

ANÁLISE DA DINÂMICA ENERGÉTICA DE AGROECOSSISTEMAS

Jayme Bezerra de Menezes Neto¹
Jorge Luiz Schirmer de Mattos²
Francisco Roberto Caporal³

RESUMO

O objetivo desta revisão bibliográfica é apresentar um conjunto de ferramentas metodológicas úteis para as análises da dinâmica biofísica de agroecossistemas. Essas metodologias envolvem o cálculo dos Retornos de Energia Investida (REIs), que são indicadores de eficiência energética construídos a partir da quantificação e classificação da Produtividade Primária Líquida (PPL) e do consumo de insumos externos. Esses indicadores expressam não só o custo de energia da biomassa líquida produzida em benefício da sociedade, mas também possibilitam a coleta de informações sobre mudanças estruturais nos agroecossistemas que afetam a manutenção dos serviços ecossistêmicos por eles promovidos. O assunto foi abordado a partir do enfoque teórico-metodológico do Metabolismo Social Agrário e da perspectiva agroecológica. Com isso, buscou-se demonstrar que o uso de um conjunto de REIs proporciona uma análise mais profunda sobre a relação entre o fluxo energético, a manutenção dos elementos de fundo e a capacidade dos agroecossistemas de gerarem serviços ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Agroecologia; metabolismo social agrário; produtividade primária líquida; retornos de energia investida.

ANALYSIS OF THE ENERGY DYNAMICS OF AGROECOSYSTEMS

ABSTRACTS

The objective of this bibliographic review is to present a set of useful methodological tools for the analysis of the biophysical dynamics of agroecosystems. These methodologies involve the calculation of the Energy Return on Investment (EROI), which are indicators of energy efficiency constructed from the quantification and classification of Net Primary Productivity (NPP) and consumption of external inputs. These indicators express not only the energy cost of the net biomass produced for the benefit of society, but also enable the collection of information on structural changes in agroecosystems that affect the maintenance of ecosystem services

¹ Graduado em Agronomia (UFRPE). Mestrado em Extensão Rural e Desenvolvimento Local (UFRPE). Doutorando em Extensão Rural (UFSM). E-mail: jaymebmneto@gmail.com

² Graduado em Agronomia (UPF). Mestrado em Zootecnia (UFV), Doutorado em Zootecnia (UFV). Realizou estágio pós-doutoral na Universidad Pablo de Olavide, Sevilha-Espanha (2014). Professor Associado da UFRPE. Coordenador do Grupo de Pesquisa em Agroecologia. Email: jorge.mattos@ufrpe.br

³ Graduado em Agronomia (UFSM), Mestrado em Extensão Rural (UFSM), Doutorado em Agroecologia, Campesinato e Historia, do Instituto de Sociología y Estudios Campesinos Universidad de Córdoba - Espanha. Professor Adjunto da UFRPE. Núcleo de Agroecologia e Campesinato. Email: caporalfr@gmail.com

promoted by them. The subject was approached from the theoretical-methodological approach of Agrarian Social Metabolism and the agro-ecological perspective. The aim of this study was to demonstrate that the use of a set of REIs provides a deeper analysis of the relationship between energy flow, the maintenance of the fund elements and the capacity of agroecosystems to generate environmental services.

KEYWORDS: agrarian social metabolism, agroecology; energy return on the investment, net primary productivity.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de novas tecnologias agroindustriais de alta intensidade de energia na era pós-Segunda Guerra Mundial aumentou bastante a produção de alimentos. A globalização transformou ainda mais os sistemas agroalimentares, que estão cada vez mais interligados (PELLETIER et al., 2011). Neste contexto, as relações entre o uso de energia na agricultura, a produtividade dos agroecossistemas e as limitações de recursos de energia são complexas e interdependentes. Além disso, mudanças em curso na produção de alimentos e nas normas de consumo, em paralelo com a urbanização e mudanças demográficas, ressaltam a importância do uso de energia em sistemas de produção agrícola como questão relacionada diretamente com a sustentabilidade dos agroecossistemas e, conseqüentemente, como preocupação quando à segurança alimentar (PELLETIER et al., 2011).

Dentre os diversos tipos de interações biológicas nos ecossistemas, uma das mais importantes para a estrutura e organização das comunidades é a cadeia alimentar. Nesse sentido, vale lembrar que a quantidade finita de carbono orgânico sequestrado pelos vegetais através da fotossíntese sustenta quase todas as redes tróficas⁴, pois assim serve efetivamente como veículo para a transferência de energia solar em um meio acessível aos seres heterótrofos. Portanto, emergiu nos últimos anos um grande número de trabalhos avaliando a apropriação da biomassa ou a apropriação humana da Produtividade Primária Líquida (PPL)⁵ nos sistemas alimentares (PELLETIER et al., 2011).

Assim, para medir a eficiência da produção de energia, uma ferramenta metodológica que vem sendo bastante utilizada é o REI (Retorno de Energia Investida). Trata-se de um indicador que fornece informações para apoiar a tomada de decisões sobre este aspecto vital do funcionamento das atividades produtivas que é a eficiência energética (GIAMPIETRO et al., 2010). No entanto, esses autores também enfatizam que a eficiência energética não pode ser reduzida a um único número ou a um único critério de análise, especialmente quando aplicada à agricultura. Logo, as análises de energia na agricultura devem fornecer informações sobre a estrutura e as funções do agroecossistema (GLIESSMAN, 2002), em outras

⁴ A estrutura trófica de uma comunidade é determinada a partir da forma em que são satisfeitas as necessidades nutricionais das espécies dessa comunidade nas inter-relações com outras espécies (GLIESSMAN, 2002, p. 19).

