



**Encontro da Sociedade
Brasileira de Economia
Ecológica**

Brasília, 4 a 8 de Outubro de 2011

Políticas Públicas e a Perspectiva da Economia Ecológica

IX ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO
Outubro de 2011
Brasília - DF - Brasil

**ESTIMATIVA DA DINÂMICA DOS FLUXOS ENERGÉTICOS DA PRODUÇÃO DE SOJA EM
PRIMAVERA DO LESTE (MT): UMA ANÁLISE ECONÔMICO-ECOLÓGICA**

ELISAMA FONSECA DE CARVALHO (UFMT) - ellisaama@gmail.com
ECONOMISTA, MESTRANDA EM AGRONEGÓCIOS E DESENVOLVIMENTO (PPG-ADR/UFMT)

ALEXANDRE MAGNO DE MELO FARIA (UFMT) - dr.melofaria@gmail.com
PROFESSOR ADJUNTO II, FACULDADE DE ECONOMIA

DILAMAR DALLEMOLE (UFMT) - ddilamar@hotmail.com
PROFESSOR ADJUNTO II, FACULDADE DE ECONOMIA

ESTIMATIVA DA DINÂMICA DOS FLUXOS ENERGÉTICOS DA PRODUÇÃO DE SOJA EM PRIMAVERA DO LESTE (MT): UMA ANÁLISE ECONÔMICO-ECOLÓGICA

Temas conceituais: relações entre economia ecológica, sociedade, natureza, conhecimento, poder, instituições e direito

RESUMO: Mato Grosso é o maior estado produtor de soja do Brasil e o município de Primavera do Leste concentra cerca de 5% da soja regional. O objetivo desse trabalho foi determinar do ponto de vista econômico e ecológico a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos *input-output* da cultura da soja entre as safras de 2000 e 2008. Do ponto de vista econômico, a soja demonstra tendência de redução de 4,55% ao ano da margem econômica bruta. Do ponto de vista termodinâmico, a soja mostra tendência de redução de 1,93% ao ano no superávit de energia organizada, ou seja, uma tendência crescente de formação de entropia. Os insumos responsáveis pelo aumento do *input* e conseqüente redução na eficiência termodinâmica são os agrotóxicos, com participação média de 92% nos inputs energéticos, conjugado com a tendência de redução da produtividade por hectare. Conclui-se que o sistema produtivo de soja em Primavera do Leste precisa ser repensado e ajustado para que se torne tendencialmente sustentável.

Palavras-chave: Soja, Primavera do Leste, Eficiência Termodinâmica, Margem Bruta.

ESTIMATE OF ENERGY FLOW DYNAMICS OF SOYBEAN PRODUCTION IN PRIMAVERA DO LESTE (MT): AN ECOLOGICAL ECONOMICS ANALYSIS

SUMMARY: Mato Grosso is Brazil largest soybean and the municipality of Primavera do Leste concentrates about 5% of the regional soybean production. The aim of this study was to determine the thermodynamic efficiency of energetic input-output flows of soybean crops between 2000 and 2008 on an economic and ecological point of view. From an economic standpoint, soybeans demonstrates a declining tendency of 4.55% per year of gross economic margin. From the thermodynamic point of view, soybeans shows a reduction tendency of 1.93% per year in organized energy surplus, in other words, an increasing trend of entropy formation. The inputs responsible for increased input and the consequent reduction in thermodynamic efficiency are pesticides, with an average participation of 92% in energy inputs, coupled with the declining tendency in productivity per hectare. It is concluded that the soybean production system in Primavera do Leste needs to be rethought and adjusted so it can tend to be sustainable.

Key words: Soybean, Primavera do Leste, Thermodynamics Efficiency, Gross Margin.

INTRODUÇÃO

O campo de estudo desse trabalho é o município de Primavera do Leste que tem uma economia fortemente atrelada à agricultura, destacando-se a produção de soja e algodão. A soja foi cultura escolhida por sua importância econômica que movimenta a cadeia do agronegócio em Mato Grosso. Tal importância merece estudos, para que essa atividade se prolongue, trazendo os benefícios da atividade produtiva que hoje prevalece no estado. A produção neste setor pode ser considerada de capital-intensivo devido à modernização tecnológica, mecânica, biológica e química. Acredita-se que a análise da eficiência energética da produção de soja em Primavera do Leste pode representar uma importante identificação das condições estruturais de produção em Mato

Grosso. Respeitando as limitações do estudo em função das especificidades microrregionais, este trabalho lança luzes sobre a eficiência energética e as tendências de utilização de energia na produção de soja no trópico úmido brasileiro.

Dentro deste cenário é possível refletir quanto ao aumento do consumo dos insumos nos *inputs* (entrada) no processo produtivo sojeiro em Primavera do Leste em relação à eficiência econômica e ecológica desse sistema, sendo este o desafio do trabalho, pois há muito tempo os estudos da economia agrícola voltam-se apenas às questões de custo de produção, produtividade, logística e de ganho de escala. Em função deste cenário, tem passado despercebidas às implicações do uso sustentável da estrutura orgânica e inorgânica da terra nas propriedades rurais, sendo que o sistema produtivo da soja tem sofrido enormes desgastes pelo uso intensivo de fertilizantes, agrotóxicos e combustíveis fósseis.

Desta maneira, o objetivo geral desse estudo foi determinar do ponto de vista econômico e ecológico a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos *input-output* da cultura da soja em Primavera do Leste entre as safras de 2000 e 2008. Têm-se três objetivos específicos, sendo o primeiro a caracterização da economia matogrossense e do município de Primavera do Leste, notadamente em relação à produção de soja. O segundo objetivo específico pretende estimar a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos *input-output* (entrada e saída) e a eficiência econômica (margem bruta) da produção de soja em Primavera do Leste entre 2000-2008, atrelando a análise às tendências de expansão ou retração de participação de cada insumo no custo de produção e no *input* energético. Por fim, buscar-se-á identificar a relação entre a eficiência econômica e a eficiência termodinâmica do processo produtivo sojeiro no município analisado.

