UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

HUGO ALMEIDA RIBEIRO

A ECOLOGIA INDUSTRIAL NA ESCOLHA DE INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE ARRANJOS PRODUTIVOS RURAIS

JUIZ DE FORA
2013

HUGO ALMEIDA RIBEIRO

A ECOLOGIA INDUSTRIAL NA ESCOLHA DE INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE ARRANJOS PRODUTIVOS RURAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Doutor, Bruno Milanez

JUIZ DE FORA
2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ribeiro, Hugo Almeida.
A Ecologia Industrial na escolha de indicadores de desempenho ambiental de arranjos produtivos rurais / Hugo Almeida Ribeiro. -- 2013.
66 p. : il.

Orientador: Bruno Milanez
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2013.

1. Ecologia Industrial. 2. Desempenho Ambiental. 3. Arranjos Produtivos Rurais. I. Milanez, Bruno, orient. II. Título.

HUGO ALMEIDA RIBEIRO

A ECOLOGIA INDUSTRIAL NA ESCOLHA DE INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE ARRANJOS PRODUTIVOS RURAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 04 de março de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Doutor, Bruno Milanez (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

Doutor, Carlos Frederico da Silva Crespo
Universidade Federal de Juiz de Fora

Doutor, Marcos Martins Borges
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho à memória dos esquecidos.

Agradeço à minha mãe Fath, ao meu pai Fabim do Riberim e ao meu irmão André por inumeráveis motivos, mas acima de tudo por terem me apoiado em todos os meus intentos e por mais que qualquer outra pessoa terem feito de mim quem eu sou. Agradeço também aos familiares que fizeram sua presença ser sentida gerando bons frutos.

Aos meus amigos, que me orgulho em admitir ser incapaz de listar neste pequeno espaço, agradeço por todas as alegrias e frustrações compartilhadas que me fazem amar sofrer a experiência de viver.

À minha namorada, Liliane, por me animar quando estou desanimado, me alegrar quando estou irritado e não reclamar do exagero quando me empolgo demais, agradeço por garantir minha felicidade a cada dia.

Obrigado.

परस्परोपग्रहो जीवानाम्

“Parasparopagraho Jivanam”

“Todos os seres vivos são unidos em mútuo suporte e interdependência”

(Acharya UMASWATI, Tattvartha Sutra, séc. II AEC)

RESUMO

A aplicação dos conceitos de Ecologia Industrial visa melhorar o aproveitamento, pelos processos de sistemas produtivos, de recursos disponíveis no ecossistema como um todo. Desta forma, indicadores de desempenho são necessários para controlar o grau de eficácia e outros impactos. O setor agrícola apresenta-se como um candidato relevante para a aplicação de tais ferramentas, considerando principalmente o aumento da demanda mundial por sua produção. Este trabalho propõe um método de avaliação de desempenho ambiental e discute os limites da Ecologia Industrial na escolha de indicadores de desempenho ambiental de arranjos produtivos rurais. O método proposto para este trabalho se inicia com uma revisão bibliográfica extensiva dos principais conceitos das áreas envolvidas. A partir de uma revisão dos conceitos apresentados, discute-se sua interação, tomando a princípio propostas já existentes na literatura. Além disso, faz-se necessária também a análise da relação de cada indicador proposto com os conceitos de Ecologia Industrial apresentados inicialmente. As características dos pequenos produtores envolvidos nos arranjos produtivos locais rurais apontam para uma necessidade de ganho em Gestão Ambiental destas organizações, tanto por seu impacto ambiental, quanto por seu valor para a segurança alimentar mundial. Esta pesquisa resulta em um modelo de avaliação baseado no conceito de Cesta Básica, gerando uma matriz de indicadores associados às áreas de interesse e aos princípios ecológicos. O método utilizado na seleção de indicadores se mostrou incompleto, sendo uma alternativa recomendável a construção participativa da matriz junto a especialistas e pequenos produtores. Destaca-se também o grande corte de indicadores retirados da literatura por não se adequarem ao contexto proposto. Em futuros trabalhos, têm-se a oportunidade de buscar a complementação do método e sua validação através de aplicação prática em casos reais.

