



Diciembre 2019 - ISSN: 1696-8352

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA COTONICULTURA EM SORRISO (BRASIL)

Henrique Cesar da Costa¹
Alexandre Magno de Melo Faria²

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Henrique Cesar da Costa y Alexandre Magno de Melo Faria (2019): "Análise da eficiência energética da cotonicultura em Sorriso (Brasil)", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana (diciembre 2019). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/oel/2019/12/eficiencia-energetica-brasil.html>

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência energética da cotonicultura no município de Sorriso, em Mato Grosso (Brasil). Utilizando como base duas safras de algodão, estimou-se todos os *inputs* energéticos e construiu-se um índice com os dados de *output*. Os resultados indicam uma perda líquida de energia, com coeficiente energético de 0,46 kcal e 0,50 kcal em safras seguidas, para cada 1,00 kcal de entrada. As fontes exauríveis representam 76,70% de todas as energias de entrada utilizadas, com destaque para os inseticidas que compõem 64,33% do total de *inputs*. Este quadro de insustentabilidade energética pode ser mantido em função da presença de acumulação de capital que esconde a instabilidade ambiental. Conclui-se pela necessidade de integrar indicadores econômicos, sociais e biofísicos para tomada de decisão mais ajustada com as necessidades socioambientais do século XXI.

Palavras-chave: Eficiência energética, cotonicultura, inseticidas, Sorriso.

Abstract

This paper aims to analyze the energy efficiency of cotton production in the municipality of Sorriso, Mato Grosso (Brazil). Using two cotton harvests as a basis, all energy inputs were estimated and an index was constructed with the output data. The results indicate a net energy loss, with an energy coefficient of 0.46 kcal and 0.50 kcal in consecutive harvests, for each 1.00 kcal input. Exhaustible sources represent 76.70% of all input energies used, with emphasis on insecticides that make up 64.33% of total inputs. This scenario of energy unsustainability can be maintained due to the presence of capital accumulation that hides environmental instability. It is concluded that there is a need to integrate economic, social and biophysical indicators for decision making that is more adjusted to the socio-environmental needs of the 21st century.

Keywords: Energetic efficiency, cotton crop, insecticide, Sorriso.

Resumen

Este documento tiene como objetivo analizar la eficiencia energética de la producción de algodón en el municipio de Sorriso, Mato Grosso (Brasil). Utilizando dos cosechas de algodón como base, se estimaron todos los insumos de energía y se construyó un índice con los datos de producción. Los resultados indican una pérdida neta de energía, con un coeficiente de energía de 0,46 kcal y 0,50 kcal en cosechas consecutivas, por cada entrada de 1,00 kcal. Las fuentes exhaustivas representan el 76,70% de todas las

¹ Economista e Mestre em Economia (UFMT). E-mail: henrique@outlook.sg.

² Doutor em Desenvolvimento Socioambiental, Pós-doutor em Economia (UBI/Portugal), Professor Associado da Faculdade de Economia da UFMT. E-mail: dr.melofaria@gmail.com.

energías de entrada utilizadas, con énfasis en los insecticidas que representan el 64,33% de las entradas totales. Este escenario de insostenibilidad energética puede mantenerse debido a la presencia de acumulación de capital que oculta la inestabilidad ambiental. Se concluye que existe la necesidad de integrar indicadores económicos, sociales y biofísicos para la toma de decisiones que se ajusten a las necesidades socioambientales del siglo XXI.

Palabras clave: Eficiencia energética, producción de algodón, insecticida, Sorriso.

INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo ocorrida nos anos de 1970, o pensamento econômico passou a se preocupar com as fontes de energia e a utilização dos recursos naturais. No ano de 1971 o economista Georgescu-Roegen foi o primeiro a descrever o papel das duas primeiras leis da termodinâmica introduzindo o papel da energia na economia. Iniciou-se um debate que propôs que o sistema econômico seria tratado como um subsistema aberto dos ecossistemas naturais, considerando que o planeta Terra é um sistema fechado do ponto de vista termodinâmico. Esta seria uma das grandes contribuições da abordagem da economia ecológica (CECHIN, 2010; CECHIN; VEIGA, 2010).

Uma segunda abordagem da economia ecológica seria a promoção de uma modelagem das ligações diretas entre os sistemas naturais e econômicos. Isto implica em uma mudança alocativa de recursos das bases biofísicas dos sistemas ecológicos e econômicos, que são formas totalmente interdependentes, mas que pode ser coevolutivas (CAVALCANTI, 2004, p.154).

Recentemente, o uso da análise do consumo energético em sistemas de produção agrícola tem sido usado em estudos como uma provável forma de identificar padrões de sustentabilidade. Na atual cadeia de produção agrícola em geral, tem-se sistemas de produção muito intensivos que apresentam uma necessidade de altos *inputs* de energia, que são conjugados com uma alta produtividade física, mas tendo balanço energético negativo, enquanto que os sistemas de produção considerados como de "subsistência" ou menos intensivos, tendem a ser mais positivos pela maior utilização de recursos endógenos, podendo ter maiores saída (*output*) do que entrada de energia (BOWMAN, 1980; HEITSCHMIDT, SHORT e GRINGS, 1996).

A avaliação da energia gerada nos processos agrícolas (independentemente se a produção seria utilizada para alimentação humana ou insumo industrial) permite verificar se o setor agrícola precisa de ajustamentos (CASTANHO FILHO e CHABARIBERY, 1983). Com o advento da agricultura moderna, houve uma enorme procura de soluções tecnológicas para a agricultura por produtores em busca de maior produtividade/lucratividade, que exclui de suas etapas de análises os impactos ambientais que possam vir a ocorrer em detrimento destas práticas adotadas no campo. A análise do balanço energético da cotonicultura no município de Sorriso, em Mato Grosso (Brasil), pode identificar os pontos da estrutura a serem discutidos.

O problema que se encontra nos sistemas produtivos muito intensivos e altamente tecnificados é verificação do balanço energético negativo. A importância da análise do balanço energético é fornecer parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões. Acredita-se que a análise do balanço energético da cotonicultura pode identificar pontos de desperdícios energéticos, tornando-a ineficiente e potencialmente baseada em competitividade espúria.

Os objetivos deste trabalho são: 1) estimar a eficiência termodinâmica dos fluxos energéticos de entrada e saída (*inputs-outputs*), 2) estimar a eficiência econômica (margem bruta) da produção de algodão em Sorriso, 3) comparar os resultados com parâmetros para entender se tal prática é economicamente viável e sustentável sob a ótica da economia ecológica. Após estimar o balanço energético, pode-se identificar a participação de cada insumo que entra no processo produtivo e verificar a dependência de insumos exógenos e endógenos.

O MUNICÍPIO DE SORRISO E O ALGODÃO EM MATO GROSSO

Sorriso é um município do estado de Mato Grosso situado no quilômetro 742 da rodovia federal BR-163 que liga Cuiabá a Santarém, limita-se em Lucas do Rio Verde ao sul e Sinop ao norte. Pertence à região norte (esta classificação "norte" é referente a metodologia da AMPA (2016)³, além de outras metodologias usadas pelo IMEA (2016)⁴ e IBGE, podendo ser classificada como "médio norte" dependendo

³ Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão.

⁴ Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária.

da instituição). De acordo com as estimativas feitas pelo IBGE (2015)⁵, sua população em 2015 foi de 80.298 habitantes.

Sua formação deu-se por um projeto de colonização privada, sendo que a maioria da população foi provenientes da região sul do Brasil. No término de 1980, Sorriso foi elevada a Distrito do município de Nobres, e em meados de 1986 com a aprovação da Assembleia Legislativa do Estado de Mato Grosso e através da Lei 5.002/86, o Distrito então foi elevada à categoria de município, desmembrado de Nobres. Sua atual formação administrativa consiste em Sorriso (sede), e os distritos de Boa Esperança, Caravágio e Primavera (SORRISO, 2016).