1. A SOJICULTURA EM PRIMAVERA DO LESTE

O município de Primavera do Leste tem um clima tipo tropical semiúmido, com vegetação de Cerrado e chapadões. O relevo é aplainado, com cotas que vão desde os 600 até 800 metros acima do nível do mar, sendo 30% suavemente ondulada e 70% plano, na forma de chapadões, com ótima aptidão para o cultivo de lavouras anuais. Com área de 5.664 km² contava com uma população em 2006

de 60.060 habitantes, possui um PIB/Per Capita acima de R\$12,6 mil e inferior a R\$20 mil anuais (FARIA et al., 2009, IBGE CIDADES, 2010).

É considerada uma agrocidade, reconhecida como um dos pólos de produção de grãos e fibras do Mato Grosso, participante do complexo agroindustrial brasileiro com lavouras altamente tecnificadas, as quais produzem soja, algodão, milho e arroz, além de algumas lavouras frutíferas, cuja economia baseia-se na agricultura e pecuária. Aproximadamente 35% da área do município estão ocupadas por áreas de lavoura, além das áreas ocupadas por pastagens. Sua principal lavoura é a soja, sendo que as outras culturas são também economicamente importantes. O potencial agrícola da região foi desenvolvido tão profundamente que na década de 1990 Primavera do Leste foi denominada como a “capital da soja” naquele período (PRIMAVERA Do LESTE, 2010).

Pode-se visualizar na Tabela 1 a área plantada de soja no município nas safras de 2000-2008. Nota-se que o município possui considerável quantidade de área plantada em relação a Mato Grosso, alcançando cerca de 5% da área cultivada regionalmente e 1% da área brasileira de cultivo de soja neste período.

Tabela 1. Área plantada (ha) na produção da lavoura temporária da soja no Brasil, Mato Grosso e Primavera do Leste, 2000 a 2008.

Ano	Brasil	Mato Grosso	Primavera do Leste
2000	13.693.677	2.906.648	170.000
2001	13.988.351	3.121.408	183.000
2002	16.376.035	3.818.231	220.000
2003	18.527.544	4.414.496	251.500
2004	21.601.340	5.279.928	262.680
2005	23.426.756	6.121.724	278.189
2006	22.082.666	5.822.867	220.000
2007	20.571.393	5.075.079	200.000
2008	21.063.721	5.470.149	210.000

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2010.

O modelo de desenvolvimento agrícola segue o padrão de crescimento econômico em detrimento dos aspectos ecológicos, fortalecendo a cadeia do agronegócio empresarial, sendo gerido por uma estrutura da agricultura moderna que usa a terra como um substrato passível de mudanças pelo uso de insumos químicos externos aos ecossistemas, atrelada com a substituição de homens por

máquinas (FARIA et.al., 2007), com o objetivo precípua de elevar a produção total e a acumulação de capital na fronteira agrícola.

Esta capacidade técnica se materializa no volume produzido de soja, onde o município de Primavera do Leste tem grande representatividade na produção, chegando a ofertar um total de 640.000 toneladas em média no período 2000-2008, representando em torno de 5% da oferta regional de soja, conforme Tabela 2. Na oferta nacional de soja, a produção de Primavera do Leste alcança aproximadamente 1,4% do volume produzido.

Tabela 2. Quantidade Produzida (T) na lavoura temporária da soja no Brasil, Mato Grosso e Primavera do Leste, 2000 a 2008.

Ano	Brasil	Mato Grosso	Primavera do Leste
2000	32.820.826	8.774.470	522.070
2001	37.907.259	9.533.286	567.300
2002	42.107.618	11.684.885	686.400
2003	51.919.440	12.965.983	752.593
2004	49.549.941	14.517.912	736.721
2005	51.182.074	17.761.444	684.558
2006	52.464.640	15.594.221	550.440
2007	57.857.172	15.275.087	620.200
2008	59.242.480	17.212.351	656.250

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2010.

Apesar do custo por hectare ter mantido certa estabilidade entre 2000 e 2008 em média em um nível pouco superior a R\$1,2 mil, o valor da produção apresentou uma grande elevação nos anos de 2003 e 2004 em relação aos anos anteriores, em função dos preços externos favoráveis. Enquanto no triênio 2000-2002 a receita bruta média por hectare manteve-se em torno de R\$1,5 mil, no biênio 2003-2004 a receita bruta média por hectare alcançou quase R\$2,4 mil. Nas safras seguintes, especialmente em 2006, a crise da soja no estado é também vivenciada em Primavera do Leste, conforme Tabela 3. Há uma forte oscilação negativa dos preços da soja no mercado externo, com rebatimentos internos à economia de Mato Grosso. A receita bruta média por hectare no biênio 2005-2006 caiu a R\$1,0 mil. No biênio 2007-2008 a receita bruta média por hectare expandiu para R\$1,5 mil, retornando ao nível do início da série histórica.

Tabela 3. Custo por Hectare* (R\$/ha) e Valor da Produção* em R\$1000,00 no município de Primavera do Leste, 2000 a 2008.

Ano	Custo (R\$/ha)	Valor da Produção R\$1000
2000	1.211,85	272.019,00
2001	1.116,92	267.734,00
2002	961,29	358.763,00
2003	1.343,50	636.776,00
2004	1.216,92	580.974,00
2005	1.331,29	342.965,00
2006	1.282,59	181.441,00
2007	1.028,09	257.140,00
2008	1.469,16	387.188,00

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2010.

Nota: * valores deflacionados pelo IGP-DI da FGV.