Palavras-chave: Ecologia Industrial, Desempenho Ambiental, Arranjos Produtivos Rurais.

ABSTRACT

The application of Industrial Ecology concepts aims to improve the efficiency of utilization, by the production system processes, of resources available in the ecosystem as a whole. Thereby, key performance indicators are necessary to control the level of effectiveness as well as other impacts. The agricultural sector presents itself as a relevant option for the implementation of such tools, considering mainly the rise in world demand for its products. This report proposes an environmental performance evaluation method and discusses the boundaries of Industrial Ecology concerning its contribution to the selection of environmental performance indicators for rural productive arrangements. The proposed method for this research starts with an extensive review of the literature on the main concepts of the key areas of concern. From the presented review of concepts, their interactions are discussed, taking initially from existing proposals in other studies. Furthermore, an examination of the relation of each proposed indicator with Industrial Ecology concepts previously introduced is also necessary. The characteristics of smallholder farmers involved in rural local production arrangements points towards a need for a gain in Environmental Management of such organizations, either by its environmental impacts, or by its value for the world's food safety. This research results in a model of evaluation based on the concept of Basket Average, generating a matrix of indicators, each associated with an area of concern and with an ecological principle. The method employed in the selection of indicators turned out incomplete, making the collaborative construction of the matrix, with the support of specialists and smallholder farmers, an advisable alternative to be explored. It's also important to highlight that many indicators from the reviewed literature were considered unsuitable in the proposed context. Following research may seek the complementation of the method and its validation through practical cases.

Keywords: Industrial Ecology, Environmental Performance, Rural Productive Arrangements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fluxo linear de materiais na ecologia tipo I. Adaptado de Jelinski et al., 1992. 22
Figura 2 Fluxos de materiais na ecologia tipo II. Adaptado de Jelinski et al., 1992. 23
Figura 3 Ecologia tipo III. Adaptado de Jelinski at al., 1992. 23

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Indicadores de Desempenho Operacional – Aspectos Ambientais. Adaptado de CAMPOS et al. (2008). 33
Quadro 2 Indicadores de Desempenho Operacional – Controle Operacional. Adaptado de CAMPOS et al. (2008). 34
Quadro 3 Indicadores de Desempenho Operacional – Monitoramento e Medição. Adaptado de CAMPOS et al. (2008). 35
Quadro 4 Matriz de indicadores selecionados, por área e princípio ecológico (o autor). 43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADA	Avaliação de desempenho ambiental.
APL	Arranjo Produtivo Local.
APLR	Arranjo Produtivo Local Rural.
BSC	Balanced Scorecard.
EI	Ecologia Industrial.
FAO	*Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação).
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo.
IDA	Indicador de desempenho ambiental.
IDATERRA	Instituto de Desenvolvimento Agrário, Pesquisa e Assistência Técnica e Extensão Rural de Mato Grosso do Sul.
ISO	*International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização).
N_2	Nitrogênio em sua forma biatômica (gasoso nas condições ambientes).
N_2O	Óxido nitroso ou protóxido de nitrogênio.
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
OECD	*Organization for Economic Cooperation and Development* (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos)
OGM	Organismo Geneticamente Modificado.
PDCA	Plan, Do, Check, Act.
PIB	Produto Interno Bruto.
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