⁵ A produtividade primária líquida (PPL, ou NPP- Net Primary Productivity, do inglês), é a quantidade de energia realmente incorporada nos tecidos das plantas (biomassa acumulada) e é o resultado dos processos opostos de fotossíntese e respiração. É expressa em termos de energia acumulada (por exemplo, joules / hectare / ano) ou em termos do material orgânico sintetizado (por exemplo, kg / hectare / ano) durante um determinado período de tempo. Portanto, é um importante dado para a avaliação da sustentabilidade de agroecossistemas por ser a base principal da cadeia trófica (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

palavras, sobre a manutenção de seus elementos de fundo⁶ (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

Por outro lado, os balanços energéticos aplicados à agricultura geralmente adotam uma abordagem input-output, com o objetivo de avaliar a energia externa investida por unidade de energia contida no produto agrícola (alimentos, fibras, madeira) que sai do sistema e está disponível para a sociedade. Esta abordagem é necessária, porém insuficiente, uma vez que esconde o funcionamento socioecológico interno dos agroecossistemas (TELLO et al., 2015). Portanto, foi necessário avançar para além dessa abordagem para se alcançar uma melhor compreensão do funcionamento energético dos agroecossistemas e fornecer chaves para melhorar sua sustentabilidade (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

Seguindo essa perspectiva, e com o objetivo de obter uma percepção biofísica da sustentabilidade dos agroecossistemas, neste artigo buscou-se descrever um conjunto de REIs, que visam analisar não só a energia investida na produção de biomassa que é útil para a sociedade, mas também a energia que é investida na manutenção do agroecossistema para que continue produzindo biomassa sob as melhores condições possíveis. Ou seja, é necessário considerar não só o custo de energia da produção de biomassa socialmente útil, mas também o custo de manutenção e regulação dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos agroecossistemas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O METABOLISMO SOCIAL

De acordo com Sevilla Guzmán (2007) o conceito de metabolismo social teria sido utilizado no século XIX, por Marx, para definir:

[...] definir o processo de interação que o homem, através do trabalho, vem desenvolvendo com a natureza. [...] a artificialização destrutiva que o capitalismo provocava havia gerado uma fratura irreparável de forma tal que este metabolismo havia sido alterado pelas relações de produção, estabelecendo uma separação antagônica entre cidade e campo. (SEVILLA GUZMÁN, 2007, p.34, tradução nossa).

Não obstante, o tema do metabolismo foi retomado por vários pesquisadores, especialmente a partir do final dos anos 90 do século XX, quando a pesquisadora austríaca Marina Fisher-Kowalski (1997) publicou um artigo resgatando a noção de Metabolismo Social. Fischer-Kowalski (2002), porém, para conectar os estudos das interações entre a sociedade e o meio ambiente, apoiou-se também na teoria moderna dos sistemas⁷ para compreender o metabolismo da sociedade pelo qual é possível descrever, ademais, como os sistemas simbólicos podem influir nos sistemas materiais e vice-versa (GARCÍA, 2012).

Contudo, esse metabolismo energético-material está diretamente relacionado com os princípios da termodinâmica, ou seja, baseia-se na Lei da

⁶ Os elementos de fundo de um agroecossistema são o que sustenta o fluxo de serviços ecossistêmicos. Os principais componentes são o solo, a água e a biodiversidade.

⁷ Para Bertalanffy (1975), *Sistema* pode ser definido como um conjunto de elementos interdependentes que interagem com objetivos comuns formando um todo, e onde cada um dos elementos componentes comporta-se, por sua vez, como um sistema cujo resultado é maior do que o resultado que as unidades poderiam ter se funcionassem independentemente.

conservação da energia (energia não pode ser criada, nem destruída) e na Lei da Entropia, que afirma que nem toda a energia de entrada pode ser transformada em trabalho pelo sistema. Logo, uma parte é necessariamente dissipada na forma de calor.

Um dos primeiros economistas a pesquisar o que acontece com a matéria e a energia durante o processo econômico foi Georgescu-Roegen (1971). Ele desenvolveu um princípio universal que amplia a aplicação da Segunda Lei da Termodinâmica nos processos econômicos. Segundo esse autor, é verdade que a energia não se perde, porém ela é depreciada quando for utilizada em um processo econômico e transformada em descarte. A matéria e a energia entram em qualquer processo econômico no estado de baixa entropia e o deixam no estado de alta entropia.

Por sua vez, os autores González de Molina e Toledo (2011) apontam que a teoria do Metabolismo Social foi desenvolvida para compreender, de forma sistêmica e integrada, as relações entre sociedade e natureza. Portanto, tem como objetivo principal “analisar, descrever e quantificar os fluxos de matéria e energia intercambiados entre conglomerados sociais e o ambiente natural.” (GONZÁLEZ DE MOLINA; TOLEDO, 2011, p.62).

Ocorre que os seres humanos estabelecem relações com a natureza de maneira biológica e coletiva. Em nível individual, para sobreviver, extraem da natureza oxigênio, água e biomassa; excretando calor, dióxido de carbono, água, substâncias orgânicas e minerais. Em nível social, o conjunto dos indivíduos, articulados através de diferentes tipos de relações, organiza-se para garantir a sua sobrevivência e reprodução, extraindo, também, matéria e energia da natureza através de estruturas ou artefatos metaindividuais, e excretam uma gama de resíduos ou dejetos. Estes dois níveis correspondem ao que Margalef (1993) chamou de energia endossomática e energia exossomática, respectivamente (GONZÁLEZ DE MOLINA; TOLEDO, 2011).

A energia endossomática era quase o único tipo de energia extraída da natureza nos primeiros estágios societários, com uma quantidade mínima transformada em instrumentos para uso doméstico. No entanto, nas sociedades industriais atuais, a energia exossomática ultrapassa de trinta a quarenta vezes a soma da energia utilizada pelos indivíduos que a compõem (TOLEDO, 2013).

A relação entre estes dois níveis de fluxos de energia, ou seja, entre a energia *biometabólica* e *sociometabólica*, pode ser usada como um indicador da complexidade material das sociedades e, juntos, constituem o processo geral de mútua relação entre a natureza e a sociedade (GONZÁLEZ DE MOLINA; TOLEDO, 2011).

2.1.1 Os processos metabólicos

O Metabolismo Social não é algo estático e imutável, pois se trata de um processo metabólico, o qual, segundo Toledo (2008), manifesta-se através de cinco fenômenos: “Apropriação (A); Transformação (T); Circulação (C); Consumo (Co) e Excreção (E)”. Assim, o ato de Apropriação (A) constitui a forma primária de intercâmbio entre a sociedade humana e a natureza, por onde a sociedade se nutre de todos os materiais, energias e serviços ambientais que os seres humanos requerem para se manterem e se reproduzirem (TOLEDO, 2008).

