos últimos anos, principalmente, na região Centro-Oeste do país. Somente essa região respondeu por mais de 50% da safra 2005/06 – produção em torno de 53 milhões de toneladas de grãos. Dos quais mais de 75% foram exportados, sendo essa uma das principais características do agronegócio brasileiro. Com a mesma função de gerar divisas ao país que o modelo primário exportador que caracterizou a economia brasileira até meados do séc. XX[71] (BALANÇO NACIONAL DE CANA-DE-AÇÚCAR E AGROENERGIA, MAPA, 2007).

Tabela 14 – Síntese de dados técnicos da cultura da soja.

Item	Dado
Ciclo	105 a 135 dias (86 – 162)
Teor de óleo no grão	20% (18 – 21)
Teor de Farelo	72 – 79%
Produtividade média (grãos)	2,800 kg/há (1.800 – 4.000)
Rendimento em óleo vegetal	560 kg/há

Fonte: MAPA, 2007.

3.4.6.2 – Processamento industrial

Em função das dificuldades em torno de material sobre as etapas do processamento do óleo vegetal, a partir do grão de soja, iniciaremos a discussão analisando o momento em que óleo saiu da agroindústria sojeira e foi direcionado a uma usina de biodiesel. Lá, através do processo de transesterificação, converterá uma parte do óleo em biodiesel.

Abaixo segue um fluxograma do processo completo para conversão do óleo de soja em um éster que será adicionado ao diesel mineral, nas refinarias.

[71] Visto em FURTADO (2007).

Fluxograma do processo de transesterificação para conversão do óleo vegetal em biodiesel

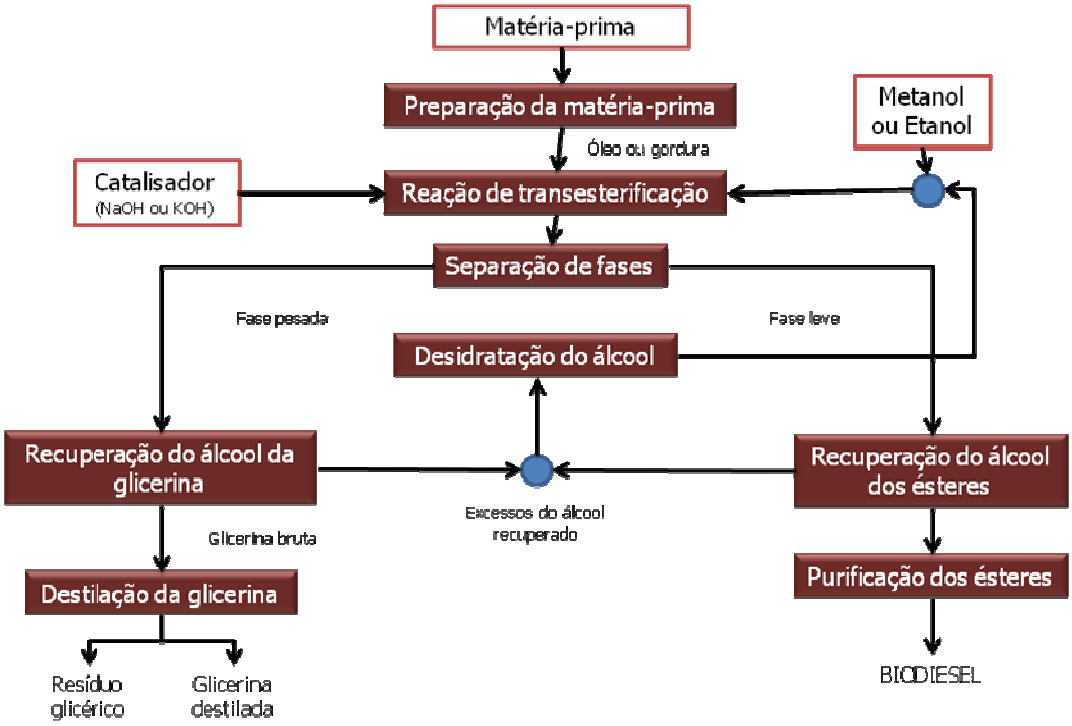

Figura 1 -

Fonte: elaborado pelo autor, com base no PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA 2006-2011.

Tão logo o óleo vegetal passe por esse processo estará apto a ser misturado com o óleo diesel, que é feito pelas refinarias em sua maior parte em poder da Petrobras, conforme descrito no mercado do diesel. O biodiesel produzido a partir desse processo tem utilizado álcool metílico para reagir com a matéria-prima, demonstrando que não há uma integração efetiva com a cadeia produtiva do etanol.