1.1. Considerações Iniciais 12

1.2. Justificativa 13

1.3. Escopo do trabalho 15

1.4. Objetivos 15

1.5. Método de trabalho 15

1.6. Estrutura do Trabalho 17

2. REFERENCIAL TEÓRICO 18

2.1. Ecologia Industrial 18

2.1.1. Breve histórico e definições 18

2.1.2. Analogia e classificação dos sistemas 21

2.1.3. Princípios ecológicos para o ecossistema industrial 24

2.2. Arranjos produtivos locais rurais 26

2.3. Avaliação de desempenho ambiental 30

3. ECOLOGIA INDUSTRIAL NO MEIO RURAL 37

4. DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO 39

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTAS ALTERNATIVAS 42

6. DISCUSSÕES 48

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 53

8. BIBLIOGRAFIA 55

9. APÊNDICE 1 - INDICADORES OECD 59

10. APÊNDICE 2 - LISTAS DE INDICADORES NÃO SELECIONADOS 63

1. Introdução

1.1. Considerações Iniciais

Através dos tempos e localidades onde tenha ocorrido ocupação humana, a definição das características de sua organização social sempre dependeu fortemente de como a sociedade obtia alimentos. E não se poderia esperar que fosse diferente. Como heterótrofos, estamos fadados a lutar pela energia sintetizada externamente – por outros seres –, e nesta perspectiva garantir a continuidade de nossa nutrição, como indivíduos ou grupo.

Pode-se dizer então que o advento da agricultura – como forma de obter o controle da produção necessária ou desejada à vida humana – representa o maior passo histórico no sentido de aliviar as pressões sociais causadas pela busca de alimento. É amplamente apontado como o fator principal da transição do nomadismo para o sedentarismo, além de facilitador da produção de excedente de alimentos, que ao mesmo tempo sustenta o crescimento populacional e libera trabalho antes necessário na obtenção de alimento para dedicar-se a outras práticas, que resultam em aumentar a complexidade cultural da sociedade.

Embora o problema da alimentação e as soluções técnicas da agricultura sejam bem conhecidos, o alcance da complexidade das relações em nível global – tornadas tecnicamente eficientes ao longo do século XX – sugere a obrigação de uma mudança de abordagem. Esta necessidade é apontada pela crescente dificuldade de se produzir alimentos para toda a população humana do planeta. A nossa complexidade cultural criou outros usos para a produção agrícola (produção de combustíveis), além de valorizar seu uso – mesmo que alimentício – menos eficiente (alimentação e criação de gado de corte).

Estes outros usos da terra – frequentemente mais valorizados nos mercados desenvolvidos – estimulam os grandes produtores, i.e. grandes latifundiários corporativos e individuais, a voltarem seus recursos para este tipo de produção que não contribui para a manutenção da segurança alimentar mundial.

O resultado deste desinteresse econômico dos produtores em grande escala é que na América Latina, por exemplo, mais de 16 milhões de pequenas fazendas existentes são responsáveis por suprir 41% do consumo doméstico de produtos agrícolas (ALTIERI, 2004). Deve-se valorizar então a importância social destes produtores, que trabalham muitas vezes em condições ambientais inferiores (solo, disponibilidade de água, acesso a mercados, etc.) e com menor capacidade técnica.

No mesmo contexto de fim de século XX – mas para tratar um problema alheio – surge, e é explicitada como campo de estudo nos anos 1980, a Ecologia Industrial (CARRILLO GONZÁLEZ, 2009). Esta nova área se interessa pela integração de sistemas produtivos (conquanto, a princípio, industriais) buscando imitar as características de ecossistemas, que, como "sistemas produtivos naturais", teriam grande eficiência. Desta ideia simples – de implantação complicada – derivam-se diversas abordagens e ferramentas que passam a constituir o campo da Ecologia Industrial.

A atuação da Ecologia Industrial sobre a produção agrícola, além de facilitada pela característica de maior proximidade com ecossistemas naturais, torna-se uma opção a ser considerada, dada sua natureza de buscar ganhos em eficiência produtiva e o contexto da escassez de recursos rurais. Advém do interesse em aplicar a Ecologia Industrial na produção rural, ou mesmo posterior à aplicação de seus conceitos, a necessidade de verificar seus resultados.

Trabalhos anteriores já haviam apontado que os termos "desempenho" e "Ecologia Industrial" aparecem juntos na literatura frequentemente apontando a necessidade de realizar a medição de desempenho (SIDIROPOULOS, et al., 2010), não tratando especificamente do método de medição.