Sorriso é ponto de referência da rodovia BR-163, em conjunto com a BR-242, ligando Goiás (Leste) e a Rondônia (Oeste), favorecendo o escoamento da produção do município. A sua área de vegetação é composta por cerrado, cerradão, florestas abertas e campos cerrados (65%). Com uma posição geográfica privilegiada em meio ao cerrado e Amazônia legal, o município possui condições edafoclimáticas que favorecem o desenvolvimento do agronegócio empresarial (IBGE, 2016a).

A economia do município de Sorriso está direta e fortemente relacionada ao agronegócio, tendo o cultivo da soja como sua principal atividade. É considerada a maior região produtora de soja no país. Pode-se encontrar na no município, a presença de grandes grupos e empresas multinacionais e empresas regionais. A produção de algodão no município é de destaque considerável, assim como a produção de milho. Logo, Sorriso conta também com abatedouros de aves, peixes e suínos.

Caracterizando Sorriso como produtor individual, tendo área agricultável que chega a 633 mil hectares relatados nas estimativas área do IMEA (2016). Sorriso foi o maior produtor de grãos do país em 2007, segundo dados do IBGE (2016b), totalizando uma produção 2,5 milhões de toneladas, que para o período foi muito significativa, e deu base para que o município adquirisse o título de Capital do Agronegócio (o título veio por meio da Lei de número 12.724, de 16 de outubro de 2012, publicada no Diário Oficial da União).

Analisando os dados do relatório da pesquisa PAM⁶ realizada pelo IBGE (2012), os municípios mato-grossenses apresentavam uma expansão considerável da área plantada, gerando então um aumento da safra de grãos, tendo com um destaque para o ano, a produção de milho. Sorriso teve um certo destaque na pesquisa obtendo o segundo lugar no ranking como maior produtor nacional de soja e milho, sendo responsável por uma parcela de 9,0% e 12,8% da produção total do estado.

Os dados da pesquisa sobre o PIB⁷ dos municípios brasileiros em 2011, divulgados pelo IBGE (2011) mostra que o agronegócio representa cerca de 80% do PIB de Sorriso, e que o valor da produção agropecuária vem obtendo um aumento súbito de 130% no seu crescimento, com valores de R\$ 322,9 milhões para R\$ 745,6 milhões. De acordo com a pesquisa, o valor total bruto da atividade é obtido subtraindo os gastos maquinário, gasolina, agrotóxicos, fertilizantes e entre outros insumos da produção agrícola, fazendo com que aumente os números finais (do valor total).

A cultura do algodão no estado inicia sua jornada a um cultivo de porte empresarial no início dos anos de 1990, segundo os relatos históricos da AMPA (2016). A AMPA foi criada pelos mesmo produtores que iniciaram o cultivo do algodão em Mato Grosso, e por isso encontraram necessidade de enfrentar os problemas com os insetos e doenças que atacavam as lavouras.

Mas o algodão em Mato Grosso havia chegado muito antes, no ano de 1933, em que há registros documentados. As sementes de algodão herbáceo do tipo Texas 7111 que foram trazidas do estado norte-americano Texas, e que inicialmente teve a primeira produção em Três Lagoas (atualmente Mato Grosso do Sul) e que logo depois o cultivo do algodão se expandiu para os municípios de Rondonópolis, São José do Povo, Nova Galileia, Jaciara, Pedra Preta e Juscimeira (FARIA, 2012).

No ano de 1960, chega ao Brasil um novo modelo de produção agrícola, baseado na revolução verde, que veio para atender novas demandas de consumo que foram surgindo ao longo do tempo, fazendo com que o sistema tradicional de cultivo da terra fosse remodelado. Essa remodelagem veio inserindo práticas de uso intensivo do solo, irrigação, monocultura empresarial, mutação genética de sementes e agroquímicos.

As práticas implantadas foram criadas nos países de clima temperado e não estavam adaptadas ao clima tropical, sendo muitas delas nocivas à biodiversidade e às condições edafoclimáticas regionais. Apesar de gerar externalidades negativas, as técnicas da revolução verde impulsionaram avanços na produtividade do campo, com modificações genéticas de sementes, sistemas de irrigação, intensa utilização de insumos exógenos (industrializados) provenientes de fontes fósseis (fertilizantes e agrotóxicos), tornaram o Brasil um grande ator no cenário agrícola mundial (FARIA, 2003).

⁵ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

⁶ Produção Agrícola Municipal.

⁷ Produto Interno Bruto.

Faria (2012) comenta que em 1970 a área cultivada do algodão no estado havia alcançado os 105.700 hectares, sendo 62% na área Meridional do então Mato Grosso, que era composto pela região de Dourados, Fátima do Sul, Glória de Dourados, Naviraí, Caarapó e Bataiporã. O autor ainda destaca que os dados do Censo Agropecuário referente ao ano de 1970, considerando o atual território do estado de Mato Grosso, em que foi destinado 6.332 hectares para o cultivo do algodão,

Destes, 5.888 hectares (93%) ocorreram na região do Sudeste mato-grossense, onde o polo principal era Rondonópolis, além de Jaciara, Poxoréo, Guiratinga, Dom Aquino e Itiquira, resultado das ações de difusão da atividade desenvolvida por Elias Medeiros. Até o início da década de 1980 esta região ficou conhecida como “Rainha do Algodão” pela concentração produtiva verificada (FARIA, 2012, p.93).

Ainda em conformidade com o trabalho de Faria (2012), a partir do ano de 1993 as inovações institucionais endógenas ganharam força, tendo início com os próprios produtores da região sudeste do estado com a criação da Fundação MT⁸, com o propósito de difundir e elevar os conhecimentos técnicos da agropecuária em Mato Grosso. Logo em 1996 é publicada a Lei Kandir, que isentaria de ICMS todos os produtos primários e semielaborados que tinha destino para a importação, e em 2 de junho de 1997 entra em vigor a Lei Estadual nº 6.883, como previsto do artigo 3º que constituía incentivo de redução de até 75% do principal imposto incidente sobre o algodão.

Desde a safra de 1998 o estado de Mato Grosso passou a ser o principal produtor de algodão no Brasil. Segundo o levantamento do acompanhamento de safra publicados pela CONAB (2015a)⁹ e CONAB (2015b), Mato Grosso mantém-se líder no processo cotonícola com participação na safra (2014/2015) de 57% da produção total em pluma de algodão no Brasil. Se fosse um país, Mato Grosso seria o quinto maior produtor de pluma do mundo.

Para as safras 2012/2013 de produção de algodão herbáceo, os dados publicados na PAM mostram que o cenário internacional de 2013 foi o mesmo de 2012 com estoques mundiais elevados e retração no consumo. O estado de Mato Grosso alcançou participação de 54% na produção nacional de pluma. Apesar da liderança, houve redução nas áreas, ocasionando uma retração na produção de 33,4% (IBGE, 2013)

A produção de pluma de algodão no município de Sorriso para 2012 foi de 3% em relação ao total produzido no estado, enquanto que o município de Sapezal foi o maior do estado, posterior à São Desiderio na Bahia. Em 2013 a produção de pluma continuou representando 3% em relação ao total do estado, conforme os dados apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Produção de pluma de algodão.

Safras	Sorriso	Mato Grosso	Brasil
2011/12	32.815,13	1.093.837,68	1.937.934,96
2012/13	21.848,84	728.289,58	1.332.706,44

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de IBGE (2016).