Já a Transformação (T) representa as mudanças produzidas sobre os produtos extraídos da natureza e que não são consumidos em sua forma original. Isto inclui tanto as formas mais elementares de preparação de alimentos, como suas formas mais elaboradas de transformação de materiais na metalurgia, na indústria

nuclear, na biotecnologia, na petroquímica. Ao longo do tempo, T foi se tornando mais complexo, sendo menos intensivo em trabalho e mais intensivo no uso de energia, pois passamos do artesanato e manufatura à industrialização (GONZÁLEZ DE MOLINA; TOLEDO, 2011, tradução nossa).

Ainda segundo Toledo (2005. p.6, tradução nossa), a Circulação (C) aparece “quando as unidades de apropriação deixam de consumir tudo o que produzem e de produzir tudo o que consomem”. Com isso, inicia-se o fenômeno do intercâmbio econômico. Os elementos extraídos da natureza começam a circular – transformados ou não – e o que se observa é que, ao longo da história, cresceram não só os volumes do que circula, mas também a distância percorrida antes de serem consumidos. A magnitude de C aumentou desde o processo não mercantil, nem monetário, até os processos mediados pelo dinheiro, propriedade privada e pelos mercados mundiais. Como afirma Naredo (2000), está cada vez mais difusa a relação direta e quase imediata entre apropriação e consumo.

Ademais, no processo metabólico do Consumo (Co) “participa toda a sociedade, independentemente de sua posição na cadeia metabólica”, e pode ser entendido a partir da relação que existe entre as necessidades do ser humano, social e historicamente determinadas e proporcionadas por meio dos três processos: A + T + C (GONZÁLEZ DE MOLINA; TOLEDO, 2011, p.67, tradução nossa). Nas antigas sociedades “orgânicas” (camponesas) havia um baixo Co. Contudo, na era do metabolismo industrial, o consumo constituiu um poderoso fator de demanda que incentiva e, em certa medida, subordina os demais processos metabólicos (NAREDO, 2000).

Por fim, a Excreção (E), segundo Toledo (2005. p.6, tradução nossa), é o ato pelo qual a sociedade humana joga fora materiais e energia na natureza. Isso inclui lixo, gases, substâncias químicas e calor. Neste campo do metabolismo é preciso considerar a qualidade dos resíduos (se são recicláveis ou não pela natureza) e a quantidade (se estão acima da capacidade de reciclagem da natureza). Também se inclui aqui o calor que é gerado por toda a atividade humana e que é a resposta física a toda a transformação ou movimento (TOLEDO, 2005; GONZÁLEZ DE MOLINA; TOLEDO, 2011).

2.1.2 O metabolismo social agrário

Destacam-se três modos principais de organizar o Metabolismo Social com a Natureza, ou seja, três grandes tipos de uso ou apropriação dos recursos naturais: o modo dos caçadores coletores, o das sociedades agrárias e o da sociedade industrial. Assim, o Metabolismo Social Agrário (MAS) refere-se ao intercâmbio de energia, materiais e informações estabelecido pelo setor agrário da sociedade com o seu ambiente sócio-ecológico (TOLEDO, 2008). Sobre a abordagem do MSA, Toledo e González de Molina (2005) apontam que:

Todo ecossistema é um conjunto identificável no espaço planetário, em que os organismos e suas interações, os fluxos de materiais e energia e os ciclos biogeoquímicos estão em um equilíbrio dinâmico, o que quer dizer que são entidades capazes de automanutenção, autorregulação e de autorreplacação [...] o que nos revela os mecanismos pelos quais a natureza se renova continuamente. O reconhecimento desta dinâmica no ecossistema que opera como objeto de apropriação (e depósito último de excreção), resulta então vital para manter um metabolismo social ecologicamente adequado, pois toda sociedade só é sustentável quando consegue

funcionar sem afetar a reprodução de sua base material. (TOLEDO; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2005, p.9, tradução nossa).

González de Molina (2011) complementa que o enfoque do Metabolismo Social Agrário pode trazer muitos benefícios para orientar os processos de transição agroecológica, do modelo agrícola convencional para estilos de agriculturas mais sustentáveis. Segundo o mesmo autor, o enfoque metabólico dos sistemas agrários é de grande utilidade para a Agroecologia⁸, pois:

Proporciona informações sobre o funcionamento físico e suas diferenças no espaço e no tempo. Permite mostrar com mais clareza as diferenças, do ponto de vista estrutural e funcionamento biofísico, entre as agriculturas de base orgânica- sejam tradicionais ou as atuais agriculturas ecológicas- e agriculturas industrializadas (GONZÁLEZ DE MOLINA, 2011, p.47, tradução nossa).

Contudo, ao relacionar os conceitos referentes à construção do paradigma da Agroecologia com o ponto de vista do MSA, algumas informações são fundamentais para os estudos sobre o funcionamento dos agroecossistemas, pois como afirma González de Molina:

Quanto maior a biodiversidade, maior o subsídio para o funcionamento dos agroecossistemas com serviços ecológicos, tais como reciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas e doenças, conservação do solo e da água, presença de polinizadores, etc. Do contrário, quanto mais vão sendo simplificados os agroecossistemas, mais se perdem as sinergias e diminui a biodiversidade (GONZÁLEZ DE MOLINA, 2011, p.65, tradução nossa).

Assim, “a insustentabilidade do agroecossistema pode se expressar pela obtenção de resultados econômicos favoráveis às custas da deprecação da base de recursos naturais que são fundamentais para as gerações futuras” (CAPORAL; COSTABEBER, 2002. p.77).

2.3 A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA

A capacidade dos ecossistemas de conversão de energia solar em biomassa é chamada de Produtividade Primária Bruta. Grande parte dessa energia fixada é usada pelas plantas em seus processos metabólicos e é dissipada no ambiente em forma de calor (FEIDEN, 2005). A energia fixada restante é a Produtividade Primária Líquida (PPL), que representa a quantidade de energia realmente incorporada nos tecidos das plantas, ou seja, é a diferença entre os processos de fotossíntese e de respiração, podendo ser expressa em termos de energia acumulada (joules / ha / ano) ou em termos de matéria orgânica sintetizada (Kg / m² / dia ou t / ha / ano).