Até o ano de 2007 foram realizados cinco leilões de biodiesel pela ANP para atender e fomentar o consumo dos mercados regionais do país, com avanço progressivo do volume contratado em m^3 a partir de 2005. Apesar do 4º leilão ter sido o maior de todos representando mais de 62% do total contratado. Contratou-se o montante de 885 mil m^3 de biodiesel com maior concentração na região Nordeste (37,9%), sendo que as demais regiões tiveram níveis semelhantes de volume contrato que foi em torno de 17%. Com exceção da região Norte que ficou com a menor parcela. O preço médio por litro ficou acima de R$ 1,74 apenas nos primeiros leilões, apesar desse nível de preço estar aproximadamente 26% acima dos preços projetados no lançamento do PNPB. Mas, esse nível acima está ligado ao aumento dos preços do diesel mineral, que foram cotados em média a R$ 1,86/l no país, em 2007,

após apresentar um crescimento acumulado dos preços médios ponderados de 112%, desde 2001. É interessante constatarmos que do volume total contratado apenas 402 mil m^3 de biodiesel haviam sido entregues até 2007[72], que correspondeu a aproximadamente 45% do volume contratado originalmente. Em consequência dos atrasos no funcionamento efetivo das unidades produtoras (UP) com destaque para a Brasil Biodiesel, nas regiões Norte, Nordeste e Sul; Granol, nas regiões Centro-Oeste e Sudeste; Charqueada, na região Sudeste, que representam um universo de menos de 20 empresas com capacidade de produção. (BALANÇO NACIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR E AGROENERGIA – MAPA, 2007).

A partir da tabela 14 é possível avaliar a evolução da capacidade de produção de biodiesel, logo após a mistura ao óleo diesel ter se tornado obrigatória na proporção do B2.

Tabela 15 – Capacidade potencial para produção nacional de biodiesel.

Tipo de empreendimento	Capacidade produtiva Estimada	
	2006	**2007**
Produtores instalados em operação (5)	48,10	48,10
Produtores instalados sem regularização (14)	125,60	125,60
Ampliação de produtores já instalados (5)	146,80	146,80
Projetos em elaboração (16)	380,00	811,00
Total (mil de litros)	**700,50**	**1.131,50**

Fonte: Retirado do PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA 2006 – 2011, 2006.

Quando analisamos os dados de produção e capacidade instalada fornecidos pela ANP vemos que houve uma evolução significativa das unidades produtoras com capacidade para produção de biodiesel nas cinco regiões do país somando um total de 45 UP. Com maior concentração na região Centro-Oeste, 17 UP, e logo após a região Sudeste, 13 UP, que somadas detem mais de 66% das unidades de produção. Com a soma das capacidades individuais chegamos numa disponibilidade nominal de 2.475 milhões de m^3/ano para produção de biodiesel, que representa aproximadamente 119% da demanda projetada para a demanda interna do B5. En-

[72] Segundo ABRAMOVAY (2009).

tretanto, foram processadas somente 402 mil m^3 de biodiesel em 2007, ou seja, apenas 16,25% da capacidade instalada (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ANP, 2008).

Se avaliarmos a produção por UP perceberemos que apenas 26 foram responsáveis pela produção global de biodiesel, e que o máximo utilizado da capacidade instalada foi de 61% pela UP da Brasil Ecodiesel de Itaquara (BA). E a média de uso não chegou a 30% entre as UP, que utilizaram mais de 5% da sua capacidade instalada (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ANP, 2008). Logo, se por um lado, formou-se um parque industrial razoável para produção de biodiesel em poucos anos, esse não está ainda sendo plenamente utilizado. Comparando essa capacidade com o potencial de expansão da demanda em um mercado de mistura com B20 notaremos que a capacidade instalada precisará ampliar quase no mesmo nível da média entre 2006 e 2007. As regiões Norte e Nordeste responderam por ¼ da capacidade de produção nacional, e a região Centro-Oeste apresentou o maior nível de capacidade instalada, representando cerca de 30% do potencial nominal para produção. Entre as cinco regiões somente a região Sudeste apresentou necessidade de importação de biodiesel, em função da sua capacidade instalada ainda estar abaixo da sua demanda projetada, que corresponde a 45% da demanda interna.

Não é mera coincidência o fato da maior capacidade instalada para produção de biodiesel estar concentrada no Centro-Oeste, uma vez que concentra também a estrutura agroindustrial da soja.