Assim sendo, o presente trabalho se propõe a avaliar as possibilidades e os limites da utilização dos conceitos provenientes do paradigma da Ecologia Industrial (EI) na seleção e desenvolvimento de indicadores de desempenho ambiental. Mais especificamente, para o caso de arranjos produtivos rurais.

1.2. Justificativa

O paradigma da Ecologia Industrial está ligado ao reconhecimento de que a economia se relaciona com o ecossistema em que ela está inserida (GARNER, et al., 1995). O próprio sistema econômico em si é formado pelas atividades produtivas humanas (industriais, rurais, serviços, entre outras). A aplicação dos conceitos de Ecologia Industrial visa melhorar o aproveitamento, pelos processos de sistemas produtivos, de recursos disponíveis no ecossistema como um todo.

Desta forma, indicadores de desempenho dos processos são necessários para controlar o grau de eficácia e outros impactos das ações guiadas pela Ecologia Industrial. Este rigor quantitativo no controle dos processos (através dos indicadores) pode evidenciar

sucessos e oportunidades de melhoria no sistema (ISO, 1999). Assim, é relevante discutir até que ponto a própria Ecologia Industrial, partindo de seus conceitos e ferramentas, é capaz de guiar a escolha dos indicadores adequados para tal apreciação.

A partir dessa perspectiva, o setor agrícola apresenta-se como um candidato relevante para a aplicação de tais conceitos e ferramentas. Essa importância deve-se ao aumento da demanda mundial por produtos agrícolas, decorrentes de diferentes fatores: 1) cresce a população mundial; 2) o padrão de consumo em algumas regiões é intensificado; e 3) as políticas de substituição da energia de fontes fósseis por biocombustíveis avançam. Somando-se a estes fatores, ainda há a degradação ambiental e as mudanças climáticas, que tornam áreas antes cultiváveis em regiões com solos inférteis ou clima extremo demais para a manutenção da produtividade. Estes fatores e suas consequências posam sérios riscos à segurança alimentar de grande parte da população mundial, conforme indicado pela crise mundial de preços de alimentos de 2007/2008 (BOBENRIETH, et al., 2009).

A solução do mercado para o ganho em produtividade agrícola acompanha a Revolução Verde, intensiva em tecnologia, até culminar no uso de monoculturas e de organismos geneticamente modificados (OGMs). As monoculturas tem forte impacto sobre a biodiversidade do ambiente cultivado. Os OGMs apresentam o risco da contaminação de áreas próximas com genes modificados e também podem ser usados pela indústria para gerar nos agricultores a dependência de readquirir as plantas da indústria de manipulação genética a cada ciclo produtivo. Por estes motivos, são alvo de críticas quanto ao bem estar animal, quanto à saúde dos consumidores e impactos nas comunidades pobres (BEARDMORE, et al., 2003), não apresentando, portanto, uma solução consensualmente aceita pela sociedade.

Neste contexto, é proposta a alternativa de se aplicar os conceitos da Ecologia Industrial no âmbito da produção rural. Sua característica de aproveitamento mais eficiente a partir de processos cíclicos (ao invés de lineares) aumenta a produtividade material, ao mesmo tempo tratando a degradação dos ambientes de cultivo. Esta abordagem reduz a necessidade de alternativas potencialmente perigosas – à saúde e ao ambiente – como o cultivo de OGMs.

Sendo as atividades agropecuárias já formadas em grande parte por processos inerentes ao ecossistema (metabolismo e desenvolvimento dos seres vivos cultivados ou criados, variação sazonal de temperaturas e precipitação pluvial etc.), espera-se que a Ecologia Industrial opere como guia para a intervenção humana nestes processos. Em

analogia com processos naturais, esta intervenção mantém os recursos no sistema produtivo. Aqui então se encaixa a necessidade de medir as ações e resultados, como em qualquer outro sistema produtivo qualquer, a fim de aferir seu grau de eficácia e, como mencionado anteriormente, expor oportunidades de melhoria nas práticas.