⁸ A Agroecologia estabelece as bases para a construção de estratégias de desenvolvimento rural sustentável que, utilizando várias disciplinas científicas, pretende estudar, analisar, desenhar e avaliar os agroecossistemas, com o propósito de permitir a implantação e o desenvolvimento de sistemas agrícolas com maiores níveis de sustentabilidade (ALTIERI, 2012).

Sua importância é fundamental, pois se trata da base sobre a qual a cadeia alimentar é construída e estabelece os limites da capacidade de manutenção das populações heterotróficas. Por isso, a PPL é considerada a base do Metabolismo Social Agrário, uma vez que a sua apropriação pela sociedade humana afeta a manutenção de todos os seres vivos (GUZMÁN et al., 2014).

Entretanto, como nem toda a biomassa acumulada é de igual interesse, pois representam distintas funções ecossistêmicas, é importante que no levantamento da PPL dos agroecossistemas estudados seja quantificada a biomassa acumulada pelas plantas, tanto abaixo quanto acima da superfície do solo, e diferenciem-se as suas proporções que são de interesse comercial e as que ficam no campo (folhas, palhas e raízes), tanto reincorporadas ao solo por meio de trabalho, como as adubações verdes ou compostos orgânicos, quanto as que são simplesmente abandonadas no local. Assim, destaca-se nesta perspectiva agroecológica utilizada por Guzmán et al. (2014), a valorização do armazenamento de nutrientes e carbono no solo a partir do acúmulo das raízes.

Nesta abordagem, o principal fluxo de energia percorre as seguintes etapas: as plantas convertem a radiação solar em energia química durante o processo de fotossíntese, produzindo biomassa. Em seguida, a energia acumulada na forma de biomassa vegetal (PPL) fica disponível para todos os outros organismos (heterotróficos). Desta forma, a energia fixada via fotossíntese dá suporte à grande diversidade de espécies que habitam os ecossistemas. Portanto, o fluxo de energia pode ser relacionado ao número de espécies de um determinado ecossistema. Isto significa que, se a quantidade de energia remanescente num ecossistema é reduzida, o número de espécies que vivem no mesmo também irá diminuir (WRIGHT, 1990).

Contudo, nos agroecossistemas ocorre também a apropriação humana dos produtos da fotossíntese, o que dá origem a diferentes graus de intervenção (GONZÁLEZ DE MOLINA; TOLEDO, 2011). Por outro lado, nos estudos sobre dinâmica energética na agricultura, muitas vezes, apenas a parte colhida das plantas cultivadas são levadas em consideração, enquanto a biomassa das raízes e os resíduos das culturas são frequentemente ignorados. Entretanto, uma abordagem agroecológica deve levar em consideração toda a biomassa produzida dentro dos limites do agroecossistema, ou seja, toda a PPL. A razão para isso é que a reprodução dos elementos de fundo dos agroecossistemas (solo, água e biodiversidade) depende, direta ou indiretamente, da biomassa total produzida, não apenas do que é colhido. Ou seja, a parte não colhida ou não retirada do agroecossistema cumpre funções ecológicas importantes⁹ que precisam ser valorizadas.

Aparentemente, a mudança técnica ocorrida na agricultura que se deu durante a história, orientada para os interesses de mercado e para o aumento da produtividade, pode ser considerada um ganho de eficiência. Isso significa atender a um número cada vez maior de necessidades humanas com a mesma capacidade de PPL apropriada através de agroecossistemas. No entanto, deve ser priorizada uma eficiência energética sustentável. Desviar uma maior proporção do mesmo fluxo da PPL para o consumo humano também pode implicar uma redução nos fluxos internos de Biomassa Reutilizada e da fitomassa que não é colhida. Logo, a tendência para reutilizações cada vez mais baixas dos restos internos da biomassa torna-se insustentável quando põe em perigo o investimento energético necessário

⁹ A proteção contra a erosão, aumento da matéria orgânica e da fertilidade do solo, incremento da vida de micro-organismos, etc.

para recursos importantes do agroecossistema, como a fertilidade do solo e a biodiversidade, por exemplo.

Nesta direção, uma contribuição importante foi dada pela pesquisa de Guzmán et al. (2014), que apresentou como resultado de um manual metodológico contendo informações básicas para estimar a PPL de áreas de cultivo, tanto no presente quanto no passado, em termos de matéria fresca, matéria seca e energia bruta (GUZMÁN et al., 2014). Nesse trabalho, os autores confirmaram que a quantificação da PPL dos agroecossistemas, como também dos fluxos de biomassa formados a partir dele, são essenciais para definir os perfis metabólicos e, assim, avaliar a sustentabilidade, tanto das sociedades agrícolas tradicionais, quanto das industriais (GUZMÁN et al., 2014).

Outro estudo de fundamental importância para o campo de pesquisa do Metabolismo Social Agrário foi realizado por Aguilera et al. (2015). Nesse trabalho, os pesquisadores analisaram a energia associada aos insumos agrícolas em uma perspectiva histórica. O estudo se baseia em uma ampla revisão bibliográfica para criar “uma base de dados coerente que inclui toda a energia direta e indireta associada aos principais insumos agrícolas.” (AGUILERA et al., 2015, p.2, tradução nossa).

Portanto, para efetuar os cálculos sobre a eficiência energética são necessárias informações sobre o tipo de manejo e processos tecnológicos utilizados, variedades cultivadas, quantificação de insumos, utilização de força de trabalho e de mecanização, gasto de energia elétrica e a biomassa vegetal produzida, que também deve ser decomposta em partes, levando-se em consideração a maneira como são utilizadas. Também é necessária a obtenção de informações mais detalhadas sobre o sistema de produção e aspectos morfológicos das culturas agrícolas estudadas, sobre a quantificação de energia incorporada na biomassa e associada ao uso de determinados insumos, máquinas e manejos adotados, além de informações sobre conversão de energia em trabalho e vice-versa. Isso é possível baseando-se, especialmente, em dados secundários, por meio de consultas à literatura específica sobre o assunto e trabalhos já realizados nesta área de pesquisa (AGUILERA et al., 2015; GUZMÁN et al., 2014; GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015; TELLO et al., 2015). Desta forma, é possível se fazer a quantificação da PPL, ou seja, de toda a biomassa vegetal produzida no agroecossistema estudado.