3.4.6.3 – Armazenamento e comercialização

Após a conversão do óleo vegetal em biodiesel passa a compor a estrutura logística de armazenamento e distribuição do diesel mineral, a qual já tratamos anteriormente, mas aprofundaremos alguns pontos importantes. Com relação a capacidade de armazenamento – as refinarias da Petrobras representam quase a totalidade do óleo diesel - e consequentemente, da mistura com óleos vegetais do país. Todavia, o volume de diesel mineral refinado, correspondeu a 41,6 milhões m^3 em 2007, é distribuído por 161 distribuidoras autorizadas pela ANP. Dessas seis empresas respondem por mais de 78% do mercado de distribuição, e apenas a participação da BR com o Grupo Ipiranga – CBPI já representam quase 55% do mercado. Portanto, a primeira vista podemos inferir um certo nível de concentração do merca-

do de comercialização do biodiesel, com algum poder de influência política em virtude do poder concentrado pela Petrobras. Vale ressaltar também que a distribuição das bases distribuidoras não ocorre de forma equânime entre as cincos regiões do país (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ANP, 2008).

As distribuidoras não comercializam o combustível ou óleo direto com o consumidor, cuja distribuição é feita por mais de 35 mil postos revendedores em todo o país. Nesse quesito a região Sudeste é largamente a maior detentora de postos ao concentrar em torno de 43% do total de revendedores, e logo atrás as regiões Sul e Centro-Oeste dividem o mesmo nível, de aproximadamente 20% (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ANP, 2008). Seguindo esse raciocínio, apesar dos postos BR estarem presentes em todos os estados das regiões Norte e Nordeste seu número não é suficiente para suprir o abastecimento sem gerar dificuldades em deslocamentos de longas distâncias. O que permite a comercialização clandestina de combustível. Também não precisamos aprofundar, demasiadamente, a ressalva de que a maioria dos postos realizam, comumente, práticas de cartel, sendo mais uma elemento para ilustrar as diversas distorções de preços que ocorrem no segmento petrolílfero. A partir, de uma análise kaleckiana constataríamos sem grandes esforços elevados níveis de mark-up praticados em diferentes etapas da cadeia produtiva do petróleo e seus derivados.

3.4.7 – Efeitos do biodiesel sobre ecossistemas nacionais

Realizar uma avaliação completamente objetiva sem tangenciar os lados extremados entre produtores de soja e ambientalistas é uma tarefa árdua e com poucas publicações no país. Logo, faremos uma abordagem de alguns impactos considerados expressivos ao longo de décadas de expansão da cultura da soja na fronteira agrícola do país.

O impacto direto gerado pela expansão na forma de monocultura da soja, principalmente, sobre os ecossistemas do Cerrado e da Floresta Amazônica são sentidos a cada década com maior intensidade. De acordo com o Atlas da Questão Agrária Brasileira, entre as décadas de 1990 e 2000 foram identificados aumentos do nível de concentração fundiária em todas as regiões com produção agrícola, e, principalmente, na região do Centro-Oeste, onde o Estado do Mato Grosso responde

pela maior parcela da produção de soja em grãos. Avaliando o índice de Gini[73] em 2003 foram constatados em mais de 76% dos municípios brasileiros níveis de concentração fundiária entre 0,501 e 0,800, correspondendo a 83% da área global dos imóveis rurais. Somente 6% da área total dos imóveis rurais apresentou um índice de Gini abaixo de 0,500 (REPÓRTER BRASIL, 2009).

Esses efeitos em termos fundiários ilustram uma das principais características do modelo agroindustrial exportador da soja, que de acordo com visões promovidas por técnicos da EMBRAPA, necessita de uma escala de produção elevada, portanto seu cultivo deve ocorrer em grandes extensões de terras, não sendo uma cultura alimentar e energética recomendada para a agricultura familiar ou pequenos produtores em geral.

A expansão da fronteira agrícola do país foi estimulada pelo regime militar na década de 1970, e a soja foi uma das culturas que se alastrou pelo cerrado brasileiro rapidamente, tanto que desde a década de 1990 a região de maior produção passou a ser a Centro-Oeste, em detrimento da região Sul – cuja produção expressiva nota-se somente no Paraná. A partir do último censo agropecuário realizado pelo IBGE podemos comparar a evolução de alguns indicadores entre 1996 e 2006, quando comparamos a evolução das áreas ocupadas por lavouras, matas e florestas, observamos que a área ocupada por lavouras em todo o país dobrou – em termos absolutos significou o incremento de 6,3 milhões de ha -, enquanto a área ocupada por florestas e matas sofreu uma redução de 10% - significando uma perda de 3,3 milhões de ha. Segundo REPÓRTER BRASIL (2009)[74], se mantido o ritmo de expansão do cultivo da soja no cerrado calculou-se uma perda de 4 milhões de ha a cada década, que resultaria na metade do século em uma área desmatada equivalente a metade do Estado de Goiás. Apesar da gravidade indicada pelos números, é difícil de mensurar a dimensão do impacto em relação a perda de biodiversidade de um dos ecossistemas equilibrados da flora e fauna brasileira.