O município de Sorriso produziu 34.384,72 toneladas de pluma de algodão na safra 2011/2012. Já na safra 2012/2013 a produção foi de 14.797,81 toneladas, tendo uma queda de aproximadamente 43% com relação à safra anterior, mas como os dados da tabela 1 mostram, a produção do estado também teve queda neste período.

Analisando dados sobre a produção do algodão que constam no acompanhamento das safras feita pela CONAB (2012) e CONAB (2013), o custo total da produção do algodão por hectare na safra 2011/2012 foi de R\$3.310,67, e na safra 2012/2013 o custo total foi de R\$3.864,31. A ineficiência do processo produtivo já se mostra possível quando se compara os custos em relação com a produção de pluma das duas safras, com elevação de 16,72% nos custos em um período de 6,31% de inflação medida pelo IGP-DI¹⁰, entre junho/2013 e junho/2012 (mês de referência do final da safra).

⁸ Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso.

⁹ Companhia Nacional de Abastecimento.

¹⁰ Índice Geral de Preços- disponibilidade interna.

TERMODINÂMICA, ENTROPIA E ECONOMIA

A termodinâmica é um campo da física que estuda as causas e os efeitos das variações na temperatura, pressão e volume em sistemas físicos em escala macroscópica. Em essência, a termodinâmica estuda o movimento da energia e como essa energia cria esse movimento. Pelo contexto histórico, a termodinâmica foi desenvolvida pela necessidade de aumentar potencialmente a eficiência das primeiras máquinas a vapor no século XVIII, sendo em essência um estudo experimental, e que hoje se pode utilizá-la, no que diz respeito a grandes escalas de matéria e energia (ÁLVARES; LUZ, 2009).

A importância de se estudar e usar a termodinâmica como método analítico é que ela permite determinar a direção que vários processos físicos e químicos irão acontecer de forma espontânea. Permite também determinar quais desses processos podem acontecer, e quais processos não podem ou são improváveis de acontecer, além de permitir determinar as relações que ocorrem entre as diversas propriedades de uma substância, tais como o calor específico, o coeficiente de dilatação volumétrica e a compressibilidade, e entre outros (HALLIDAY et al., 2009).

Todos os processos transformativos de energia estão associados à uma irreversibilidade. Esta condição foi esclarecida pela segunda lei da termodinâmica, em que nos processos adiabáticos, tem-se a geração de entropia, uma forma de energia impossível ou quase impossível de ser reorganizada e reconvertida em trabalho. A entropia tende a permanecer constante ou aumentar, porém, não diminuir (HALLIDAY et al., 2009).

A primeira lei traz na sua essência, uma afirmação do princípio de conservação da energia nos sistemas termodinâmicos. Na segunda lei, diz que a energia cinética pode ser integralmente transformada em energia térmica (calor), mas não pode ocorrer o contrário, justamente pela degradação da energia que compõe o sistema: o que corresponde à transição de um sistema estruturado, ou organizado, para um sistema "desorganizado", onde ocorre a Entropia (FERMI, 1936). A expressão matemática usada para descrever de forma simples, é a seguinte:

$$\frac{dS}{dt} \geq 0,$$

onde S representa a Entropia, dt é o infinitésimo de tempo, e a igualdade só é alcançada quando a entropia chegar em seu valor máximo, ou seja, onde se encontra em equilíbrio. A interpretação comum que se obtém da segunda lei, é que a entropia jamais decresce. Porém, entretanto, isto é apenas uma tendência, que apenas indica que é improvável que a entropia decresça (HALLIDAY et al., 2009).

O conceito subjetivo de "desordem" é válido para uma melhor compreensão, embora seja claro o fato de que a entropia não seja, em essência, uma desordem. Pode-se afirmar então que a entropia, num sentido amplo, ou a desordem de um sistema, só pode crescer ou permanecer igual, pois os diferentes estados encontrados em sistemas, são qualificados de microestados, visto que o macroestado pode ser assimilado as categorias mais gerais; a alta complexidade do macro sistema, pode depender da quantidade de microestados em que se encontram (PRIGOGINE; STENGERS, 1984).

No entanto, um problema surge nos estudos dos movimentos do calor dos corpos. Segundo Georgescu-Roegen (1971, p.3), o calor sempre se traslada de um corpo mais quente até o corpo mais frio, mas nunca se verificou o movimento contrário. Com essa afirmação, comprova-se que as relações matemáticas que antes se tinham estabelecido nos estudos, agora não poderia ser aplicáveis a todos os fenômenos físicos. Porém este fenômeno desencadeou uma revisão geral das teorias da física, nascendo então um novo ramo de estudo que é a termodinâmica, e logo após a teoria eletromagnética, que provocaram uma revolução em toda a área da física (ÁLVARES; LUZ, 2009).

A economia enquanto uma ciência tem se assemelhado com as definições da física mecânica. Pode-se estabelecer uma ordem que demonstra essa semelhança entre ambas. Sobre esta abordagem há um trabalho de Irving Fischer que procura estabelecer quais são as relações que a ciência econômica tem com a física.

Havendo uma similitude entre os conceitos empregados na teoria econômica e os utilizados na física, percebe-se que a ciência econômica atual não tem seguido os passos de evolução da física, especialmente no que diz respeito a termodinâmica. Esta é a fundamentação crítica dos economistas ecológicos para com a economia neoclássica. Dizem que se a ciência econômica tem se baseado em conceitos da física, então deveria acompanhar o processo evolutivo e incorporar os novos conceitos (LOYOLA, 1997) e não permanecer atrelados a conceitos do séculos XIX.

Tabela 2 – Comparação entre Economia e Física.

Economia	Física
Indivíduo	Partícula
Bens	Espaço
Utilidade ou desutilidade marginal	Força
Desutilidade	Trabalho
Utilidade	Energia
Utilidade = utilidade marginal por bens	Trabalho da energia = força por espaço
Utilidade marginal é um vetor	Força é um vetor
Total de gasto	Energia cinética
Unidade incremental dos bens	Movimento
Conservação de utilidade mais renda	Conservação de energia

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Loyola, (1997).

A aplicação de leis da física diretamente em análises, modelagens ou até em resoluções de problemas socioeconômicos, vem sendo usada como referência pela ciência econômica desde o final do século XIX. Este quadro tem-se apresentado com extraordinária resistência e estabilidade ao passar dos anos, sendo amplamente aceita como método de análise e usada de forma interdisciplinar em campos de estudos, como a Economia.

A obra “The Entropy Law and the Economic Process” publicada pelo economista Nicholas Georgescu-Roegen, no ano de 1971, trouxe a definição do conceito que é conhecido como “economia ecológica”. Nesta obra o autor faz uma introdução sobre as ideias da irreversibilidade de sistemas termodinâmicos e dos limites biofísicos dos recursos naturais, ligando-os diretamente na teoria econômica, a partir da segunda lei da termodinâmica, inserindo então a lei da entropia nas transformações da matéria (ROMEIRO, 2003). Esta abordagem traz a ecologia diretamente para dentro das abordagens teóricas de sistemas econômicos, com isso, trouxe a possibilidade de inserir indicadores biofísicos em análises de caráter socioeconômicas (CECHIN, 2010; CECHIN; VEIGA, 2010).

Os estudos de Nicolas Leonard Sadi Carnot (CARNOT, 1824 apud NASCIMENTO et al., 2004) sobre os balanços energéticos de máquinas a vapor, apontaram que o calor se move de forma espontânea e irreversível, na transição de um corpo quente para um corpo frio, então Carnot criou bases para formular o que seria a posterior, por Clausius, das leis da termodinâmica no ano de 1865. Georgescu-Roegen trouxe a tentativa de mudar a visão dos fluxos circulares unitários, no que tange a capital e trabalho, seriam considerados a estrutura de um processo que transforma os fluxos de energia em produtos e resíduos.