Em seguida, a PPL deverá ser decomposta em distintas partes, diferenciando a biomassa apropriada pela sociedade humana (produto colhido, por exemplo, que alguns autores chamam de biomassa socializada), daquela que recircula dentro dos limites do sistema, que pode ser a biomassa reutilizada como insumo orgânico no próprio agroecossistema, as raízes, restos de cultura, etc.

Nesse sentido, Guzmán et al. (2014), publicaram uma lista de índices e fatores de conversão que passaram a ser utilizados como referência em diversos estudos, tanto na Espanha como em outros países. Os fatores de conversão desenvolvidos por estes autores permitem aos pesquisadores da área: a) calcular a biomassa total produzida no agroecossistema a partir da produção agrícola, que é a única informação normalmente disponível em fontes históricas; b) converter a biomassa fresca em biomassa seca; c) converter a biomassa em energia bruta.

Para efetuar os cálculos referentes à quantificação da PPL também é fundamental que sejam utilizados índices ou fatores de conversão que relacionam as diferentes partes da planta (raiz, parte colhida, parte aérea), obtidas a partir dos dados coletados em campo ou em literatura especializada.

Ainda segundo Guzmán et al. (2014), é importante decompor a PPL em diferentes partes para que seja possível analisar, de maneira mais ampla, a

utilização da biomassa vegetal no sistema, a partir da aplicação das fórmulas de REIs, como proposto pelos autores. Portanto, a PPL dos agroecossistemas deverá ser dividida nas seguintes partes:

- *Biomassa Vegetal Socializada (BVS)*: é a biomassa vegetal (madeira, lenha, grãos de cereais, etc.) que é apropriada diretamente pela sociedade humana, considerada como extraída do agroecossistema, isto é, antes de seu processamento industrial, se houver (transformação em farinha, óleo, embutidos, doces, etc.). Desta forma, evita-se o efeito das mudanças na eficiência agroindustrial na comparação dos agroecossistemas estudados.

- *Biomassa Animal Socializada (BAS)* é a biomassa animal que é apropriada diretamente pela sociedade. Obviamente, o BAS não faz parte do PPL. Contudo, a soma de BVS e BAS é a *Biomassa socializada (BS)*, que é a biomassa total apropriada pela sociedade.

- *Biomassa Reciclada (BRc)*: é a biomassa que não é diretamente apropriada pela sociedade (BVS) ou acumulada nas estruturas das plantas vivas, mas que é reincorporada no agroecossistema. Sementes e órgãos de reprodução vegetativa (tubérculos, rizomas, mudas) fazem parte do BRc. No entanto, a maior parte da BRc é o reciclado através da ação dos organismos heterotróficos silvestres.

Na perspectiva da sociedade, a BRc pode ser dividida em duas partes:

- *Biomassa Reutilizada (BRu)*: esta é a porção que é intencionalmente devolvida ao agroecossistema pelos seres humanos (aquela transformada em composto orgânico ou adubação verde, por exemplo).

- *Biomassa Não-colhida (BNC)*: esta é a biomassa que é devolvida ao agroecossistema por abandono, não na busca de qualquer objetivo específico. Seu retorno não envolve o investimento de qualquer trabalho humano. Este é o caso de resíduos de colheitas que não recebem qualquer tratamento específico, ou a porção de pastagem não consumida pelo gado, ou os restos de árvores e a maior parte dos sistemas radiculares que não são colhidos pela sociedade e que são reciclados por organismos heterotróficos.

A BNC pode, ainda, ser dividida em Biomassa Não-colhida acima do solo (BNCA) e Biomassa Não-colhida subterrânea (BNCS), dependendo da localização desta biomassa quando ela é abandonada.

- *Biomassa Acumulada (BA)*: em agroecossistemas com espécies perenes, bem como a biomassa extraída pela sociedade e que é reciclada a cada ano, há outra porção de biomassa que se acumula anualmente na estrutura aérea (tronco e coroa) e nas raízes.

Portanto, por intermédio desses parâmetros é avaliada a eficiência energética a partir da perspectiva agroecológica sobre níveis de sustentabilidade dos agroecossistemas.

2.4. RETORNO DE ENERGIA INVESTIDA

Os Retornos de Energia investida (REIs) são indicadores que visam medir a eficiência do uso de energia e, ao fazê-lo, fornecem informações sobre o funcionamento das atividades produtivas. Esta ferramenta tem sua origem na ciência econômica e baseia-se nos mesmos critérios de avaliação de custo-benefício dos investimentos monetários. Mas, ao ser utilizada para análise da energia, ela fornece um indicador numérico que pode ser usado de forma rápida e fácil para comparação com outros processos de energia semelhantes, tanto no espaço quanto no tempo (MURPHY et al., 2011).

Quando aplicado à agricultura, o REI mede a quantidade de energia investida para se obter uma unidade de energia sob a forma de biomassa. Em

termos mais simples, podemos dizer que um REI na agricultura mede o investimento aplicado na produção de biomassa líquida que é apropriada pela sociedade (MARTINEZ ALIER, 2011), seja sob a forma de produtos alimentares, matérias-primas ou biocombustíveis.

Dado que a alimentação das pessoas e a produção da maioria das matérias-primas só podem ser satisfeitas através da produção de biomassa, a eficiência do uso de energia na agricultura tornou-se uma questão fundamental e de grande interesse (TELLO et al., 2015). Assim, foram pensadas estratégias de projetar os REIs para tornarem-se uma maneira de medir a eficiência sociometabólica, isto é, da troca de energia entre um sistema agrário (sociedade) e o meio ambiente, permitindo analisar se essa troca metabólica é sustentável ao longo do tempo (TELLO et al., 2015).