Nessa perspectiva, outra área de expansão da plantação de soja que gera preocupações diz respeito a regiões da Amazônia Legal. A partir da “Moratória da Soja”, promovida pela ABIOVE e a Associação Nacional dos Exportadores de Cere-

---

[73] De forma análoga ao índice usado para analisar o nível de concentração de renda, quanto mais próximo de 1 maior será a concentração fundiária no caso analisado, e logo uma quantidade mais expressiva de grandes propriedades rurais em detrimento de pequenas propriedades.
[74] Com base em estudo publicado pelo professor Manuel E. Ferreira em 2009.

ais (ANEC), foi possível monitorar os principais polígonos do desmatamento da floresta. Foram identificados plantios de soja em pelo menos 12 polígonos, sendo que os municípios identificados com problemas na plantação de soja, praticamente, todos integram a lista dos que mais desmataram a Floresta Amazônica em 2008 (REPORTÉR BRAISL, 2009).

A título de cálculo podemos simular o nível necessário para expansão do plantio da soja em função da demanda por biodiesel, a partir da relação de que a cada um litro de biodiesel são necessários aproximadamente 5,2 m^2 ao ano de lavoura de soja[75]. Simulando a participação de 70% na geração de biodiesel a partir do óleo de soja e a demanda projetada para o B5 teríamos uma expansão superior a 756 mil ha, e no caso da demanda projetada para o B20 a expansão seria superior a 3 milhões de ha, correspondendo a cerca de 14% da área plantada na safra 2006/07. Como última hipótese se houvesse a substituição plena do consumo de óleo diesel pelo óleo vegetal puro a área incremental necessária para produção de soja seria de aproximadamente 15% de toda a área agricultável disponível para expansão da fronteira agrícola brasileira – em torno de 100 milhões de ha, de acordo com a EMBRAPA. Portanto, não nos parece equivocado discutir riscos implícitos a expansão da fronteira agrícola de culturas energéticas em detrimento da área cultivada por culturas alimentares, ou ainda áreas ocupadas por matas e florestas.

A monocultura da soja também gera impactos significativos em relação ao uso excessivo de agrotóxicos e fertilizantes, que reduzem a capacidade de regeneração do solo, e segundo relatos de produtores não seria possível manter o rendimento médio da produção de soja sem o uso de agrotóxicos proibidos[76].

Um impacto ambiental que passa desapercebido entre os diversos enumerados até então refere-se a segurança alimentar. Nesse sentido PORTO-GONÇALVES é taxativo:

“A monocultura de alimentos (e outras) é, em si mesma, a negação de todo um legado histórico da humanidade em busca da garantia da segurança alimentar na medida em que, por definição, a monocultura não visa a alimentar quem produz

---

[75] Estudo do Engenheiro Otávio Cavalett em Repórter Brasil (2009).

[76] Estudo de caso apresentado pelo Repórter Brasil (2009), com relato de agricultores como o sojicultor Eduardo Peixoto, que afirma não ser possível combater a ferrugem asiática sem o uso de agrotóxicos proibidos (REPÓRTER BRASIL.O Brasil dos agrocombustíveis – Soja e Mamona 2009, p.22).

e, sim, a mercantilização do produto.“ (PORTO-GONÇALVES (2006), *A globalização da natureza e a natureza da globalização*. p. 213)

Ao longo dos séculos o modelo agroindustrial centraliza sua produção de alimentos com base em algumas culturas rentáveis e comercializadas internacionalmente. Essa homogeneização coloca em risco a alimentação, principalmente, das populações mais pobres, que não possuem renda suficiente para suportar oscilações drásticas dos preços relativos das *commoditties*.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio da abertura dos modelos bioenergéticos brasileiros é possível nesse ponto chegar em uma resposta ao questionamento motivador da realização desse trabalho, que era identificar o nível de sustentabilidade desses modelos em relação aos seus efeitos ambientais e econômicos.

Em primeiro lugar, constatamos que a produção de biocombustíveis baseia-se na energia geradora de quase toda a riqueza, que o modo econômico extrai para satisfazer as necessidades demandadas pela sociedade, cuja emissão provem do Sol de forma cotidiana e gratuita. Sendo ele a mola mestra de reprodução do fluxo energético como um todo. Como Soddy já havia constatado no século XVIII, diferentemente, dos recursos não-renováveis a energia proveniente da geração de biomassa é cotidianamente renovada pela energia solar, que estimula o desenvolvimento vegetal das plantas cultivadas pelo ser humano ou pela natureza.