Conforme mostra Georgescu-Roegen (2012), a lei da entropia pode ser encarada como a mais próxima da econômica dentre as outras leis da física. Destaca-se que a noção de sustentabilidade pode se vincular à necessidade de considerar os conceitos de irreversibilidade e limites nos sistemas produtivos. Neste sentido, a análise econômica que usa como base os conhecimentos da ecologia, pode identificar o sistema econômico como um subsistema de um outro ainda maior que impõe uma restrição absoluta à sua expansão.

Propôs então uma visão metabólica em que o sistema econômico não era um moto perpétuo ou um sistema ilimitado, que alimenta a si mesmo de forma circular, onde não há perdas e nem falhas, mas o que se verifica é justamente o contrário, é um sistema que cria um processo transformador de recursos naturais em rejeitos que perdem a utilidade. Ao desenvolver essa nova representação desse processo, destacou-se que o sistema não é isolado, mas aberto (CECHIN, 2010). Encarando o sistema econômico com esta visão, a economia ecológica implica numa mudança fundamental, no que tange a percepção de problemas de alocação de recursos que são gerados pelo próprio sistema e de como eles devem ser tratados (FARLEY; DALY, 2004; SICHE-JARA, 2007).

A economia ecológica, em sua essência não rejeita totalmente os conceitos e instrumentos da teoria econômica convencional e nem da ecologia convencional. Contudo, de um lado pode encontrar na economia ecológica as abordagens que façam uso de formulações e ferramentas da economia ambiental e economia dos recursos naturais neoclássicos, que são baseados na valoração dos bens e serviços

ambientais, que são traçadas a partir das preferências e utilidades dos agentes, que são expressadas em termos monetários (CECHIN; VEIGA, 2010).

Pode-se encontrar abordagens que buscam realizar análises do sistema econômico a partir de critérios estritamente ecológicos, para isso utilizando a energia como unidade geral de análise do sistema (ODUM, 1996). Contudo, pode-se reconhecer a insuficiência destes, para o propósito de uma análise integrada, apontando para a necessidade do desenvolvimento de novos conceitos e instrumentos. Deste modo, por ser um campo pluralista e transdisciplinar onde se encontram diversas (e mesmo divergentes) abordagens, uma diversidade de formas de como incorporar os princípios biofísicos são propostos, o que faz com que a economia ecológica se mostre como um campo heterogêneo dentro de seu propósito comum (SICHE-JARA, 2007).

A transferência de energia que ocorre ao longo da cadeia alimentar de um determinado ecossistema é chamada de fluxo de energia, pois a lei da entropia diz que as transformações da energia que ocorrem num processo produtivo são “unidirecionais” levando em conta o contraste do comportamento cíclico da matéria (ODUM; BARRET, 2008). As altas taxas de produção ocorrem quando os fatores físicos são favoráveis, em especial quando a energia de fora do sistema aumenta o crescimento ou as taxas de produção dentro do sistema. Analisando a produtividade dos produtos agrícolas conforme Odum e Barret (2008), são derivadas das entradas de energia não renováveis que são utilizadas na lavoura.

Com isso remete-se à importância de se ter prudência ecológica na escolha de alternativas das fontes de energia (renováveis preferentemente) e de cadeias tróficas que exijam o mínimo de etapas de transformação, além da adoção de sistemas eco-eficientes (ODUM e BARRET, 2008). A distribuição do uso de energia deve ser considerada na sustentabilidade dos agroecossistemas, pois está associada ao fluxo de matéria e renda dentro e entre sistemas. Isso implica que o fortalecimento relativo de um sistema produtivo resulta na fragilidade de outros, em função das relações de troca (ALTIERI; MASERA, 1997).

Enquanto o sistema econômico continuar a produzir sem considerar os limites ecossistêmicos e as interações dos agroecossistemas com o seu meio ambiente circundante, maiores serão as probabilidades de formação de entropia, gerando então mais energia desorganizada que será descartada após a produção e o consumo, tendo um acúmulo de entropia. Além disso, mais energia organizada será necessária para a produção das mesmas quantidades de matéria e energia materializadas em mercadorias nas rodadas posteriores e sucessivas (GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

O combustível que é usado para o funcionamento do maquinário nos diversos sistemas de produção é uma entrada de energia, tanto quanto o sol. Tem-se como exemplo o caso da agricultura praticada nos Estados Unidos, onde se verificou um aumento exponencial na entrada de energia na agricultura, entre o período de 1900 a 1980, com uma variação nessas entradas de energia de dez calorias para cada caloria de produto agrícola colhido (WEBBER, 2012).

Isto demonstra que a agricultura praticada nos Estados Unidos, tem uma relação entre entrada e saída de energia de 10:1, ou seja, entram 10,0 kcal (quilocalorias) e saem apenas 1,0 kcal. Neste exemplo pode-se perceber que para que o rendimento da produtividade dos produtos agrícolas seja duplicado, esse sistema irá requerer uma inserção de dez vezes mais nas entradas de energia (como combustíveis fósseis, fertilizantes e defensivos). Esses subsídios de energia também pode ser o trabalho do vento e da chuva em uma floresta, a energia do trabalho animal ou humano usado no cultivo agrícola (WEBBER, 2012).

De outra forma, o sistema produtivo irá se tornar ineficiente em escala crescente do ponto de vista termodinâmico, onde terá que incorrer maiores fluxos de energia para se alcançar os mesmos resultados, ou até mesmo gerar mais entropia no final do processo produtivo. Então tem-se que quanto maior for a velocidade em que a sociedade decidir a reorganizar os sistemas formadores de entropia, mais rápida será a transição, desta para uma sociedade e uma economia menos insustentável (CECHIN; VEIGA, 2010).

A avaliação dos *inputs* e *outputs* energéticos do processo produtivo agrícola, é importante para que se possa estimar a quantidade de energia que é investida no sistema de produção, e também identificar os pontos de desperdícios, onde a perda de energia é inevitável, 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 matéria e energia de forma sustentável (CARVALHO et al., 2012; PRATES et al., 2013).

METODOLOGIA

Os dados de aplicação de insumos da cotonicultura do município de Sorriso foram fornecidos pela CONAB (2012) e AMPA (2012). Os dados de produção de algodão por município foram coletados no IBGE (2012). Os trabalhos de Rao et al. (1992), Beltrão et al. (1993), Romero et al. (2011), Albuquerque et al. (2007a), Albuquerque et al. (2007b), Prates et al. (2013), Diniz e Faria (2014) e Carvalho et al. (2012) foram utilizados em comparação com os resultados do presente trabalho.

O método proposto para obtenção dos *inputs* de energia, foram considerados os índices calóricos constantes em Albuquerque et.al. (2007) das sementes de algodão, fertilizantes, inseticidas, herbicidas, fungicidas, mão-de-obra humana, consumo de diesel, dispêndio das máquinas movidas a motor (potência dividida em 100cv, 150cv, 160cv, 180cv e 225cv), abrangendo a totalidade das entradas de energia no sistema de cultivo.

Em 20 de fevereiro de 2013 foi realizada uma entrevista com o Engenheiro Agrônomo Emílio Araújo Pereira, Técnico do IMA/MT (Instituto Mato-grossense de Algodão, braço técnico da Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão). As informações do agrônomo nortearam o entendimento da composição e inserção dos adjuvantes na mistura da calda de herbicidas, inseticidas e fungicidas.