Apoiados nessa abordagem, Gloria Guzmán e Manuel González de Molina (2015), mostraram que as análises energéticas aplicadas à agricultura expressam algo mais do que o *custo energético* da biomassa produzida em benefício da sociedade. “Elas devem também fornecer informações sobre mudanças estruturais e funcionais que possam afetar a manutenção dos serviços ecossistêmicos que o agroecossistema proporciona.” (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015, p.924, tradução nossa). Portanto, foi necessário adotar um enfoque agroecológico para considerar que esse fornecimento de serviços não termina com a reutilização de sementes ou a produção da alimentação animal, mas, também, se estende à manutenção dos demais serviços ecossistêmicos, como, por exemplo, reciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas, conservação do solo, etc.

Assim, a metodologia proposta por esses autores diferenciou-se de outras análises pelo fato de que reconhece, também, a importância das porções da biomassa produzida que são reutilizadas ou recicladas internamente nos sistemas produtivos agrícolas e que são consideradas como elementos que contribuem para o equilíbrio socioecológico dos agroecossistemas (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

Como afirmam Guzmán e González de Molina (2015), o desenvolvimento de ferramentas metodológicas com enfoque agroecológico pode contribuir para uma melhor compreensão do funcionamento energético dos agroecossistemas e, dessa forma, fornecer informações para melhorar sua sustentabilidade. Como a Agroecologia opera na interface entre a natureza e a sociedade, e tem como sua unidade de análise todo o agroecossistema, esta abordagem contribui para avaliar a (in)sustentabilidade agrária (GLIESSMAN 2002). Ademais, essa abordagem é ecologicamente relevante também por levar em consideração o fluxo dos elementos de fundo, vistos como geradores de serviços ecossistêmicos e dissipadores de entropia (GEORGESCU-ROEGEN, 1971), parte dos quais são utilizados para a renovação dos próprios agroecossistemas (GUZMÁN et al., 2017),

Neste sentido, todo agroecossistema possui uma capacidade específica para fornecer esses serviços, dependendo do solo e das condições climáticas. No entanto, os agroecossistemas também dependem da gestão humana, que afeta a quantidade e a qualidade dos elementos de fundo e, portanto, a taxa a que eles prestam serviços ambientais também depende de como eles são gerenciados. Assim, uma provisão adequada de serviços dependerá da saúde geral do agroecossistema, isto é, da sustentabilidade de seus elementos de fundo (GUZMÁN et al., 2017). Por outro lado, a degradação dos elementos de fundo dentro de um agroecossistema pode reduzir sua oferta de serviços ecossistêmicos. Os elementos de fundo de um agroecossistema exigem uma quantidade específica de energia para reprodução e manutenção, que só pode ser parcialmente substituída por energia externa. Por exemplo, apenas a biomassa pode alimentar as cadeias

alimentares que sustentam a vida no solo e a biodiversidade geral do agroecossistema (GUZMÁN et al., 2017).

Logo, o grau em que a sociedade se apropria da biomassa pode ser calculado e utilizado como um indicador de pressão sobre a biodiversidade, o que pode ser indicado por outros REIs. Ou seja, os elementos de fundo de um agroecossistema, dos quais depende um suprimento adequado de serviços ecossistêmicos (entre eles, a produção de biomassa socialmente útil, como alimentos, combustíveis e fibras), são mantidos ou melhorados por meio de fluxos de biomassa adequados (SMIL, 2013; TITTONELL, et al., 2012).

Assim sendo, trata-se de um indicador que tem por objetivo medir a eficiência do uso de energia e, portanto, fornecer informações também sobre o funcionamento de atividades produtivas na perspectiva da sustentabilidade socioambiental. Logo, ainda que esta metodologia tenha sua origem na economia, quando aplicada à agricultura fornecesse informações importantes ao quantificar os fluxos de energia.

2.5 RETORNO DE ENERGIA INVESTIDA NA PERSPECTIVA ECONÔMICA

a) Retorno de Energia Investida Final

O Retorno de Energia Investida final (REI_{Final}) mede a quantidade de energia em forma de biomassa apropriada pela sociedade em relação à energia que a sociedade tem investido. E, por se tratar de uma proposta fundamentada na ciência da economia, sua importância é mais apropriada para mensurar a eficiência ou custo de energia no contexto da agricultura industrial (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015), embora também possa ser utilizadas em outras situações. O REI_{Final} pode ser obtido utilizando-se a seguinte fórmula:

$$REI_{Final} = BS / (BRu + IE);$$

Onde:

REI_{Final} = Retorno de Energia Investida final

BS = Biomassa Socializada = BVS+BAS

BRu = Biomassa Reutilizada

IE = Input Externo

Esta perspectiva orientou o uso de vários REIs no estudo da agricultura e sua história (TELLO et al., 2015), e apresenta um enfoque *microeconômico* equivalente à perspectiva do agricultor, cuja vertente social aborda a rentabilidade do investimento em energia para a produção de biomassa líquida, tanto para o agricultor (perspectiva microeconômica) quanto para a sociedade como um todo (perspectiva macroeconômica) (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

Assim, o REI Final poderá ser desdobrado em duas partes:

$$1) REI_{Final\ externo} = \frac{BS}{IE}.$$

Esse REI relaciona o setor agrário ao restante do sistema energético de uma sociedade e, assim, avalia em que medida o agroecossistema analisado se torna um provedor líquido ou um consumidor líquido de energia.

$$2) REI_{Final\ interno} = \frac{BS}{BRu}$$

Esse REI representa a eficiência com que a biomassa que é devolvida intencionalmente ao agroecossistema é transformada em um produto útil para a sociedade. Este indicador não tem sido utilizado habitualmente, mas a sua utilidade tem aumentado pelo fato de que esta biomassa pode ter usos alternativos (por exemplo, biocombustíveis), uma vez que a sua má gestão pode causar problemas ambientais (contaminações da água ou problemas sanitários) ou devido aos serviços ecossistêmicos que podem fornecer, como melhoria na fertilidade do solo e do sequestro de carbono (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