Depois da crise do agronegócio em 2005-2006, acelerou-se o processo de industrialização em Primavera do Leste, com o início da instalação de uma indústria esmagadora e refinadora de soja da multinacional Cargill¹ em 2008, que pode industrializar até 6,4% da produção regional de soja e, como Primavera produz aproximadamente 5% da soja matogrossense, a estrutura local do complexo soja permite visualizar um aprofundamento da produção agrícola e a possibilidade de ofertar produtos de maior valor agregado (FARIA et. al., 2009).

2. A ECONOMIA E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Dentre diversas correntes teóricas da ciência econômica, a economia ecológica é adequada para embasar os estudos sobre eficiência energética, por agrupar dimensões de diversas áreas do conhecimento, dentre elas: a biológica, a física, a política e a tecnológica, dentro de uma ótica sistêmica. E também por considerar que capital e recurso natural não são complementares, implicando numa limitação do sistema econômico em favor dos limites do meio ambiente. O conceito de que o planeta Terra pode fornecer recursos naturais ilimitados é insustentável, dada a velocidade de exploração da mesma, gerando assim, impactos ambientais irreversíveis nos ecossistemas. Portanto, não há mais lugar

¹ Segunda maior processadora de soja do Brasil, a multinacional Cargill opera uma unidade em Primavera do Leste (230 quilômetros ao nordeste de Cuiabá). A capacidade de processamento anual de soja é de aproximadamente um milhão de toneladas (FARIA et.al., 2009).

para visão disciplinar, quando se está diante de problemas complexos como aqueles que gravitam em torno do conceito ecológico. Abordagens multidisciplinares e interdisciplinares estão se fortalecendo como paradigmas de abordagem de objetos metodológicos complexos.

A obra precursora do debate sobre economia ecológica foi “The Entropy Law and the Economic Process” de Nicholas Georgescu-Roegen, em 1971, hoje considerado precursor da “economia ecológica”. Ele introduz a idéia de irreversibilidade e de limites na teoria econômica decorrente da segunda lei da termodinâmica, especificamente lei da entropia versus transformações da matéria (ROMEIRO, 2003, p.9).

A termodinâmica, que será de grande importância nesse estudo, nasceu com os estudos de Sadi Carnot (1824 apud BRAGA, FABRIS e NASCIMENTO, 2004) quanto à economia dos processos físicos de uma máquina a vapor. Apontando para o fato de que o calor se move de forma espontânea e irreversível de um corpo quente para o frio, Carnot criou as bases para a formulação posterior por R. Clausius das Leis da Termodinâmica, em 1865.

Georgescu-Roegen ficou conhecido – e pagou um alto preço por suas ideias nos anos de 1970 – por aplicar à economia o conceito de entropia, emprestado da termodinâmica, ao mostrar que as concepções tradicionais da economia pecavam pelo extremo mecanicismo. Quando, nos anos 1980, ele disse que a economia, no futuro, seria mais um capítulo da ecologia, foi ‘expurgado’ totalmente e caiu no esquecimento. Ele tentou mudar a visão sistêmica do fluxo circular unitário e isolado, segundo a qual capital e trabalho são considerados a estrutura do processo que transforma fluxo de energia em produtos e resíduos. Propondo uma visão metabólica do processo, mostrando que o sistema econômico não era um moto-perpétuo, que alimenta a si mesmo de forma circular, sem perdas. Ao contrário, é um sistema que transforma recursos naturais em rejeitos que não podem mais ser utilizados. Ao desenvolver uma nova representação do processo, Georgescu destacou que ele não é circular e isolado, mas linear e aberto (CECHIN, 2010).

3. ENERGIA NA AGRICULTURA

Conforme Odum e Barret (2008), a alta produtividade e altas taxas de produtividade líquida-bruta na colheita dos produtos agrícolas são mantidas por grandes entradas de energia envolvida no cultivo. O combustível usado para acionar o maquinário das propriedades é uma entrada de energia tanto quanto o sol. Um exemplo disso ocorre nos Estados Unidos, a entrada dos subsídios de energia na agricultura aumentou cerca de dez vezes entre 1900 e 1980, com entrada de cerca de uma a dez calorias para cada caloria de alimento colhido. A duplicação do rendimento da colheita requer um aumento de dez vezes nas entradas de combustíveis fósseis, fertilizantes e defensivos. Os autores ressaltam ainda que, o outro modo pelo qual os humanos aumentam a produção de alimentos, não envolve uma elevação na produtividade bruta, mas a seleção genética no sentido de aumentar a razão de rendimento. A desvantagem é que a planta modificada não tem muita energia para produzir compostos químicos para se defender, assim terá que ser usado mais defensivos, que exigirá uma demanda de energia maior, no cultivo de variedades modificadas.

A transferência de energia ao longo da cadeia alimentar de um ecossistema é chamada de fluxo de energia porque, de acordo com a lei da entropia, as transformações da energia são “unidirecionais” em contraste com o comportamento cíclico da matéria (ODUM e BARRET, 2008). Conforme os autores, as altas taxas de produção ocorrem quando os fatores físicos são favoráveis, especialmente quando os subsídios de energia (como os fertilizantes) de fora do sistema aumentam o crescimento ou as taxas de produção dentro do sistema. Esses subsídios de energia também pode ser o trabalho do vento e da chuva em uma floresta, ou de combustíveis fósseis, a energia do trabalho animal ou humano usado no cultivo agrícola.

O comportamento da energia é descrito pela primeira e segunda lei da termodinâmica. A primeira lei estabelece que a energia possa ser transformada de uma forma para outra, mas não pode ser criada nem destruída. A segunda lei termodinâmica determina que os processos que envolvem transformações de energia não ocorrerão espontaneamente, a menos que haja uma degradação de energia de uma forma organizada para uma forma não organizada (a entropia

tende a aumentar). Essa determinação remete à importância da prudência ecológica na escolha de alternativas das fontes de energia e as correspondentes cadeias de produção, levando em consideração duas medidas fundamentais, como a busca de alternativas que exijam o mínimo de etapas de transformação possível, visando evitar perdas de energia não aproveitável para o ambiente e o mínimo de intervenções ambientais; e a adoção de sistemas de produção e consumo e coeficiente (ODUM e BARRETT, 2008).