Em segundo lugar, é notável os impactos ambientais de caráter degradante gerados pela evolução do cultivo de cana-de-açúcar e de soja, e ainda pelo seu processamento industrial para geração de combustível renovável. Principalmente, a expansão intensiva da fronteira agrícola brasileira estimulada pela cultura da soja sobre ecossistemas maduros e complexos de relevância para o equilíbrio ambiental do Planeta. Especificamente, os ecossistemas do Cerrado e da Floresta Amazônica, que sofrem perdas a cada ano, devido, a expansão das áreas ocupadas por lavouras e pastagens. Assim como, os riscos implícitos à escala industrial exigida para produção das culturas energéticas, na medida que o modelo agroindustrial exportador afeta a biodiversidade dos biomas e sua capacidade de regeneração.

Em terceiro lugar, há uma contradição intrínseca à forma como os biocombustíveis são consumidos. Como vimos, tanto o etanol como o biodiesel são usados, geralmente, em misturas com combustíveis fósseis - como gasolina e diesel mineral – ao invés de substituí-los efetivamente. Logo, seu caráter alternativo é questionável uma vez que assume uma função coadjuvante perante aos derivados de petróleo. Além do nível necessário para produção das culturas energéticas ser, significativamente, superior a área ocupada (como vimos na simulação do biodiesel de soja), caso passassem a substituir plenamente o consumo de combustíveis não-renováveis.

Em quarto lugar, não consideramos como definitivo os níveis de eficiência apresentados nos balanços energéticos formulados por autores como GOLDEMBERG (1982) e MACEDO (2004) por não considerarem em seus respectivos balanços impactos indiretos, tais como: desmatamento de florestas primárias por meio da pecuária; consumo de água nas etapas de cultivo e processamento industrial; perda da biodiversidade em função da expansão da monocultura; resíduos gerados na conversão em biocombustível, que não são completamente reutilizados, como o vinhoto no caso da cana. Porém, a forma como as relações inputs/outputs são vistas pelos autores citados, ao considerarem apenas o fluxo de consumo energético que incide diretamente sobre as etapas agrícolas e industriais, gera indicadores superficiais em termos de eficiência energética. Sendo que são desconsiderados impactos qualitativos, como os oriundos do trabalho excessivo na etapa de corte da cana-de-açúcar, responsáveis pela desestruturação da saúde da maioria dos trabalhadores "bóias-frias".

Em quinto lugar, é perceptível a dificuldade de ambos modelos produtivos realizarem seu papel social em integrar a produção agrícola proveniente da agricultura familiar na sua cadeia produtiva. Uma vez que tanto o Proálcool como o PNPB fracassaram no uso de matérias-primas produzidas pela agricultura familiar para geração de uma parcela dos biocombustíveis, e a cadeia de ambos os modelos voltou-se para culturas produzidas a partir do modelo agroindustrial exportador. Cujo estímulo gerado pelo Estado resultou em maior concentração econômica e fundiária no campo.

Logo, a partir do modelo produtivo para geração de biocombustíveis resultante do processo histórico e avanço tecnológico, considerando seus inúmeros impactos assinalados e seu saldo líquido em termos de balanço energético, podemos classificá-lo como insustentável, e nessa medida sua contribuição para redução da emissão de GEE e no estímulo rumo a um modelo produtivo sustentável é limitada e questionável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA Jalcione. *A problemática do desenvolvimento sustentável. In: Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade? Santa Cruz do Sul: EDUNISC,* 1997*. p. 17-26.*

ARÁUJO, A. B. *O meio ambiente no Brasil: alguns aspectos econômicos*. Rio de Janeiro: IPEA, 1979.

ABRAMOVAY, Ricardo. *Biocombustíveis - A energia da controvérsia*. São Paulo: Editora Senac, SP, 2009, 184p.

ASSIS, Wendell F. T. *Despoluindo incertezas: impactos territoriais da expansão de agrocombustíveis e perspectivas para uma produção sustentável*. Belo Horizonte: O Lutador, 2007. 72 p.

BANCO MUNDIAL. Informe Sobre el Desarrollo Mundial 1992 - *Desarrollo y Medio Ambiente.* Washington: Banco Mundial, 1992.

BARBIERI, José C. *Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21*. 9. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2008.

BECKER, Dinizar F. *Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade?* 4. ed. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002, p.241.