Ainda, considerando que, na literatura, os conceitos de Ecologia Industrial e indicadores de desempenho ambiental aparecem, com frequência, independentemente, esta é uma oportunidade para estreitar sua inata relação.

1.3. Escopo do trabalho

Este trabalho restringe-se aos processos de interesse da Ecologia Industrial, não propondo considerar entre seus indicadores informações de cunho financeiro, mas atendo-se a fluxos energéticos e materiais dos processos produtivos em pequenas propriedades rurais.

Os parâmetros e critérios utilizados na seleção de indicadores e sua aplicação não se referem a grandes propriedades rurais e monoculturas e, portanto, os resultados apresentados podem não ser adequados a estes casos.

1.4. Objetivos

O objetivo geral é avaliar as possibilidades e os limites de utilização da Ecologia Industrial (EI) como guia na escolha de indicadores de desempenho ambiental em arranjos produtivos rurais. Isto quer dizer, compreender qual a capacidade da EI de apontar uma base sólida de indicadores que forneça informação suficiente para Gestão Ambiental destes sistemas.

Como objetivo específico, tem-se a proposta um método de avaliação de desempenho ambiental, através da seleção de indicadores de desempenho ambiental que possam ser utilizados por pequenos produtores rurais.

1.5. Método de trabalho

O método proposto para este trabalho se inicia com uma revisão bibliográfica extensiva dos principais conceitos nas três grandes áreas de interação envolvidas. São elas:

- Ecologia Industrial;
- Arranjos Produtivos Rurais;
- Avaliação de Desempenho Ambiental.

Quanto à Ecologia Industrial, fazem parte da revisão suas diversas conceituações e seu histórico. O pensamento que segue de base para suas analogias e exemplos de aplicações também deve estar presente.

Na seção introdutória sobre arranjos produtivos rurais, sua definição e caracterização são o foco. Evidenciar a importância da melhoria em Gestão Ambiental para os produtores e sua relevância para os consumidores dependentes de sua produção é fundamental, por um lado justificando a aplicação prática dos conceitos presentes enquanto ao mesmo tempo torna clara sua relevância socioeconômica.

Já o tratamento da avaliação de desempenho ambiental se embasa em conceituados sistemas de gestão ambiental e guias para elaboração de indicadores. Além disso, pretende-se incluir os padrões atualmente utilizados pelas organizações que empregam indicadores ambientais em análises macro.

A partir de uma revisão dos conceitos apresentados, levanta-se discussões sobre sua interação, tomando a princípio propostas já existentes na literatura, considerando os indicadores empregados em cada caso. Além disso, faz-se necessária também a análise da relação de cada indicador proposto com os conceitos de EI apresentados inicialmente. A questão é se o indicador é capaz de refletir o grau efetivo de aplicação da Ecologia Industrial, na medida em que ela tem características distintas de um sistema produtivo clássico.

Comparando-se os indicadores de desempenho ambiental sustentados pela Ecologia Industrial com outros que não fazem parte de seu escopo, buscou-se delimitar uma fronteira da utilidade da área neste aspecto. Finalmente, definem-se o método e os critérios para a escolha de indicadores adequados, dando forma ao método de avaliação. Dos indicadores em consonância com a EI, a priori, espera-se que sejam úteis à gestão da organização, pois avaliam seu próprio sistema.

Sendo sempre necessária uma autocrítica, este trabalho também busca avaliar os limites da aplicabilidade da Ecologia Industrial na orientação do método de avaliação de desempenho dos arranjos produtivos rurais. Assim, é válida uma exploração da utilidade de indicadores além desta fronteira, buscando compreender, por exemplo, se há uma carência na área guia que deveria levar a eles.

1.6. Estrutura do Trabalho

Este trabalho é estruturado para inicialmente revisar independentemente os campos de interesse envolvidos, partindo posteriormente para a análise de sua integração.