Logo, para a obtenção dos *outputs* de energia do cultivo, foi considerado o índice calórico do algodão colhido (composição do capulho do algodão com 39% de pluma, 58% caroço e 3% resíduos) de 2.436 kcal/Tonelada Chabaribery e Filho (1983), desconsiderando a palhada, talos e folhas por não serem comercializáveis. Para o cálculo da eficiência energética foi utilizada a seguinte fórmula:

$$EE = \frac{OUT}{\sum_{i=1}^n IN_i}$$

em que OUT (output) representa o total de saídas de energia (kcal), e IN (input) o total de entradas de energia (kcal). Os inputs (IN) são as entradas de energia responsáveis pelos insumos utilizados na análise e os outputs (OUT) representam o algodão produzido, entre as safras de 2011/2012 e 2012/2013. A metodologia de análise da eficiência energética baseou-se nos trabalhos de Rao et al. (1992), Schroll (1994), Romero et al. (2011), Facual (2006), Albuquerque et al. (2007a), Albuquerque et al. (2007b), Odum e Barret (2008), Cechin e Veiga (2010) e Abrapa (2011). Os dados para a elaboração do balanço energético advêm de fontes secundárias, com o incremento de entrevista realizada com a finalidade de refinar o método de tratamento dos dados obtidos para a análise.

O coeficiente energético é uma importante ferramenta utilizada por vários pesquisadores como instrumento para estudos dos modelos que são adotados para a produção agrícola. A unidade de medida utilizada no trabalho foi quilocaloria (kcal) para se normalizar a mesma base de medida. Foi realizado somatório dos valores energéticos de cada insumo utilizado no cultivo do algodão, que formam o coeficiente de entrada de energia no sistema.

A distinção de cada insumo proporcionou que se observasse a participação de cada item e a possibilidade de destacar os fatores que causam maior impacto no contexto da cotonicultura. O índice energético considerado como patamar de sustentabilidade da produção agrícola é dado por Schroll (1994). Schroll afirma que para cada unidade energética (kcal) que é inserida no sistema, é necessário que saiam duas unidades energéticas (kcal) para que o sistema produtivo seja considerado sustentável. A abordagem de Schroll indica uma relação de (EE) de no mínimo 2,00 para ser considerado um sistema sustentável do ponto de vista energético.

Por sua vez, foi calculada a margem bruta econômica, visando perceber a capacidade de reprodução social do sistema através da razão entre o valor bruto da produção e o custo médio, conforme equação:

$$MB = \frac{RB}{CT}$$

onde MB representa a margem bruta econômica por hectare, em R\$; RB representa a receita bruta total da cotonicultura por hectare, em R\$; CT representa o custo total da cotonicultura por hectare, em R\$. O sistema econômico opera baseado em custos de oportunidade, que são alternativas possíveis à alocação dos recursos. Usualmente, a taxa de juros básica da economia é a referência do custo de oportunidade do capital. Desta forma, a margem bruta de qualquer empreendimento deve superar a taxa de juros básica da economia para que o investimento na atividade produtiva seja atrativo, pois a MB refere-se somente à receita líquida, ainda não sendo considerada a taxa de lucro.

A taxa de lucro somente é encontrada quando se calcula a razão entre a MB e o capital total investido (K). A taxa de lucro deve, no mínimo, se igualar à taxa básica de juros da economia para que seja um empreendimento atrativo ao capital K. Caso a MB não supere a taxa básica de juros, o empreendimento encontra-se abaixo do custo de oportunidade do capital K. No ano de 2008 a taxa de juros anual foi de 11,82%, seguida de uma taxa de 9,50% em 2009, de 9,37% em 2010, de 11,04% em 2011 e de 8,17% em 2012 (BRASIL, 2014).

Considerando a eficiência energética (EE) e a margem bruta (MB) da cotonicultura, o sistema produtivo deve ter taxa de acumulação média conjugada com limites biofísicos e termodinâmicos que sustentem a sua manutenção no longo prazo. Se a escala da economia não respeitar os limites biofísicos e a formação de entropia, mais rapidamente a base de sustentação da sociedade será deplecionada (SACHS, 2003; GEORGESCU-ROEGEN, 2012).

ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A substituição de um sistema biológico complexo por um agroecossistema homogêneo, como o implantado na cotonicultura de Sorriso, exige o uso intensivo de tecnologia mecânica, biológica e química. A inserção da mecanização na produção reduz o tempo de trabalho e a intensidade de uso de mão-de-obra. A tecnologia biológica, por sua vez, refere-se ao uso das sementes que são híbridas e transgênicas, adaptadas à mecanização, produtividade esperada e às tecnologias químicas. Por fim, a tecnologia química é utilizada para controlar o ataque de espécies predadoras e competitivas, além de corrigir o pH e a fertilidade do solo. Há um todo um complexo agroindustrial de fornecimento de insumos que acabou criando um paradigma produtivo de difícil superação, com poucas alternativas tecnológicas disponíveis. Dado esse quadro, pode-se afirmar que quase a totalidade dos empreendimentos utilizam pacote técnico similar, o que acaba simplificando a análise agregada.

Após aplicação da metodologia para se verificar o cálculo da eficiência energética da cotonicultura do município de Sorriso, foram obtidos os valores calóricos necessários para a produção cotonícola por hectare. Dados gerados a partir das informações sobre os custos de produção e insumos e suas medidas e uso, disponibilizadas pela CONAB para as safras de 2011/2012 e 2012/2013.

A relação entre inputs e outputs permite verificar a taxa metabólica¹¹ deste sistema produtivo, e traçar perfil de sustentabilidade através da obtenção do coeficiente energético, tendo como base a metodologia publicada por Schroll (1994), tendo a distinção dos insumos tornando possível a observação da participação de cada insumo na produção. O autor afirma ainda que um bom coeficiente energético deve-se chegar ao valor de 2,00 para que se tenha um sistema produtivo eficiente energeticamente sustentável.

Os resultados obtidos estão contidos na Tabela 3, que contém inputs constantes para as duas safras, pois a partir dos dados obtidos pela CONAB, os insumos utilizados no processo produtivo foram o mesmo para as duas safras estudadas, porque o pacote tecnológico tem uma certa fixidez de curto prazo. A tabela mostra os insumos utilizados na produção de algodão em caroço para as duas safras, assim respectivamente a participação de cada insumo em porcentagem. Para estimar o coeficiente energético da cotonicultura em Sorriso, foram consideradas as energias contidas em insumos como fertilizantes, combustíveis, agrotóxicos e máquinas, além da energia humana e das sementes. Não foram incorporadas as energias livres do sol, da chuva, do vento e das atividades geotérmicas.

Tabela 3 – Insumos totais utilizados na cotonicultura de Sorriso por hectare (em kcal).

Fonte Energética	Insumos	Safra 2011/2012 e 2012/2013	Participação em %
<i>Fonte Biológica</i>		3.756.457,05	19,31%
	Mão-de-obra	1.657,05	0,01%
	Sementes	3.754.800,00	19,30%
<i>Fonte Fóssil</i>		359.965,10	1,85%
	Combustíveis	359.965,10	1,85%
<i>Fonte Industrial</i>		15.337.937,91	78,84%
	Adubos	416.896,85	2,14%
	Calcário	2.690,77	0,01%
	Fungicida	100.115,38	0,51%
	Herbicida	1.945.334,65	10,0%
	Inseticida	12.514.080,33	64,33%
	Máquinas	358.819,93	1,84%
Total calorias		19.454.360,10	100%

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de CONAB (2014).

¹¹ Conforme Farley e Daly (2004) e Georgescu-Roegen (2012) e, o sistema produtivo na verdade é transformativo e tem uma clara estrutura metabólica, com fluxos de entrada (material e energética) e fluxos de saída (de bens, serviços e também resíduos diversos – sólidos, líquidos, gasosos, pastosos, radioativos, sonoros, visuais, luminosos).