A distribuição do uso da energia também é um importante fator a ser considerado na avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas, porque ela está associada ao fluxo de matéria e de renda dentro e entre os sistemas. Isso implica que o fortalecimento relativo de um sistema produtivo resulta na fragilidade de outros, em função das relações de troca e/ou transferência que se estabelecem entre eles (ALTIERI e MASERA, 1997).

A avaliação dos *inputs* energéticos das operações de cultivo é importante para estimar a energia investida no sistema de produção e identificar os pontos de desperdícios energéticos e os componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência, além de melhorar a visibilidade sobre o balanço energético, edificando um novo suporte científico à produção de energia de forma sustentável.

4. METODOLOGIA

Para obtenção da eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos da soja foi necessário realizar a conversão energética ou também conhecida como balanço energético, que neste trabalho, é entendida como a metodologia de análise *input-output*, que significa transformar insumos e produtos, em coeficientes energéticos correspondentes, ou seja, significa contabilizar as energias produzidas (entradas ou *inputs*) e as energias consumidas (saída ou *outputs*), neste caso no sistema produtivo da soja em Primavera do Leste. Coeficiente Energético (CF) refere-se ao montante de energia consumida para se obter um determinado insumo. Este valor é geralmente retirado de estudos específicos referentes ao ciclo de vida do insumo. Seu objetivo principal é traduzir em unidades ou equivalentes energéticos os fatores de produção e os consumos intermediários, possibilitando a construção de indicadores comparáveis entre si, que permitam a intervenção no sistema produtivo visando melhorar sua eficiência (BUENO et.al., 2000).

Observando a importância e utilidade deste instrumento, vários pesquisadores têm se utilizado dos balanços de energia para avaliação de sistemas e atividades agrícolas, nas mais diversas proporções, com distintas fronteiras (delimitações) do sistema. A conversão energética dos fatores de produção envolvidos na produção de soja foi respaldada na literatura (SCOTT e KRUMMEL, 1929; PIMENTEL, 1983; CAMPOS, 1998), adequando cada fator às características da situação estudada. A quantificação energética dos insumos foi obtida através da multiplicação do produto físico pelos respectivos índices de conversão e apresentação final dos dados foi em quilocaloria (Kcal) como unidade de energia em todas as análises energéticas. Portanto, a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos é a razão do *Output* (Kcal de saída) pelo *Input* (Kcal de entrada), como pode ser visto na equação 1:

$$\text{EFICIÊNCIA TERMODINÂMICA (ET)} = \text{Output} / \text{Input} \quad (1)$$

Resultados com valores superiores a 1 representam um excedente energético, ou seja, é gerada maior energia de saída do que de entrada na produção, sendo relativamente eficiente do ponto de vista termodinâmico. Resultados com valores inferiores a 1 representam uma perda de qualidade energética, caracterizando uma produção termodinamicamente ineficiente, portanto tendencialmente insustentável. Quanto menor a energia organizada de saída do sistema produtivo, provavelmente será maior a formação de entropia, haja vista que toda energia de entrada sofre uma transformação e se este *quantum* de energia não está contido no produto final de forma sintrópica, estará distribuída de forma difusa no ambiente relevante.

Após a identificação do Output/Input (razão entre a saída e a entrada energética) verificou-se a participação percentual de cada insumo que foram agrupados por tipo, como: mão-de-obra; adubo (nitrogênio, fósforo, potássio e calcário); sementes de soja; combustíveis (diesel e gasolina); graxa e agrotóxicos (herbicida, inseticida, formicida e fungicida) e o ingresso total de energia desse sistema de produção, identificando o *quantum* de excedente energético.

Semelhantemente ao índice da Eficiência Termodinâmica (ET), o índice da Eficiência Econômica (EC) visa demonstrar através da razão entre o Valor Bruto da Produção (VBP) e o Custo Total (CT) o quão sustentável pode ser a atividade desse processo econômico a cada safra produzida, conforme a equação 2:

$$\text{MARGEM BRUTA (MB)} = \text{Receita Total (R\$)} / \text{Custo Total (R\$)} \quad (2)$$

A análise conjunta destes dois indicadores (ET e EC) pode lançar luzes sobre a capacidade de reprodução econômica e energética do sistema de produção de soja em Mato Grosso. Mais do que identificar os itens que compõem as referidas eficiências, torna-se interessante reconhecer a dinâmicas de tais métricas, que podem sugerir o caminho tendencial em direção à (in)sustentabilidade do sistema produtivo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE SOJA EM PRIMAVERA DO LESTE

Após a promulgação da lei Kandir em 1996, que isentou os produtos primários e semielaborados com destino à exportação do pagamento de impostos estaduais (ICMS²), Mato Grosso passou a produzir safras recordes de soja e de acordo com o MDIC³ o valor das exportações de soja que eram de pouco mais de R\$480 milhões em 1996 alcançou R\$6,743 bilhões em 2006, representando 71,5% das exportações de Mato Grosso neste último ano (FARIA et.al., 2010). Verificou-se uma forte expansão de novas áreas produtivas de soja, com uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes. Todavia, não se observou os limites impostos pelos recursos naturais, quanto à fertilidade do solo no bioma Cerrado, que se constitui de um solo ácido sendo necessária a correção do pH pela calagem e adubação. Portanto, para conseguir aumento da produtividade e ganho de escala foram necessário estudos e pesquisas realizados pela EMBRAPA no sentido de tornar o Cerrado produtivo. A solução encontrada para o aumento na produtividade foi à aquisição dos pacotes tecnológicos (novas variedades de sementes, sobre tudo, transgênicos, agrotóxicos e fertilizantes), em detrimento, porém, dos custos ecológicos incorridos pela utilização desse pacote tecnológico que não foram incorporados no custo de produção.