BUENO, Ricardo. *Pró-álcool: rumo ao desastre*. 3. ed. Petrópolis: Revista Vozes, 1981. p.70.

BRASIL. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. *Biocombustíveis*. Brasília: 2005 (Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Caderno nº. 2, janeiro 2005).

BRASIL. Conselho para Assuntos de Energia – COASE. *Avaliação do PRO-ÁLCOOL II.* Confederação Nacional da Indústria (CNI), editado por COASE, Coleção José Ermírio de Moraes, 78 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Plano nacional de agroenergia 2006-2011*. Brasília: MAPA, 2ª ed. revisada; 2006.

_____. *Cadeia produtiva da agroenergia.* Brasília: MAPA/SPA, 2007. 110 p.

_____. *Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia*. Brasília: MAPA; 2007.

_____. *Anuário estatístico da agroenergia*. Brasília: MAPA; 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). *Anuário estatístico ANP*. Brasília: ANP, 2008.

CAMPBELL, Colin J. Oil Crisis. Bretwood: Multi-Science Publishing, 2005.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: FGV, 2. ed 1991. 430 p.

DEAN, Warren. *Rio Claro: um sistema brasileiro de Grande Lavoura, 1820-1920*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977. 205.p.

_____. *A Ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*. São Paulo: Companhia das Letras, 1995. 484 p.

ELY, Aloísio. *Economia do meio ambiente: uma apreciação introdutória interdisciplinar da poluição, ecologia e qualidade ambiental*. 4. ed. Porto Alegre: FEE, 1990.

_____. *Desenvolvimento Sustentado e Meio Ambiente: uma abordagem holística e integrada da política, da economia, da sociedade e da natureza*. Porto Alegre: FEPLAM, 1992.

COSTA FILHO, Miguel. A cana-de-açúcar em Minas Gerais. Rio de Janeiro: IAA,1963.

FOLETTO, César. *Biodiesel: perspectiva econômica para implementação no Brasil*. Trabalho de Conclusão. Porto Alegre: 2007. FCE - UFRGS, Bacharelado em Ciências Econômicas.

FOSCHIERA, Irineu Pedro. *O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: impactos e perspectivas.* Trabalho de Conclusão. Porto Alegre: 2008. IFCH - UFRGS, Bacharelado em Ciências Sociais.

FOSTER, John B. *A ecologia de Marx: materialismo e natureza.* Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2005.

FURTADO, Celso M. *Formação econômica do Brasil.* São Paulo: Companhia das Letras, 34 ed., 2007.

GERHARDT, Cleyton H. *Agricultores familiares, mediadores sociais e a problemática ambiental.* Porto Alegre: Sulina, 2004. p. 137-158.

GOLDEMBERG, José. *Energia para o desenvolvimento*. São Paulo: T.A. Queiroz, 1988. 101 p.

GUTERRES, Ênio. *Biodiesel e biocombustível: energia, alimento, trabalho e renda para o Brasil e para o mundo.* Porto Alegre: Pontocom Gráfica e Editora Ltda, 2006. 34 p.

KALECKI, Michal. *Teoria da dinâmica econômica: ensaio sobre as mudanças cíclicas e a longo prazo da economia capitalista*. São Paulo: Abril Cultural, 1983. 415 p.

_____. *Economias em desenvolvimento*. São Paulo: Vértice, 1988. 204 p.

LOPES, Luiz Antonio. *Desenvolvimento Sustentável - Uma Análise do Álcool como Alternativa Energética*. Tese de Doutorado. Campinas/SP: 1999. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

LOVELOCK, James. Gaia: cura para um planeta doente. Tradução Aleph Teruya Eichemberg, Newton Roberval Eichemberg. São Paulo: Cultrix, 2006.

MACEDO, Isaías de Carvalho; NOGUEIRA, Luiz Augusto H. *Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, jul. 2004.

MARINHO JUNIOR, Ilmar P. *Petróleo: política e poder: um novo choque do petróleo?* Rio de Janeiro: José Olympio, ix, 1989. 468 p.

MARX, Karl. O capital: critica da economia política. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2008. 3 v. em 6: il.

MAY, Peter Herman & MOTTA, Ronaldo Serôa. *Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1994.

MARTÍNEZ ALIER, Juan; SCHLÜPMANN, Klaus. La ecología y la economía. 1. ed. México: Fondo de Cultura Económica, 1991.

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

MEADOWS, D. L. *Limites do crescimento: um relatório para o projeto do clube de Roma sobre o dilema da humanidade*. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 1978.

MELO, Fernando H. de. *Proálcool, energia e transportes*. São Paulo: FIPE, 1981, 163 p.