Os valores em kcal de cada insumo, mostram o *quantum* de energia inserida no sistema produtivo cotonícola a partir da estrutura de aplicação de insumos. O resultado total mostra a necessidade de pouco mais que 19 milhões de quilocalorias (kcal) por hectare para dar suporte a este sistema produtivo, mostrando que esse tipo de cultura utiliza de uma alta taxa energética para se gerar seu produto final: o algodão.

Pode se verificar a participação em porcentagem de cada insumo. A taxa de participação humana direta é de apenas 0,01%, enquanto a taxa de participação de tecnologias mecanizadas é de 1,84%. Há uma coeficiente de utilização de maquinaria na proporção de 184 partes de máquinas para uma parte de mão-de-obra, indicando que há uma substituição de trabalho humano por maquinaria.

Em uma visão geral, a participação dos agrotóxicos (compreendido pelos fungicidas, herbicidas e inseticidas) no processo produtivo é elevada, atingindo o nível de 74,84% da energia necessária para dar suporte ao processo produtivo. Destacam-se os inseticidas com 64,33% da energia total aplicada, podendo indicar uma forte homogeneização do ambiente e inserção da monocultura, com perda de complexidade biológica, o que pode favorecer a proliferação de espécies de insetos que predam o algodoeiro (FARIA e CAMPOS, 2012).

Os herbicidas alcançaram 10,00% e competem com a mão-de-obra local, pois a técnica de capina e desbaste com ferramentas simples foi praticamente suprimida com a inserção de controladores de espécies competidoras. Há um efeito-substituição de trabalho humano por agroquímicos, com impacto na empregabilidade e distribuição de renda local.

Há um grupo de insumos com menor participação relativa, tais como os fungicidas (0,51%), combustível que é fonte de energia fóssil, altamente poluente, com taxa de participação de 1,85%, adubos com 2,14% e as sementes, que são caracterizadas como fonte de energia biológica (19,30% de participação no processo de produção). Do quadro geral, depreende-se que 80,69% das energias de suporte da cotonicultura são de origem fóssil e industrial, com reduzida possibilidade de reciclabilidade. Há potencial de reciclagem somente dos adubos (2,14%) e o maquinário (1,84%).

Por outro lado, outros 19,31% das fontes energéticas são de origem biológica. As sementes são a grande variável relacionada com fluxos genéticos e de grande potencial de reciclabilidade. A reduzida participação humana tende a manter-se ou até mesmo reduzir, dada a necessidade elevar a competitividade pela introdução de tecnologia poupadora de trabalho.

Os dados indicam que a cotonicultura é fortemente dependente de energia exógena e não reciclável, principalmente os inseticidas e herbicidas, tornando-a uma cultura fora dos padrões de sustentabilidade. A tabela 4 demonstra o cálculo do coeficiente energético, exibindo o valor que é tomado como o índice de sustentabilidade energética desta atividade agrícola, geradas pela razão entre os inputs e outputs.

Tabela 4 – Eficiência termodinâmica da cotonicultura em Sorriso (em kcal).

Safras	Input	Output	Coeficiente Energético
2011/12	19.454.360,10	9.030.252,00	0,46
2012/13	19.454.360,10	9.678.228,00	0,50

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de CONAB, (2013).

Com base na tabela 4, observa-se o cálculo do coeficiente energético da produção algodoeira entre as safras de 2011/2012 e 2012/2013, com input total de 19,4 milhões de kcal para os dois períodos. Os outputs das safras de 2011/2012 e 2012/2013 diferem em função de distintas produtividades. Na safra 2011/2012 o coeficiente energético foi de apenas 0,46 e na safra 2012/2013 alcançou coeficiente de 0,50. Estes valores de coeficiente energético estão abaixo da indicação proposta por Schroll (1994), gerando um importante déficit energético.

Os resultados do trabalho de Diniz e Faria (2014) demonstram que o balanço energético da cotonicultura na região de Rondonópolis nas safras de 2007/2008 e 2010/2011 foi em média de 0,99. Os autores encontraram na safra 2009/2010 um saldo maior, com uma eficiência energética positiva de 1,02. Logo na de safra 2008/2009 o coeficiente foi de 1,00, já para a safra 2007/2008 obtiveram um saldo de 0,96, na safra 2010/2011 o coeficiente foi de 0,99. Em todas as safras os resultados encontrados foram abaixo do índice proposto por Schroll (1994).

A eficiência média da cotonicultura obtida nos quatro períodos analisados na região de Rondonópolis se assemelha aos resultados de Prates *et.al.* (2013), que encontraram eficiência média de 1,21 na cotonicultura na região de Campo Novo do Parecis nas safras 2007/2008 a 2010/2011. Na safra de

2008/2009, o saldo energético foi de 1,31, contra o coeficiente de 1,26 para a safra de 2007/2008. Nas safras seguintes, os coeficientes reduziram, obtendo o índice de 1,12 em 2009/2010 e 1,14 em 2010/2011.

A eficiência energética obtida no processo produtivo da cotonicultura em Sorriso está mais próximo ao resultado obtido por Albuquerque *et.al.* (2007a), que estimaram uma eficiência energética de 0,42 na cotonicultura de Maracaju, em Mato Grosso do Sul. Para os autores, o uso intensivo de fertilizantes químicos comprometeu significativamente o saldo energético dos sistemas produtivos. Albuquerque *et.al.* (2007a) também estimaram a eficiência energética da cotonicultura em sistema familiar nos municípios de Nioaque e Itaquirai, em Mato Grosso do Sul. Em Nioaque a eficiência foi de 1,10 e em Itaquirai de 0,99, sendo também a inserção de fertilizantes o principal insumo energético verificado. Albuquerque *et.al.* (2007b) encontraram um coeficiente energético de 0,63 na cotonicultura empresarial em Naviraí, Mato Grosso do Sul.

Romero, Bueno e Esperancini (2011) estimaram a eficiência energética da cotonicultura em Leme, São Paulo. Foi estimado o coeficiente de 0,71. No mesmo trabalho, os autores encontraram eficiência energética positiva de 3,04 na produção cotonícola de San Juan (Paraguai). A cotonicultura em Leme utiliza ampla mecanização, com maior utilização de óleo diesel, inseticidas e fertilizantes. Na cotonicultura de San Juan, os insumos que foram inseridos em maior quantidade foram óleo diesel e fertilizantes. Porém, pode-se notar uma diferença de resultados entre as duas regiões. O processo produtivo no Paraguai está mais próximo de um sistema caracterizado como familiar, enquanto no Brasil o processo de produção se assemelha a um sistema típico de industrialização da agricultura moderna. A participação energética da mão-de-obra em San Juan alcançou 4,88%, enquanto em Leme foi de 0,25%.

Rao *et.al.* (1992), analisaram a eficiência da cotonicultura em Hisar, no estado indiano de Haryana, chegando aos resultados de 0,89 de eficiência energética, descontando a formação de palhada. No sistema indiano, a irrigação consumiu cerca de 30% da energia de entrada, sendo que a mão-de-obra inserida representou apenas 6% da energia total.

A análise de Beltrão *et.al.* (1993) constataram que a cotonicultura arbórea no Nordeste (empreendimentos familiares) alcançou coeficiente energético de até 10,96, um resultado bastante positivo se comparado aos demais sistemas avaliados. O algodoeiro arbóreo tradicional alcançou coeficiente de 5,02 e o algodoeiro arbóreo precoce gerou 5,13 unidades de kcal excedentes. Note-se que o algodão arbóreo difere estruturalmente do algodão herbáceo e os sistemas familiar e empresarial também devem ser considerados heterogêneos.