Inicialmente, é abordada a literatura em Ecologia Industrial, com histórico e definições do campo de trabalho, a classificação dos sistemas produtivos segundo a EI e princípios ecológicos a serem aplicados em sistemas produtivos, segundo a concepção da área.

O capítulo seguinte trata dos arranjos produtivos locais rurais, seu conceito, exemplos reais e sua relevância, principalmente quanto à segurança alimentar nas regiões em desenvolvimento.

Para o tópico de avaliação de desempenho ambiental, são levantados diversos conceitos envolvidos e é contemplada sua importância dentro do sistema de gestão de uma organização. Também são referenciados os principais indicadores presentes na literatura, com o objetivo de criar uma base a ser avaliada posteriormente segundo o escopo deste trabalho.

O trabalho segue definindo, a partir da literatura, o modelo de avaliação e os critérios para seleção de indicadores adequados que venham a fazer parte deste. Na seção seguinte, os resultados são apresentados com análises de situações especiais e sugestões de alternativas.

As discussões finais abordam os pontos fracos e fortes dos métodos utilizados e de seus resultados, avaliando principalmente o papel dos princípios ecológicos na decisão de inclusão e exclusão de indicadores. Isto culmina na avaliação das fronteiras da Ecologia Industrial como guia para definição do método de avaliação organizacional.

As considerações finais tratam do valor do presente trabalho, bem como de suas principais fraquezas e oportunidades de complementação, a serem exploradas em eventuais trabalhos posteriores.

2. Referencial teórico

2.1. Ecologia Industrial

2.1.1. Breve histórico e definições

A Ecologia Industrial em sua denominação e conceituação atual surgiu de forma explícita no final da década de 1980, despontando nos últimos dez anos em produção bibliográfica (CARRILLO GONZÁLEZ, 2009). González em sua revisão dos princípios do campo, vê na Economia Ecológica[1] a base teórica da qual se desprende o paradigma da Ecologia Industrial.

Para Allenby (1992), a Ecologia Industrial é definida superficialmente como os meios pelos quais um estado de desenvolvimento sustentável é introduzido e mantido. Considerando o desenvolvimento sustentável como um processo dinâmico e não um estado final estático, o mesmo autor aponta a característica de visão sistêmica da Ecologia Industrial que inter-relaciona a atividade econômica humana a sistemas biológicos, químicos e físicos fundamentais.

Tendo uma ampla gama de definições (mais ou menos subjetivas e específicas), torna-se importante uma visão geral dos principais conceitos associados ao campo da Ecologia Industrial. Assim, ao tentar consolidar as definições existentes, Garner e Keoleian (1995 p. 4) listam os atributos comuns às diversas ênfases encontradas na bibliografia. Estes atributos seriam:

- "Uma visão sistêmica de interações entre os sistemas industrial e ecológico;
- O estudo de fluxos de matérias e energia e suas transformações;
- Uma aproximação multidisciplinar;
- Uma orientação para o futuro;
- Uma mudança de processos lineares (abertos) para cíclicos (fechados), de modo que o resíduo de uma indústria seja usado como insumo de outra;

[1] A Economia Ecológica surge a partir da crítica tanto à Economia clássica, cujo modelo não inclui externalidades ambientais, quanto à Economia Ambiental, que acreditava em soluções mercadológicas e tecnológicas para essas limitações. Para a Economia Ecológica, o sistema econômico é um subsistema aberto pertencente ao ecossistema e a solução de atribuir valor monetário à natureza traz o risco de que se acredite que é possível substituir seus bens e serviços por recursos de mesma valoração no mercado. Ao invés disso, na Economia Ecológica o foco são os fluxos de materiais e energia dos quais a atividade humana depende (CAVALCANTI, 2004).