MUELLER, C. C. *Economia e meio ambiente na perspectiva do mundo industrializado: uma avaliação da economia ambiental neoclássica*. Estudos Econômicos. São Paulo: v.6. n. 2 mai-ago 1996. p. 261-304.

_____. *Problemas ambientais de um estilo de desenvolvimento: a degradação da pobreza no Brasil*. Brasília: Ambiente e Sociedade, 1997.

_____. *Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente.* Brasília: Editora Universidade de Brasília - Finatec, 2007.

NEUTZLING, Daiane M.. *Sustentabilidade em uma cadeia de biodiesel no Rio Grande do Sul com foco na agroindústria produtora.* Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: 2009. Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios. Programa de Pós-Graduação em Agronegócios - UFRGS.

OLIVEIRA, Lívio Luiz S. de; PORTO, Sabino da S. *O desenvolvimento sustentável e a contribuição dos recursos naturais para o crescimento econômico: uma aplicação para o Brasil.* In: Texto para discussão: UFRGS/FCE/PPGE. Porto Alegre: UFRGS/FCE/PPGE, 2004. p. 1-20.

OLIVEIRA, Lucas K. *Petróleo e Segurança Internacional: Aspectos Globais e Regionais das Disputas por Petróleo na África Subsaariana.* Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Relações Internacionais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2007.

PLA, Juan Vicente Jose Algorta. *Existe viabilidade econômica para o biodiesel no Brasil?* Indicadores Econômicos FEE. Porto Alegre, v. 32, n. 4. p. 271-294, mar., 2005.

PORTO-GONÇALVES, Carlos W. A globalização da natureza e a natureza da globalização. Civilização Brasileira, editora Record Ltda, 1. ed, Rio de Janeiro, 2006.

RAMBO, Anelise Graciele. *Desenvolvimento territorial: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel x Projeto Microdestilarias.* In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. Rio Branco: SOBER, 2008. CD-ROM.

ROSILLO-CALLE, Frank; BAJAY, Sergio V. e ROTHMAN, Harry. *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira.* São Paulo: Editora da UNICAMP, 2005.

SACHS, Ignacy. Ecodesenvolvimento: Crescer sem Destruir. São Paulo: Vértice, 1986.

_____. Caminhos para o Desenvolvimento sustentável. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

_____. Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

_____. *Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento*. Paulo Freire Vieira (org.). São Paulo: Cortez, 2007.

SANTOS, Omar Inacio Benedetti. *Modelo para avaliação dos limites da viabilidade do biodiesel no Brasil*. In: XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER. Fortaleza: XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006. [Anais do Congresso da] SOBER: questões agrárias, educação no campo e desenvolvimento. Fortaleza: SOBER, 2006. CD-ROM.

SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL, 18. 1985. Brasília. *Anais do I Simpósio Nacional sobre Álcool Combustível*. Brasília: Realizado pela comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados, no período de 18 a 20 de outubro de 1983, Coordenação de Publicações, 1985.

TUBINO, Luam de O.; ZAMORA, Martin. *Agrocombustíveis: estratégia de eesenvolvimento tecnológico regional ou fortalecimento do modelo agrícola vigente?* Artigo apresentado em XXVI Jornadas de Jóvenes Investigadores e la Asociación de Universidades del Grupo de Montevideo, Montevideo, AUGM: 2008. 11 f.

ANEXO I

Comparação entre a economia e a ecologia convencionais e a economia ecológica:

	Economia Convencional	***Ecologia Convencional***	***Economia Ecológica***
Visão Básica de Mundo	- Mecanicista, estática, atomística; - Gostos e preferências individuais tomados conforme expressas e consideradas como a força dominante. - A base de recursos considerada como sendo essencialmente ilimitada devido ao progresso técnico e à bustitubilidade infinita	- Evolucionária, atomística; - Evolução atuando em nível genético considerada força dominante. A base de recursos é limitada. Seres humanos são só mais uma espécie, mas raramente estudada.	- Dinâmica, sistemática, evolucionária; - Preferências humanas, compreendendo que a tecnologia e a organização co-evoluem para refletir amplas oportunidades e limitações ecológicas. Seres humanos são responsáveis por compreenderem seu papel detnro do sistema maior e por gerenciarem-no para a sustentabilidade.
Quadro temporal	- Curto; - 50 anos no máximo;	- Escala múltipla; - Dias e eras, mas escalas temporais muitas vezes definem subdisciplinas que não se comunicam.	- Escala múltipla; - Dias e rãs, síntese em escala múltipla
Objetivo micro principal	- Max. Lucros (firmas); - Max. Utilidade (individuos); - Todos os agentes seguindo micro objetivo levam à realização do macro objetivo. Custos e benefícios externos são superficialmente reconhecidos mas não são geralmente levados em conta.	- Max. Sucesso reprodutivo; - Todos os agentes seguindo micro objetivos levam à realização do macro objetivo.	- Precisa se ajustado para refletir os objetivos do sistema; - Organização social e instituições culturais em níveis mais elevados da hierarquia espaço-tempo aperfeiçoam os conflitos produzidos pela busca míope de micro objetivos em níveis mais baixos e vice-versa.