2.5.1 Retorno de energia investida na perspectiva agroecológica

Alguns autores do campo da Agroecologia desenvolveram uma nova perspectiva metodológica que amplia o uso dos indicadores REIs, geralmente empregados para analisar a eficiência energética. Com isso, buscou-se medir a eficiência dos agroecossistemas na transformação da energia total que recebem (entradas externas e/ou entradas internas) e que é transformada em Produtividade Primária Líquida (PPL) além de criar indicadores que mostram se a energia investida está melhorando a estrutura e os serviços ecossistêmicos (biodiversidade, arborização, equilíbrio climático, etc.) e, conseqüentemente, para uma avaliação da sua sustentabilidade, considerando a perspectiva agroecológica (GUZMÁN et al., 2014). Desta maneira, algumas relações foram desenvolvidas para que os estudos com enfoque agroecológico ampliassem suas formas de análise dos agroecossistemas, como segue abaixo:

- a) Retorno de energia investida da produção primária líquida real (REI_{PPL}):

$$REI_{PPL} = PPL_{real} / ITC =$$

Sendo:

$$PPL_{Real} = BVS + BRu + BNU + BA$$

Onde:

BVS = Biomassa Vegetal Socializada

BRu = Biomassa Reutilizada

BnU = Biomassa Não Utilizada

BA = Biomassa Acumulada

ITC= Input Total Consumido = BRc + IE

Onde:

BRc= Biomassa Reciclada

EI = Input Externo

O REI_{PPL} informa sobre a capacidade produtiva do agroecossistema, qualquer que seja a fonte da energia que receba. Assim, em alguns sistemas “modernos”, os processos de degradação dos recursos naturais devem ser substituídos (por exemplo: por fertilizantes químicos), pelo menos em parte, pela incorporação de quantidades crescentes de energia para compensar a perda de capacidade produtiva dos agroecossistemas (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

Segundo afirmam Guzmán e González de Molina (2015), os valores decrescentes do REI_{PPL} de um agroecossistema, ao longo do tempo, indicam processos de degradação da capacidade produtiva. O contrário ocorreria com valores crescentes.

b) Retorno de Energia Investida final agroecológico (REI_{Final Agroecológico}):

$$\text{REI}_{\text{Final Agroecológico}} = \frac{BS}{TIC}$$

Do ponto de vista ecológico, a BS é o resultado não apenas da energia expressamente investida pela sociedade nas operações agrícolas do agroecossistema, mas, também, do que é realmente reciclado sem intervenção humana. Isso indica que na produção estão envolvidas a energia utilizada pela sociedade para o funcionamento do ecossistema agrícola, a biomassa que não é diretamente apropriada pela sociedade (BVS) e a biomassa que é reincorporada no agroecossistema (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

Portanto, do ponto de vista agroecológico, a relação entre este indicador e o REI_{Final} é de grande interesse para os estudos sobre sustentabilidade dos agroecossistemas.

2.5.2 RELAÇÃO ENTRE REI_{FINAL AGROECOLÓGICO} E O REI_{FINAL}

$$\frac{\text{REI}_{\text{Final Agroecológico}}}{\text{REI}_{\text{Final}}} = \frac{\text{Biomassa reutilizada} + \text{Inputs externos}}{\text{Biomassa reutilizada} + \text{Inputs externos} + \text{Biomassa não colhida}} =$$

De acordo com a fórmula, percebe-se que o resultado será 1 quando toda a biomassa reciclada for reutilizada, indicando muita intervenção da sociedade no agroecossistema, que poderia até mesmo ser um sistema de produção orgânica, mas que não deixaria biomassa abandonada para as espécies heterotróficas. O resultado será zero quando não existe nenhuma entrada externa ou reutilização de biomassa pela sociedade. Ou seja, nesse caso se trataria de ecossistemas naturais, sem intervenção humana (GUZMÁN; GONZÁLEZ DE MOLINA, 2015).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas metodológicas apresentadas neste artigo criam condições para uma ampla coleta de dados sobre informações que indicam potencialidades e limitações socioecológicas relacionadas, principalmente, com a manutenção dos elementos de fundo que garantem a capacidade de gerar fluxos de serviços ecossistêmicos e que compõem a estrutura produtiva dos agroecossistemas, possibilitando, inclusive, maior capacidade de resiliência.

Outra colaboração possível dessas metodologias é permitir considerar a biomassa socializada como um fruto de todo o investimento que é feito no agroecossistema, pois não é apenas a energia externa que induz à produção agrícola, o que indica que não é possível que a biomassa seja substituída por insumos externos (minerais ou fósseis) sem que haja um impacto negativo aos elementos de fundo que estruturam o agroecossistema e que necessitam da manutenção da biomassa e dos fatores abióticos (solo, água, paisagens) para sustentar os níveis produtivos, não só das culturas agrícolas, mas de toda a biodiversidade. Portanto, pode-se afirmar que esse conjunto de ferramentas metodológicas possibilita avanços na análise das dinâmicas biofísicas e socioecológicas de distintos agroecossistemas.

Ademais, o diálogo entre o conhecimento acadêmico e os diferentes saberes tradicionais tem como unidades de análise principal os agroecossistemas familiares. Portanto, especialmente na realidade brasileira, é importante a adaptação

e utilização de metodologias para uma melhor compreensão da realidade e diálogo junto aos sujeitos dos territórios rurais em busca do estabelecimento de relações menos deletérias entre sociedade e natureza.

Daí a importância de ressaltar, também, que para uma correta análise de sustentabilidade de agroecossistemas é necessário levar em conta, além da dimensão ecológica, as dimensões econômicas e sociais. Isso implica que os fluxos econômicos e de informações devem, necessariamente, ser considerados no esquema metabólico.

4. REFERÊNCIAS

AGUILERA, A., GUZMÁN, G.I., INFANTE-AMATE, J., SOTO, D., GARCÍA-RUIZ, R., HERRERA, A., VILLA, I., TORREMOCHA, E., CARRANZA, G., GONZÁLEZ DE MOLINA, M. Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective. **Working Paper of the Sociedad Española de Historia Agraria**. 2015. Disponível em: <http://www.seha.info/43.asp>. Acesso em: 02 dez.2016.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. Revisada e ampliada. Rio de Janeiro: Expressão Popular, 2012. 400p.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. 2.ed. Petrópolis: Vozes, 1975.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Análise multidimensional da sustentabilidade: uma proposta metodológica a partir da Agroecologia. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v.3, n.3, p.70-85, 2002.