O modelo de produção agropecuária desenvolvido em Primavera tem seguido o pacote tecnológico estabelecido regionalmente, demonstrado utilização intensiva de tecnologia e máquinas, em detrimento do trabalho humano. A

² Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

³ Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior do Brasil.

mecanização agrícola é um dos pilares do agronegócio, como comprovam os dados da Tabela 4, onde consta a pequena participação relativa da mão-de-obra dentro do custo de produção (custo em R\$). Sua participação é mantida entre 2% e 4%, com uma média de participação de 3,5% no período 2000-2008. Ainda conforme a Tabela 4, o grande destaque no custo de produção de soja em Primavera é o custo dos adubos (fertilizantes: nitrogênio, fósforo e potássio) que assume os maiores valores de participação com percentuais médios de 41,6% e desvio-padrão de 3,5% no período entre 2000 e 2008. Esses valores podem ser explicados pelo fato do adubo exercer a função de correção e nutrição do solo, em função da elevada atividade microbiana em regiões tropicais que exauram rapidamente a matéria orgânica disponível⁴.

Tabela 4. Participação dos Insumos no Custo Total (R\$) na produção da soja em Primavera do Leste, 2000 a 2008.

ANO	INSUMOS (%)						TOTAL (%)
	Adubos (l)	Agrotóxicos (l)	Combustíveis (l)	Sementes (Kg)	M. O. (d/h)	Graxa (l)	
2000	44,32	32,58	13,44	6,67	2,59	0,41	100
2001	40,40	32,39	16,28	7,32	3,24	0,37	100
2002	39,05	31,92	17,15	8,02	3,33	0,53	100
2003	39,00	29,20	14,27	14,32	2,68	0,53	100
2004	42,68	30,34	13,66	10,25	2,56	0,51	100
2005	42,73	28,47	12,31	13,57	2,45	0,47	100
2006	36,25	27,50	23,45	8,58	3,77	0,45	100
2007	41,96	26,84	17,36	9,39	3,97	0,48	100
2008	48,43	24,62	14,60	7,70	3,79	0,87	100

Fonte: Elaboração a partir dos dados da CONAB, 2010.

Como as cultivares de soja utilizadas são, em geral, geneticamente modificadas, estas tem reduzida energia para produzir compostos químicos para se defender como um grande sistema em *autopoiesis*, ter-se-á que ser usado defensivos com intuito de defender as plantas das ervas daninhas e demais pragas agrícolas. Os agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, formicidas e fungicidas) são importantes na produção agrícola regional, sem eles, não se pode atingir

⁴ Conforme Sá (2009), na região Sudeste de Mato Grosso, que inclui Primavera do Leste, na ausência de manejo, a matéria orgânica do solo pode ser degradada em até 7% ao ano em função da umidade, calor e complexidade de microrganismos presentes no solo.

produtividades adequadas e lucros satisfatórios na agricultura, pois em região tropical semiúmida a proliferação de espécies predadoras é elevada. Como resultado, os custos dos agrotóxicos assumiram valor expressivo de participação no custo total entre 2000 e 2008, com média de 29,3% e desvio-padrão de 2,7%. Tal fato favorece um aumento de consumo por parte dos produtores que com risco eminente do prejuízo pela perda da safra ocasionada por ataque de pragas, acaba por aplicar maior quantidade de agrotóxicos sucessivas vezes.

Os combustíveis (gasolina e óleo diesel) ganham destaque pela forte presença da mecanização com a incorporação de máquinas agrícolas que sobrevivem a partir do consumo de energia fóssil, para transportes de insumos e produtos primários, bem como do transporte urbano e demais veículos automotores. No período analisado, o custo com combustíveis alcançou em média 15,8% dos custos totais, com desvio-padrão de 3,3%. As sementes de soja adquiridas compõe o quarto maior insumo, alcançando em média 9,5% dos custos de produção, com desvio-padrão de 2,7% no período analisado.

Destes dados se depreende que o complexo adubos químicos (41,7%), agrotóxicos (29,3%) e combustíveis (15,8%) representam 86,7% dos custos totais e, somando a tecnologia biológica das sementes (9,5%), tem-se que estes insumos representam 96,2% dos custos totais. Desta forma, conclui-se que a produção de soja em Primavera mantém fortes ligações com setores agroindustriais à jusante da atividade primária, com forte integração com a indústria química, petrolífera, mecânica e de biotecnologia.

Foi realizada também a análise da margem bruta, que é a razão entre a receita total (R\$) pelo custo total (R\$). Por hipótese, quanto maior a margem bruta de um sistema econômico, maior o nível de acumulação de capital e, por suposto, maior o aumento da capacidade produtiva do referido sistema em função do controle sobre excedentes passíveis de inversão. Esse é um importante indicador que visa estimar a eficiência econômica do sistema de produção de soja de Primavera do Leste, que pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5. Margem Bruta a partir da relação receita/custos para produção de soja em Primavera do Leste, 2000 a 2008.

Ano	Receita Bruta (R\$)	Custo Total (R\$)	Margem Bruta (R\$)	Margem Bruta (%)
2000	130.518.000,00	98.848.200,00	31.669.800,00	1,32
2001	141.825.000,00	108.273.780,00	33.551.220,00	1,31
2002	240.240.000,00	141.616.200,00	98.623.800,00	1,70
2003	459.082.000,00	243.600.385,00	215.481.615,00	1,88
2004	469.660.000,00	258.414.076,80	211.245.923,20	1,82
2005	280.669.000,00	303.081.351,72	(22.412.351,72)	0,93
2006	154.123.000,00	203.517.600,00	(49.394.600,00)	0,76
2007	235.676.000,00	188.454.000,00	47.222.000,00	1,25
2008	387.188.000,00	308.524.192,04	78.663.807,96	1,25

Fonte: Elaborada a partir dos dados da CONAB, 2010 e IBGE, 2009.