ANEXO II

Especificação preliminar do biodiesel, Portaria ANP 255/2003:

Características	Unidades	Limites	Métodos	
			ABNT NBR	*ASTM D*
Ponto de fulgor, mín.	ºC	100	14598	93
Água e sedimentos, máx.	% volume	0,05	-	2709
Viscosidade a 40ºC	mm^2/s	Anotar	10441	445
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,02	9842	874
Enxofre total, máx.	% massa	0,001		5453
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 ºC, máx.	-	1	14359	130
Número de Cetano, mín.	-	45	-	613
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	ºC	função da região e do mês	14747	6371
Resíduo de carbono, máx.	% massa	0,05	-	4530
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,8	14448	664
Glicerina livre, máx.	% massa	0,02	-	6584
Glicerina total, máx.	% massa	0,38	-	6584
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas	-	-
Destilação; 95% vol. Recuperado, máx.	ºC	360	-	1160
Massa específica a 20 ºC	kg/m^3	Anotar	7148, 14065	1298
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,5	-	-
Índice de iodo, máx.	% massa	Anotar	-	-
Monoglicerídeos, máx.	% massa	1	-	6584
Diglicerídos, máx.	% massa	0,25	-	6584
Triglicerídos, máx.	% massa	0,25	-	6584
Sódio + potássio, máx.	mg/kg	10	-	-
Fósforo, máx.	mg/kg	10	-	4951
Estabilidade à oxidação a 100 ºC, mín	H	6	-	-

ANEXO III

	Ocupação da Cana	Produção e produtividade da Cana-de-açúcar no Brasil		Produção de Bagaço e Caldo de cana		
Ano	Área Colhida (mil hectares)	Produção de cana (mil ton.)	Produtividade - Ton/há	Prod. Bagaço (mil ton.)	Prod. Caldo (mil ton.)	Geração potencial de palha (mil ton.)
1975	1.969	91.525	46,48			19.692
1976	2.093	103.173	49,28			20.935
1977	2.270	120.082	52,90			22.700
1978	2.391	129.145	54,00			23.915
1979	2.537	138.899	54,75			25.370
1980	2.608	148.651	57,01			26.076
1981	2.826	155.924	55,18			28.259
1982	3.084	186.647	60,52			30.843
1983	3.479	216.037	62,10			34.788
1984	3.656	222.318	60,81			36.558
1985	3.912	247.199	63,19			39.120
1986	3.952	239.178	60,52			39.518
1987	4.314	268.741	62,29			43.141
1988	4.117	258.413	62,76			41.174
1989	4.076	252.643	61,99			40.758
1990	4.273	262.674	61,48	54.776.000	99.776.000	42.726
1991	4.211	260.888	61,95	58.801.000	112.673.000	42.110
1992	4.203	271.475	64,60	62.002.000	99.358.000	42.026
1993	3.864	244.531	63,29	60.584.000	94.029.000	38.637
1994	4.345	292.102	67,22	70.543.000	98.986.000	43.453
1995	4.559	303.699	66,61	69.847.000	95.510.000	45.591
1996	4.750	317.106	66,75	73.632.000	105.627.000	47.503
1997	4.814	331.613	68,88	82.039.000	118.285.000	48.141
1998	4.986	345.255	69,25	82.183.000	101.921.000	49.858
1999	4.899	333.848	68,15	82.487.000	88.171.000	48.988
2000	4.805	326.121	67,88	66.309.000	73.030.000	48.045
2001	4.958	344.293	69,44	78.040.000	72.919.000	49.579
2002	5.100	364.389	71,44	87.230.000	76.974.000	51.004
2003	5.371	396.012	73,73	97.321.000	89.149.000	53.710
2004	5.632	415.206	73,73	101.795.000	92.024.000	56.317
2005	5.806	422.957	72,85	106.470.000	97.941.000	58.055
2006	6.355	477.411	75,12			63.555
2007	7.081	549.707	77,63			70.809
2008	8.920	648.850	72,74			89.200

Fonte: Anuário Estatístico da Agroenergia - MAPA, 2009.