Os resultados apresentados indicam que os sistemas são heterogêneos em relação à eficiência energética. De acordo com o valor mínimo para o índice proposto por Schroll (1994), apenas a cotonicultura nordestina da década de 1990 e a produção de algodão em San Juan no Paraguai apresentaram níveis positivos de sustentabilidade. Os demais sistemas necessitam de ajustes de estrutura para manutenção a longo prazo. O maior responsável dos inputs de energia na cotonicultura em Sorriso fica a cargo dos agroquímicos utilizados, em especial os inseticidas.

Contudo, esse quadro da atividade cotonícola indica a necessidade de refletir sobre o modelo produtivo estabelecido em Mato Grosso, modelo considerado como moderno, com baixa alocação de trabalho e dependência exógena de energia, podendo então, potencializar tensões de médio e longo prazo o que pode inviabilizar a produção regional em bases competitivas. O caos criativo (CASTELLS, 2000) que estruturou a cotonicultura atual em Mato Grosso, substituindo a produção familiar pelo atual modo de produção, que está baseado em empreendimentos capitalistas, necessita de ajustamentos e um novo caos criativo em que possa se assemelhar a um processo mais próximo de um processo produtivo que alcance a sustentabilidade energética.

Tabela 5 – Produtividade da cotonicultura em Sorriso.

Safras	Produtividade Kg/hectare	Pluma (39%)	Pluma em @/hectare
2011/12	3.707	1.445,73	96,3
2012/13	3.973	1.549,47	103,3

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de IBGE (2016).

Segundo os dados disponibilizados pela CONAB, a tabela 5 contém as informações sobre a produtividade média do algodão em caroço, que foi de 3.707 em quilogramas por hectare para a primeira safra analisada, e logo para a segunda safra obteve-se 3.973 quilogramas por hectare. Seguindo a informação sobre a composição do algodão colhido no trabalho de Chabaribery e Filho (1983), considerou que a pluma representa apenas 39%, logo o caroço representa 58% e resíduos 3%, não se considera a palhada, talos e folhas por não serem comercializados. Logo 39% do produto final colhido é a pluma do algodão sendo 1.445,73 quilogramas por hectare para a safra de 2011/2012, já para safra seguinte foi de

1.549,47 quilogramas por hectare, a pluma é que detém de um maior valor econômico agregado, pois a pluma é o objeto principal de comercialização desta cultura. Dados do IMEA mostram que a pluma do algodão é comercializada em arrobas (15 kg/@), calculando chega-se a 96,3 arrobas de pluma por hectare para a primeira safra, e 103,3 arrobas por hectare para a safra seguinte.

Tabela 6 – Custo, Preço médio e Receita da cotonicultura em Sorriso.

Safras	Custo total R\$/hectare	Preço médio R\$/@	Receita R\$/hectare
2011/12	3.310,67	51,61	4.974,28
2012/13	3.864,31	55,37	5.719,61

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de CONAB/IMEA (2016).

O total do custeio dos insumos que são utilizados por hectare na produção do algodão foram fornecidos pela CONAB. O valor é de R\$3.310,67 para a safra de 2011/2012 e R\$3.864,31 para a safra 2012/2013. Esse custo pode ter sido afetado pela variação de moeda estrangeira, pois grande parte dos insumos agrícolas são importados e cotados a preços em dólar americanos. Qualquer variação de câmbio com a moeda local pode ter afetado o preço dos insumos. Percebe-se que houve uma elevação de 16,72% nos custos de produção em um período de 6,31% de inflação medida pelo IGP-DI, entre junho/2013 e junho/2012 (mês de referência do final da safra). Ou seja, houve um crescimento real de 10,41% nos custos.

Segundo dados fornecidos pelo IMEA sobre a comercialização da pluma do algodão, o preço médio comercializado foi de R\$51,61 por arroba de pluma para a safra de 2011/2012, e R\$55,37 por arroba para a safra de 2012/2013. Com isso, obtém-se o valor da receita da produção cotonícola, que para a primeira safra analisada foi de R\$4.974,28 por hectare, já para a safra seguinte alcançou a cifra de R\$5.719,61 por hectare. Estes valores foram encontrados pelo produto entre o preço médio por arroba e a quantidade de arrobas geradas por hectare. A receita bruta expandiu 7,28% frente a uma inflação de 6,31%, indicando um ganho real de 0,97% na receita total no período.

Após analisar estes dados pode-se avaliar a Margem Bruta (MB) da produção cotonícola em Sorriso, com o objetivo de perceber sua capacidade de manutenção em um sistema econômico competitivo. Tem-se por hipótese, que quanto maior for a margem bruta de um sistema econômico, maior é o seu nível de acumulação de capital, e logo, maior é a capacidade competitiva. Este por sua vez, pode ser definido como um indicador da eficiência econômica do sistema de produção cotonícola do estudo aqui referido.

Tabela 7 – Margem Bruta da cotonicultura em Sorriso.

Safras	Margem Bruta	Margem Bruta (%)	Taxa de Juros	Retorno
2011/12	1,50	50,25%	11,04%	39,21%
2012/13	1,48	48,00%	8,17%	39,83%

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de CONAB/IMEA (2016).

Os dados da Tabela 7 mostram que na safra de 2011/2012 a margem bruta de 50,25% foi capaz de garantir acumulação de capital compatível com a taxa de juros básica da economia nacional, que foi de 11,04%. A margem bruta gerou um retorno de 39,21% acima da referência do custo de oportunidade. Esse fenômeno também ocorreu na safra 2012/2013 que com uma MB de 48,00% frente a uma taxa de juros básica da economia de 8,17%, gerou um retorno de 39,83%. Percebe-se que a pequena queda da MB em 2012/2013 foi equacionada com uma redução de 2,87% na taxa de juros de referência. Desta forma, o retorno real ficou em níveis estáveis. Pode-se notar que ocorreu um processo de acumulação de capital neste sistema produtivo, mesmo na presença de um sistema energeticamente ineficiente e custos crescentes acima da inflação. Uma conclusão que se chega é que os indicadores econômicos não estão integrados com os indicadores de sustentabilidade ambiental, podendo gerar um quadro onde os lucros escondem um processo de insustentabilidade energética.

Em uma perspectiva de longo prazo, mesmo tendo taxas de acumulação de capital, toda a cadeia produtiva deste segmento pode ser desestruturada por mostrar insustentabilidade pela ótica da economia ecológica e seu processo produtivo, podendo gerar perda de capital, desemprego e falências. A principal ideia da sustentabilidade se refere a necessidade de incorporar o princípio da precaução relacionada à alta dependência de energia exógena materializada em agrotóxicos, fertilizantes e máquinas. Uma possível desestruturação sistêmica que afetaria a planilha de custos deve ser considerada. Contudo, o que fica claro é que o modelo econômico permite a presença de lucros vigorando em paralelo a um sistema ineficiente do ponto de vista energético.

Não obstante, deve-se aceitar o princípio da precaução e repensar o modelo moderno de produção que está instalado no município. Uma das maiores preocupação é a enorme antropização do ambiente, causando a redução da biodiversidade e uso intensivo do solo que estão gerando uma necessidade de aporte de insumos, e sem a contrapartida da produtividade obter taxas de aumento. Se as condições edafoclimáticas pressionem ainda mais as condições de cotonicultura, os custos ecológicos (FARIA e CAMPOS, 2012) tendem a tornar a produção de algodão insustentável sob a ótica da economia ecológica a longo prazo e em condições de concorrência competitiva.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em relação à cotonicultura em Sorriso apresentam uma eficiência energética de 0,46 kcal para a safra 2011/2012 e 0,50 kcal para a safra 2012/2013, um índice considerado muito abaixo do que Schroll (1994) propôs como índice tendencialmente sustentável de um sistema agrícola em atividade de 2,00 kcal de saldo energético. O insumo mais relevante que afeta o índice de sustentabilidade energética de Sorriso são os inseticidas, que representam 64,33% do total. São consideradas fontes exauríveis 76,70% de todas as energias de entrada utilizadas.