No primeiro biênio (2000-2001) é possível identificar uma eficiência da margem bruta com níveis estáveis de acumulação do capital com valores de (1:1,32), ou seja, para cada R\$1,00 gastos no custo houve uma contrapartida de R\$1,32 na receita. Já no triênio seguinte nota-se um crescimento bem maior, com níveis mais elevados de acumulação de capital para o setor, principalmente no ano de 2003 com valores de (1:1,88). Já a queda da margem bruta nos anos de 2005 com valores de (1:0,93) e 2006 (1:0,76), significa dizer que no ano de 2005 a cada R\$1,00 gasto no custo houve uma contrapartida de apenas R\$0,93 de receita total. No ano de 2006 para cada R\$1,00 aplicado enquanto custo, houve uma contrapartida de apenas R\$0,76. Tal fato reflete o endividamento líquido do setor, na qual os valores representam a desacumulação de capital dos setores produtivos a montante e a jusante, evidenciando a crise do agronegócio em Primavera do Leste, bem como ocorrido em todo o estado de Mato Grosso no mesmo período, demonstrando ineficiência econômica. E nos anos de 2007 e 2008 houve o processo de recuperação com uma estabilidade na acumulação de capital de (1:1,25), contudo inferior aos valores iniciais analisados.

Tal fato revela que os valores da eficiência econômica no sistema produtivo sojeiro em Primavera do Leste seguiu um padrão de cíclico com forte expansão da margem bruta no triênio 2002-2004 frente ao biênio anterior, seguido de uma forte retração da margem bruta, com desacumulação de capital no biênio 2005-2006. A recuperação no biênio 2007-2008 apenas apresentou um ajustamento

à margem bruta próxima de 25%-30%. No agregado, houve acumulação de aproximadamente R\$644 milhões no período, descontando os prejuízos de 2005-2006, porém, com tendência de compressão da margem bruta.

5.2 ANÁLISE ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE SOJA EM PRIMAVERA DO LESTE

Realizou-se o levantamento da participação dos insumos integrantes do processo de produção no total dos *inputs* (energia de entrada) para cada ano, conforme Tabela 6, no sentido de verificar quais insumos apresentam maior importância na composição total na energia de entrada, ou seja, identificar o principal insumo responsável pela eficiência ou ineficiência termodinâmica do sistema em estudo. Os insumos analisados foram: mão-de-obra; adubos (nitrogênio, fósforo e potássio), sementes; combustíveis (gasolina e diesel); graxa e agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, formicidas e fungicidas).

É possível notar a partir da Tabela 6, que a participação da mão-de-obra na análise energética é bem reduzida, de 0,01% para todos os anos analisados, demonstrando que processo de produção da soja é extremamente mecanizado, isso justifica o fato deste insumo apresentar uma taxa geométrica de crescimento negativa de -0,16% ao ano, ou seja, houve uma retração no *input* energético da mão-de-obra, constatando menor participação energética bem como econômica.

Apesar de representar a maior participação no custo da produção, os adubos demonstraram modesta participação nos *inputs* de energia, com inserção de 0,10% no período 2000-2007, com expansão para 0,16% em 2008. O uso de graxa também demonstrou reduzida significância, com valores de 0,05% em toda a série, com exceção da safra 2008.

A participação das sementes nos *inputs* de energia alcançaram em média 3,9% com desvio-padrão de 0,2% no período analisado. Somente na safra 2008 esta participação superou 4,0%. A participação média dos combustíveis foi de 3,4% no período, com desvio-padrão de 1,6%. Na safra de 2008 esta participação alcançou importantes 7,95%, demonstrando um fortalecimento da necessidade de uso de máquinas agrícolas.

Entretanto, são os agrotóxicos os grandes insumos que incorporam energia na produção de soja. No período 2000-2008 este insumo representou 92,4% de todos os inputs de energia, com desvio-padrão de 1,9%. Somente na safra de 2008 esta participação esteve abaixo de 90%. Uma das razões para o grande consumo do agrotóxico está na soja geneticamente modificada que não tem muita energia para produzir compostos químicos para se defender, assim tem-se que utilizar mais agrotóxicos para controle biológico, que exigirá uma demanda de energia maior no cultivo de variedades modificadas (ODUM e BARRET, 2008).

Tabela 6. Participação (%) dos insumos na Análise Energética da Produção de soja em Primavera do Leste, 2000 a 2008.

ANO	INSUMOS (%)						TOTAL (%)
	Agrotóxicos (l)	Sementes (Kg)	Combustíveis (l)	Adubos (l)	Graxa (l)	M. O. (d/h)	
2000	92,91	3,86	3,08	0,10	0,05	0,01	100
2001	93,02	3,96	2,85	0,10	0,05	0,01	100
2002	93,02	3,96	2,85	0,10	0,05	0,01	100
2003	92,97	3,99	2,88	0,10	0,05	0,01	100
2004	92,97	3,99	2,88	0,10	0,05	0,01	100
2005	93,02	3,96	2,85	0,10	0,05	0,01	100
2006	93,37	3,70	2,78	0,09	0,05	0,01	100
2007	93,37	3,70	2,78	0,09	0,05	0,01	100
2008	87,14	4,64	7,95	0,16	0,10	0,01	100

Fonte: Elaborada a partir dos dados da CONAB, 2010.

A análise da eficiência termodinâmica (ET) dos fluxos energéticos para o sistema de produção de soja em Primavera do Leste está apresentada na Tabela 7, onde estão demonstrados os valores agregados de *input* (entrada) e *output* (saída). Nesta, pode ser observado resultados da razão *output/input* com valores bem próximos de 1 para os anos de 2001 e 2002, demonstrando um ganho de saída energética e nos demais anos todos os valores abaixo de 1, representando uma perda de qualidade energética no sistema.