FEIDEN, A. Agroecologia: introdução e conceitos. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. (eds.). **Agroecologia** - princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49-70p.

FISCHER-KOWASLKI, M. Exploring the history of industrial metabolism. In: AYRES, R. U.; AYRES, L.W. **A handbook of Industrial Ecology**. Cheltenham/Northampton: Edward Elgar, 2002. 680p.

FISHER-KOWALSKI, M. Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star. In: REDCLIFT, M.; WOODGATE, G. (eds.) **The International Handbook of Environmental Sociology**. Cheltenham: Edward Elgar, 1997. 119-137p.

GARCÍA, F.J.L. **Rancho Grande, Valle Nacional" Oaxaca**: el perfil metabólico de una comunidad indígena en México. 2012. Tese (doctorado: agroecología, sociología y desarrollo rural sostenible)- Escuela Técnica De Ingenieros Agrónomos y de Montes; Universidad de Córdoba, Córdoba 201p. Universidad de Córdoba.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, Mass., USA: Harvard University Press, 1971. 457p.

GIAMPIETRO, M.; MAYUMA, K.; ALEVĞÜL H. SORMAN, **The Metabolic Pattern of Society**, Routledge, 2012, 405 p.

GLIESSMAN, S. R. Desde una agricultura sostenible a sistemas agroalimenticios sostenibles In: GLIESSMAN, S. R. **Agroecología**. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, C.R.: CATIE: 2002. 319-329.

GONZÁLEZ DE MOLINA, M. **A guide to studying the socio-ecological transition in european agriculture**. Sociedad Española de Historia Agraria (Documentos de Trabajo, Sevilla-Spain DT-SEHA) n. 10-06. 2010.

GONZÁLEZ DE MOLINA, M. Introducción a la Agroecología. **Cuadernos técnicos SEAE**. Sevilla: Sociedad Española de Agricultura Ecológica (Seae), 2011. 37p. (Serie Agroecología y Ecología Agraria).

GONZÁLEZ DE MOLINA, M.; TOLEDO, V. M. Metabolismos, naturaleza e historia: hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas. Barcelona: Icaria, 2011. 363p. (Perspectivas Agroecológicas, v. 7).

GONZÁLEZ DE MOLINA, M., TOLEDO, V. M. **The social metabolism: a Socio-Ecological Theory of Historical Change**. New York: Springer, 2014. 349p.

GUZMÁN, G. I., GONZÁLEZ DE MOLINA, M. Energy efficiency in agrarian systems from an agroecological perspective. **Agroecology Sustainable Food System**, v. 39, p.924–952, 2015.

GUZMÁN, G. I, AGUILERA, E, SOTO, D, A, INFANTE-AMATE J, GARCÍA RUIZ R, HERRERA A, Villa I, GONZÁLEZ DE MOLINA M. **Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of historical and contemporary agroecosystems (I)**. Sociedad Española de Historia Agraria. 2014. 52 p.

GUZMÁN, G. I, GONZÁLEZ DE MOLINA, M., SOTO, D, C. A, INFANTE-AMATE, J., AGUILERA, E. **Spanish agriculture from 1900 to 2008: a long-term perspective on agroecosystem energy from an agroecological approach**. Springer-Verlag, 2017.

MARTÍNEZ ALIER, J. The EROI of agriculture and its use by the via campesina. **The Journal of Peasant Studies**, v.38, n.1, p.145,- 2011.

MURPHY D. J, HALL C. A. S, DALE M, CLEVELAND C., **Order from chaos: a preliminary protocol for determining the EROI of fuels**. Sustainability, v. 3, p.1888–1907. 2011.

NAREDO, J. M. El metabolismo de la sociedad industrial y su incidencia planetaria, in: NAREDO, J. M; PARRA, F. eds., **Economía, ecología y sostenibilidad en la sociedad actual**, Madrid, Siglo XXI Editores, 2000, p.193-229

PELLETIER, N.; AUDSLEY, E.; BRODT, S.; GARNETT, T.; HENRIKSSON, P.; KENDALL A. Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. **Annual Reviews**, 2011.

SEVILLA GUZMÁN, E. Sobre los orígenes de la Agroecología. *In: El pensamiento marxista y libertario*, 2007.

SMIL V Harvesting the biosphere. What we have taken from nature. **MIT Press**, Cambridge, 2013.

TELLO, E., GALÁN, E., CUNFER, G., GUZMÁN, G. I., GONZÁLEZ DE MOLINA, M., KRAUSMANN, F., GINGRICH, S., SACRISTÁN, V., MARCO, I., PADRÓ, R., MORENO-DELGADO, D. A Proposal for a Workable Analysis of Energy Return On Investment (EROI): **Agroecosystems**, Part I: Analytical Approach. Social Ecology Working Paper. Vienna: Institute of Social Ecology, 2015. 110p.

TITTONELL P, SCOPEL E, ANDRIEU N, POSTHUMUS H, MAPFUMO P, CORBEELS M, VAN HALSEMA GE, LAHMAR R, LUGANDU S, RAKOTOARISOA J, MTAMBANENGWE F, POUND B, CHIKOWO R, NAUDIN K, TRIOMPHE B, MKOMWA S. Agroecology-based aggradations-conservation agriculture (ABACO): targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. **Field Crops Research**. v. 132: p. 168–174. 2012.

TOLEDO, V. M. Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**. v.7, p.1-26, 2008.

TOLEDO, V. M. El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. **Relaciones**, v. 136, p. 41-71. 2013.

TOLEDO V., M., M. GONZÁLEZ DE MOLINA. El metabolismo social entre la sociedad y la naturaleza. In: **Paradigmas ecológicos en las ciencias sociales**. España: Editorial Trotta, 2005. 23 p.

WRIGHT, D. H. Human impacts on energy through ecosystems, and implications for species endangerment. **Ambio**, v.19, n. 4, p. 189 - 194. 1990.