- Um esforço para reduzir o impacto ambiental de sistemas industriais em sistemas ecológicos;
- Uma ênfase em integrar harmonicamente a atividade industrial aos sistemas ecológicos;
- A ideia de fazer os sistemas industriais emularem sistemas naturais sustentáveis mais eficientes;
- A identificação e comparação de hierarquias em sistemas industriais e naturais que indicam áreas de potencial estudo e ação"

Em suma, a Ecologia Industrial trabalha multidisciplinarmente com fluxos e utilização de matérias e energia, transformando processos lineares em cíclicos, resíduos de um processo em insumos de outros, de modo a integrar harmonicamente a atividade industrial (produtiva humana) a sistemas ecológicos. Por trás desta definição da prática, se encontra a definição da filosofia do campo, que envolve aplicação da visão sistêmica, orientada para o futuro, buscando ao mesmo tempo tornar os sistemas industriais mais eficientes pela analogia com sistemas naturais e reduzir impactos ambientais de seus processos.

É importante notar que, enquanto um dos atributos anteriores faz menção a diferentes indústrias, o que ele realmente denota é a necessidade do envolvimento de processos com características distintas o suficiente para que um mesmo material seja visto, quanto a seu uso, de forma diferente entre eles. A especialização da indústria moderna é que torna praticamente obrigatório o envolvimento de diferentes empresas para satisfazer esta condição.

Numa perspectiva histórica, existem críticas à perspectiva de que sem regulação e controle, os processos industriais seriam incapazes de buscar maior eficiência na utilização de recursos secundários e subprodutos. Segundo Desrochers (2000 p. 30), "vários documentos sugerem que, muito antes do surgimento da consciência e regulação ambiental, numerosos subprodutos industriais se tornaram insumos valiosos de outras firmas não relacionadas".

O autor avança citando publicações de vários campos datando da segunda metade do século XIX cujos títulos sugerem o aproveitamento de resíduos industriais - por exemplo, "Descriptive Catalogue of the Collection Illustrating the Utilization of Waste Products" (Bethnal Green Branch Museum, 1875), "Wealth from Waste" (Spooner, 1918), "A Great Problem Solved - How to Utilize Waste Heat from Chimneys" (Silver, 1876), etc. Além disso, Desrochers (2000) também lembra os primórdios da humanidade e o início do aproveitamento das partes não comestíveis dos animais: peles que passaram a ser roupas, sangue para pinturas,

uma flauta de 32 mil anos feita de ossos, uma lamparina de 17 mil anos alimentada por gordura animal, entre outros, evidenciando que o conceito de aproveitamento de resíduos de uma atividade econômica por outras não é tão recente como se faz parecer à primeira vista.

Em uma análise da evolução histórica do conceito da Ecologia Industrial, Carrillo González (2009) faz um recorte mais recente e identifica três diferentes enfoques sobre EI.

O primeiro enfoque é como um processo de desmaterialização da economia, tendo sido adotado por Hardin Tibbs (1993). Para esse a autor, hoje em dia "o 'sistema' industrial é menos um sistema do que uma coleção de fluxos lineares" (TIBBS, 1993 p. 5) e esta é a causa de nossos problemas ambientais. Há então a proposta, por parte da Ecologia Industrial, de que a economia seja redesenhada seguindo fluxos cíclicos contínuos, o que, além de diminuir a energia requerida, reduza substancialmente a quantidade necessária de materiais entrando no sistema produtivo. Este é o enfoque na desmaterialização da economia.

O segundo enfoque, abordaria desde o balanço de materiais e energia até a sua integração aos ciclos biogeoquímicos e de materiais. Este enfoque teria um embasamento mais técnico, sendo fundamentado no conceito de metabolismo industrial[2], e estaria presente na análise de ciclos de materiais, seus estoques e fluxos, preocupando-se com sua quantificação (AYRES, 1994). A preocupação clássica com a disponibilidade de recursos (na natureza) muda para a eficiência na reciclagem e reuso dos materiais que entram na economia. Assim, uma medida para melhorar a eficiência em recursos é classificar os materiais de acordo com sua possibilidade de reciclagem dentro do atual sistema econômico (preços e regulamentações), o que pode ser feito por consenso entre especialistas.