Os anos de maiores ineficiência energética foram 2005 e 2006, com valores de (1:0,80) e (1:0,76), ou seja para cada 1 Kcal de entra no agrossistema, saiu 0,80 Kcal e 0,76 Kcal respectivamente. Portanto, tais valores revelam uma crise energética do sistema, tendo como principal causador o uso de agrotóxicos.

Os resultados confirmam que os valores de *inputs* foram maiores que os valores de *outputs*, tornando o sistema energético tendencialmente insustentável, pois de acordo com a lei da entropia, a quantidade total de energia se mantém constante em termos qualitativos e se divide em várias partes, as quais não retornam ao seu estado original, impossibilitando assim que essa energia seja reaproveitada inteiramente no processo produtivo.

Tabela 7. Eficiência Termodinâmica da Produção de Soja em Primavera do Leste, 2000 a 2008 (em kcal).

Ano	Input	Output	Eficiência Termodinâmica (Out/In)
2000	1.937.842.008.128,88	1.895.114.100.000,00	0,98
2001	2.031.633.121.294,22	2.059.299.000.000,00	1,01
2002	2.442.400.473.687,04	2.491.632.000.000,00	1,02
2003	2.770.232.218.487,69	2.731.912.590.000,00	0,99
2004	2.916.226.165.582,33	2.674.297.230.000,00	0,92
2005	3.088.404.297.156,93	2.484.945.540.000,00	0,80
2006	2.615.278.618.198,16	1.998.097.200.000,00	0,76
2007	2.377.526.016.543,78	2.251.326.000.000,00	0,95
2008	2.534.617.428.981,17	2.382.187.500.000,00	0,94

Fonte: Elaborada a partir dos dados da CONAB, 2010.

A alta entropia do sistema significa que o sistema está desorganizado o que não é economicamente interessante para a sociedade, ou seja, a energia dissipada (alta entropia) não pode ser utilizada novamente. O uso da termodinâmica constituiu uma verdadeira física do valor econômico, uma vez que distingue a energia útil da energia inútil para propósitos humanos e pode revelar que sistemas econômicos superavitários podem ser deficitários do ponto de vista energético. Quanto menor a energia organizada que está incorporada no produto final em relação à energia organizada de entrada nos insumos, maior a formação de entropia no sistema em função da perda de qualidade energética. Desta forma, pode-se afirmar que das nove safras de soja analisadas neste trabalho, em sete delas houve perda de qualidade energia e em duas houve um processo de organização sintrópica⁵ com excedente energético.

⁵ Nas safras onde a energia de saída é superior à energia de entrada provavelmente estruturas naturais estão incorporando energia não monetizada, em função de serviços ecossistêmicos não mensurados neste trabalho. A energia do fluxo solar, da chuva, dos ventos e de outros sistemas

5.3 RELAÇÃO EFICIÊNCIA ECONÔMICA E EFICIÊNCIA TERMODINÂMICA

O esperado em todos os sistemas de produção no modelo capitalista é a expansão da produtividade para que haja maior acumulação de capital. Todavia, a Tabela 8 demonstra que o aumento da produção entre 2000 e 2008 dá-se mais fortemente em função do aumento da área plantada em Primavera e não pelo aumento da produtividade. Na realidade o sistema produtivo sojeiro em Primavera do Leste apresenta redução da TGC em 0,95% ao ano em relação à produtividade entre 2000 e 2008, ou seja, que no período analisado o sistema vêm passando por dificuldades técnicas em expandir a produção por unidade de área. Considerando que a produtividade da atividade agrícola depende da interação dos processos biológicos com o meio físico, é importante a observância das restrições impostas pelos ecossistemas na tentativa de vislumbrar um processo de desenvolvimento sustentável.

Tabela 8. Taxa Geométrica de Crescimento (TGC) da Área, da Produção e da Produtividade da soja em Primavera do Leste, 2000-2008.

INDICADORES	TGC	TESTES
Área	2,04	R ^{mult} de 0,33 t de -0,95 NS de 2%
Produção	1,93	R ^{mult} de 0,52 t de 1,6 NS de 2%
Produtividade	-0,95	R ^{mult} de 0,27 t de -0,74 NS de 2%

Fonte: Resultados da Pesquisa.

A área de cultivo expandiu a 2,04% ao ano no período analisado e, apesar da retração da produtividade média, a oferta real de soja expandiu a 1,93% ao ano.

biológicos podem explicar como o a inserção de energia antropizada (por ser ofertada por sistemas econômico-sociais) foi potencializada e se incorporou de forma sintrópica no produto final.

Estes dados indicam a forte dependência da incorporação de espaço produtivo para garantir a expansão do sistema econômico, frente a uma limitação tecnológica de garantir a intensificação do uso do solo. Quanto maior a área aberta de cultivo, menor a biodiversidade local e menores as interações com o meio físico, podendo reduzir a capacidade de resistência e resiliência dos agroecossistemas locais. Pelo princípio da precaução, o esforço em produzir deveria focalizar-se predominantemente na intensificação pelo uso de tecnologia apropriada, reduzindo as perdas de biodiversidade, de exposição dos solos, de possibilidade de lixiviação e erosão e da manutenção de populações biológicas. Quanto menor a resistência e resiliência dos ecossistemas locais, maiores serão as possibilidades de ataques de populações aos agroecossistemas (COSTA, 2007) e, como corolário, o crescente uso de agrotóxicos, os insumos mais significativos no *input* de energia na produção de soja em Primavera do Leste⁶.

Como resultados mais objetivos da ET e da MB, tem-se um vetor tendencial de redução de 1,93% ao ano da eficiência termodinâmica e 4,55% ao ano da margem bruta, como pode ser visto na Tabela 9. Os dados indicam uma maior sensibilidade do sistema econômico em relação à acumulação de capital, pois muitos eventos dependem de variáveis externas e com grande oscilação e se materializam tanto na função custo quanto nos preços da soja. Por outro lado, o sistema produtivo tem respondido aos efeitos dos impactos naturais, com grande necessidade de incorporação de energia externa para ‘organizar’ a produção, em especial, os agrotóxicos para dominar os ímpetus das espécies que porventura venham a se alimentar do precioso capital adiantado, temporariamente aprisionado, na planta de soja. Este processo conjugado com a tendência de redução da produtividade gera uma maior formação de entropia no sistema.