Está claro que o sistema produtivo pode manter a operação mesmo com o coeficiente energético ineficiente enquanto houver acumulação de capital, ocultando a insustentabilidade do sistema. A referência para sustentação de uma atividade é a taxa de acumulação de capital e não indicadores biofísicos. Enquanto não houver uma integração dos indicadores econômicos com os sociais e biofísicos este tipo de discrepância não é percebida.

Da mesma forma que a ciência e tecnologia formataram o atual pacote técnico, pode-se construir outras trajetórias de inovação que venham a implantar um manejo ajustado às necessidades de manutenção da resistência e resiliência dos ecossistemas. Pode-se investir na substituição dos inseticidas convencionais por extratos vegetais, a exemplo das plantas da família *Piperaceae* que contém substâncias de propriedades inseticidas em sua composição, como o trabalho de Miranda et al. (2002) que apresentam o potencial inseticida do extrato da pimenta-longa (*Piper tuberculatum*) contra o curuquerê-do-algodoeiro (*Alabama argillacea*), sendo uma alternativa aos produtos químicos convencionais, com vantagens ecológicas, por causar baixo impacto ambiental e ao ser humano. Há diversas possibilidades de manejo integrado de pragas e não apenas a solução química que o mercado atualmente utiliza.

Este trabalho não visa esgotar o assunto, mas adicionar resultados locais que possam auxiliar os tomadores de decisão, públicos e privados, a planejar as atividades produtivas ajustadas às necessidades socioambientais do século XXI. A procrastinação de enfrentamento dos desafios identificados pode não apenas gerar perda de capital natural e poluição, mas crise econômica e social de grandes proporções que podem desestruturar economias e sociedades prósperas. O princípio da precaução é um bom sinalizador para esses casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, F. A. et al. **Balanco energético da cultura do algodão na pequena propriedade rural no cerrado de Mato Grosso do Sul**. Uberlândia: Abrapa, 2007b. VI Congresso Brasileiro de Algodão.

ALBUQUERQUE, F. A.; M, Beltrão N. E.; G, Vale D. **Análise Energética do Algodoeiro na Agricultura Familiar em Diferentes Regiões nos Estados do Ceará e do Mato Grosso do Sul**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007a. Circular Técnica n.º116.

ALTIERI, M.; MASERA, O. **Reconstruindo a agricultura: ideias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 1997.

ÁLVARES, Beatriz Alvarenga; LUZ, Antônio Máximo Ribeiro. **Física, Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2009.

AMPA. **Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão**. 2016. <http://www.ampa.com.br/site/index.php>. Acessado em 13/10/2016.

BELTRÃO, N. E. de M. et al. **Estimativa da energia cultural na cotonicultura arbórea no nordeste brasileiro, comparando-se o mocó tradicional com o precoce**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 1993. Boletim de Pesquisa, 29.

CARNOT, Nicolas Leonard Sadi. **Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance**. Paris: Chez Bachelier, 1824.

CARVALHO, E. F. et al. Estimativa dos fluxos energéticos da produção de soja em primavera do leste. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, v. 29-31, p. 57–61, 2012.

CECHIN, A. **A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen**. São Paulo: Senac São Paulo-Edusp, 2010.

CECHIN, A.; VEIGA, J. E. **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**. Peter H. May (org.). Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CHABARIBERY, D.; FILHO, E. P. Castanho. **Perfil energético da agricultura paulista**. São Paulo: Agricultura em São Paulo, 1983. 63-115 p. (tomos 1 e 2, v. 30).

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 2 - safra 2014/15, n.12, décimo segundo levantamento. Brasília, p. 1–134, 2015a.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. acompanhamento de safra brasileira de grãos, v. 2, safra 2014/15, n. 4, quarto levantamento. Brasília, p. 1–90, 2015b.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custo de Produção - Resumo**. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_06_14_34_28_resumo_algodao-sorriso-mt_jan_2011..pdf>.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custo de Produção- Resumo**. 2013. Disponível em: <http://conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_07_24_10_04_12_algodao-sorriso-mt_mai_2012.pdf>.

DINIZ, R. L.; FARIA, A. M. M. Avaliação ecológico-econômica da cotonicultura na região de Rondonópolis. **SOCIEDADE E DESENVOLVIMENTO RURAL**, v. 8, n. 4, 2014.

FARIA, Alexandre Magno de Melo. A expansão da cotonicultura em mato grosso na década de 1990: um caso paradigmático de desenvolvimento endógeno. 143 f. 2003.

FARIA, Alexandre Magno de Melo. **Destramando o Tecido do Desenvolvimento**. 1. ed. Cuiabá, MT: EdUFMT, 2012. 310 p.

FARLEY, J.; DALY, H. **Economia Ecológica: princípios e aplicações**. Lisboa: Instituto Piaget, 2004.

FERMI, Enrico. **Thermodynamics**. Toronto, Ontario: General Publishing Company, 1936.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **O decrescimento: entropia, ecologia, economia**. São Paulo: Senac São Paulo, 2012.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. **Rio de Janeiro: LTC**, v. 8, 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2011**. 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2011/>>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 1-101 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 1-102 p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa da População 2015**. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_tcu.shtm>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área Territorial Brasileira**. 2016a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default>>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades, Mato Grosso - Sorriso. Economia**. 2016b. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/economia.php?codmun=510792>>.

IMEA. **Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária**. 2016. <http://www.imea.com.br/site/principal.php>. Acessado em 13/10/2016.

LOYOLA, Roger. A economia ambiental e a economia ecológica: uma discussão teórica. **ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA**, v. 2, 1997.

MIRANDA, JOSÉ EDNILSON et al. Potencial inseticida do extrato de piper tuberculatum (piperaceae) sobre alabama argillacea (huebner, 1818)(lepidoptera: Noctuidae). **Rev. bras. ol. fibros. Campina Grande**, v. 6, n. 2, p. 557–563, 2002.

NASCIMENTO, C.K.; BRAGA, J. P.; FABRIS, J. D. Reflexões sobre a contribuição de Carnot à primeira lei da termodinâmica. **Quim. Nova. Belo Horizonte**, v. 27, n. 3, p. 513–515, 2004.

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

ODUM, H. T. **Environmental Accounting, Energy and Decision Making**. New York: John Wiley, 1996.

PRATES, A. L. et al. Eficiência energética da cotonicultura no ecótono cerrado-amazônia de mato grosso. **X ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA**, 2013.

PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **Order Out of Chaos**. Toronto, Ontario: Bantam Books, 1984. 354 p.

RAO, A. R. et al. Energetics of cotton agronomy. **Energy**, v. 17, n. 5, p. 493–497, 1992.

ROMEIRO, A. R. **Introdução à Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. May, P. H., Lustosa M.C., Vinha V. (org.). Rio de Janeiro: Campus, 2003.

ROMERO, M.G.C.; BUENO, O.C.; ESPERANCINI, M.S.T. Análise energética e econômica da cultura de algodão em sistemas agrícolas familiares. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 98–117, 2011.

SICHE-JARA, R. B. **Avaliação ecológica-termodinâmica e econômica de nações: o Peru como estudo de caso**. 2007. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SORRISO, Prefeitura Municipal de. **Um Breve Histórico**. 2016. Disponível em: <<http://www.sorriso.mt.gov.br/pagina/breve-historico>>.

WEBBER, M. E. Mais alimento, menos energia. **Scientific American Brasil, Aula aberta**, Ano II, n. 12, p. 34–39, 2012.