⁶ Em uma população de praga agrícola, uma mutação gênica pode tornar um organismo tolerante a determinado agrotóxico, passando assim essas características para seus descendentes. Com uso intenso do agrotóxico, a população de organismos sensíveis diminui e a de resistentes aumenta por pressão de seleção. Nesses casos, geralmente, o agricultor responde aplicando altas doses do agrotóxico. A praga, por sua vez, torna-se também resistente às altas doses do agrotóxico por um mecanismo de seleção natural. Caso o agricultor resolva mudar de agrotóxico, esbarra nos processos de resistência cruzada. De modo geral, os genes ou os grupos de genes responsáveis pelos mecanismos de detoxificação nos insetos, por exemplo, possuem um amplo espectro de ação, isto é, são capazes de codificar enzimas que metabolizam e degradam diferentes grupos químicos de agrotóxicos (GRISÓLIA, p. 392, 2005).

Tabela 9. Taxa Geométrica de Crescimento (TGC) da Eficiência Termodinâmica e da Margem Bruta da produção de soja em Primavera do Leste, 2000-2008.

INDICADORES	TGC	TESTES
Eficiência Termodinâmica (ET)	-1,93	R ^{mult} de 0,51 t de -1,56 NS de 2%
Margem Bruta (MB)	-4,55	R ^{mult} de 0,40 t de -1,17 NS de 2%

Fonte: Resultados da pesquisa.

CONCLUSÃO

A eficiência termodinâmica da soja em Primavera do Leste tem apresentado uma redução de 1,93% ao ano entre 2000 e 2008, com tendência de elevação da entropia, enquanto a margem econômica bruta da sojicultura vem reduzindo a uma taxa de 4,55% ao ano no mesmo período. Estes dados revelam uma ineficiência econômico-ecológica na produção de soja, sendo necessária uma reflexão das atuais formas de produção e as possibilidades de adequar essa atividade de modo sustentável.

Os dados relacionados à eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos constituem poderosas ferramentas de diagnóstico de sistemas produtivos agrícolas, no que se refere à questão econômica e energética, podendo auxiliar na tomada de decisão para agricultores, além de analisar a propriedade como um sistema complexo e não apenas um subconjunto de um sistema. A construção de indicadores energéticos conjugados com os tradicionais indicadores econômicos podem assistir tanto os agentes econômicos quanto os planejadores do desenvolvimento regional e local a reajustar seus sistemas produtivos em direção à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M.; MASERA, O. *Desenvolvimento rural sustentável na América Latina: construindo de baixo para cima*. In: ALMEIDA, J., NAVARRO, Z. (Coord.). *Reconstruindo a agricultura: idéias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável*. Porto Alegre: UFRGS, 1997. p.72-105.

CAMPOS, A. T.; FERREIRA, W. A.; YAMAGUCHI. *Balanço econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite*. Engenharia Rural, Piracicaba, v. 9, n.1, p.10-20, 1998.

CARNOT, N. L. S. (1824 apud Nascimento, C. K., Braga, J. P. e Fabris, J. D.). *Reflexões sobre a Contribuição de Carnot à Primeira Lei da Termodinâmica*. Quim. Nova. Belo Horizonte, 21 nov. 2004. Vol. 27, No. 3, 513-515. Disponível em: <www.ams.org/.../S0002-9904-1952-09615-4.pdf - Estados Unidos >. Acesso em: 12 out. 2010.

CECHIN, Andrei. *A natureza como limite da economia: A contribuição de Nicholas Georgescu-Ruegen*. São Paulo : Editora Senac São Paulo/Edusp, 2010.

COSTA, F.A. O Desafio do Desenvolvimento na Amazônia. In: BRITO, M.F.; FANZERES, A.; ELIA, C. Entrevista com Francisco de Assis Costa. Revista Amazônia Legal de Estudos Sócio-Jurídicos-Ambientais. Cuiabá, ano 1, n. 1, p.41-52, jan.-jun. 2007.

FARIA, A.M.M.; DALLEMOLE, D.; LEITE, S.C.F.; FIGUEIREDO, M.G.; LAMERA, J.A.; GOMES, V.M.; ALMEIDA, D.J.A.; VEIGA FILHO, L.S.; ALVES, A.P. *Balança Comercial de Mato Grosso: 2006*. In: *Análise do Mapeamento e das Políticas para Arranjos Produtivos Locais no Norte e Nordeste do Brasil e dos Impactos dos Grandes Projetos Federais em Estados Nordestinos Selecionados*. Relatório do Projeto de Pesquisa BNDES/FUNPEC/UFMT. Cuiabá, setembro de 2009.

GRISOLIA, C.K. *Agrotóxicos-Mutações, Reprodução e Câncer*. Brasília, DF, ed. Universidade de Brasília, p. 392, 2005.

IBGE (Sistema IBGE de Recuperação Automática). Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acessado em 16 de ago. 2009.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. *Fundamentos de Ecologia*. São Paulo: Cengage Learning, 612p. 2008.

PIMENTEL, D., BERARDI, G., FAST, S. *Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, n.9, p.359 - 372, 1983.

ROMEIRO, A.R.. Introdução. *Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática*. MAY, P. H.; LUSTOSA, M.C.; VINHA, V. (org.) Editora Campus, 2003.

SÁ, J.C.M. Plantio Direto em Mato Grosso. Palestra na Assembleia Legislativa de Mato Grosso. Outubro de 2009.

SCOTT, W. O & KRUMMEL, John (1980). *Energy Used in Producing Soybeans*. In: PIMENTEL, D. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. Florida: CRC Press p. 117-119. 1980.