Por fim, de acordo com o terceiro enfoque, a EI como uma estratégia de gerar interações em analogia com os sistemas naturais para os sistemas industriais seria defendido pelas obras de Braden Allenby (a partir da década de 1990), Nicholas Gallopoulos (1989) e Jesse H. Ausubel (1992). Este terceiro enfoque também conta com o colaborador de Gallopoulos, Robert Frosch, originário do campo da ecologia. Em um previsto cenário constituído por uma população de dez bilhões de pessoas na Terra em que o padrão mundial de consumo se assemelhe ao norte-americano, os recursos naturais podem não durar muito tempo em um mundo com uma indústria formada por processos lineares (extração –

[2] Metabolismo industrial definido como "a coleção integral completa de processos físicos que convertem matérias-primas e energia, mais trabalho, em produtos acabados e resíduos" (AYRES, 1994 p. 23).

transformação – consumo – disposição). Transformar os sistemas industriais (lineares) em ecossistemas industriais (cíclicos), em analogia a ecossistemas biológicos, é a estratégia proposta por Frosch e Gallopoulos (1989) para manter o padrão de vida dos países desenvolvidos ao mesmo tempo em que eleva o dos países em desenvolvimento.

A EI é hoje um campo multidisciplinar em expansão, recebendo contribuição de diversos campos, como fica claro pelos diferentes enfoques que ela recebe. Seu desenvolvimento recente a torna uma área de vanguarda na gestão das relações interorganizacionais, principalmente na gestão conjunta de resíduos e aumento da eficiência material global.

2.1.2. Analogia e classificação dos sistemas

Conforme discutido na seção anterior, a Ecologia Industrial é baseada em uma visão sistêmica, demandando a participação de diversas disciplinas (GARNER, et al., 1995). Essa multidisciplinaridade reflete a complexidade dos problemas ambientais enfrentados, sendo necessário apoio de conhecimentos em campos tais como direito, economia, administração, saúde, recursos naturais, ecologia e engenharia para contribuir com os avanços da área.

Ao discutir as diferenças e oportunidades de aprendizado mútuo entre Ecologia Industrial e outro campo relacionado, porém distinto, denominado Engenharia Ecológica, Tilley (2003) caracteriza os ecossistemas vivos como base para analogias utilizadas em soluções de EI. A analogia com ecossistemas se enquadra com o princípio da Ecologia Industrial de buscar emular as eficiências energética e material de ciclos naturais.

A Engenharia Ecológica se diferencia da Ecologia Industrial inicialmente por se voltar ao projeto de ecossistemas úteis aos humanos e por fazer isso se aproveitando da capacidade dos sistemas vivos de se auto-projetar (TILLEY, 2003). Na EI, o projeto é todo humano, embora tente incorporar os princípios presentes em ecossistemas, e o sistema a ser projetado em si é um sistema produtivo artificial. Em suma, enquanto na Ecologia Industrial os sistemas vivos servem de base para analogias, na Engenharia Ecológica eles são o núcleo do sistema. Exemplos de projetos em Engenharia Ecológica são pântanos onde os engenheiros projetam, por exemplo, as dimensões e o regime de alagamento, mas deixam a cargo da natureza a colonização por seres vivos, gerando um ecossistema mais dinamicamente estável.

Ainda, tanto a Engenharia Ecológica quanto a Ecologia Industrial reconhecem a dificuldade na gestão de seus complexos sistemas de interesse (TILLEY, 2003). Porém,

dentro da filosofia da Engenharia Ecológica, a capacidade de se auto-projetar, mencionada anteriormente, é a ferramenta de auto-organização destes sistemas para lidar com a complexidade. Em uma postura mais ativa, a Ecologia Industrial pretende lidar com a complexidade analisando os sistemas nos diversos níveis possíveis (processos, firmas, redes de empresas, economia nacional, etc.).

A descrição e caracterização de ecossistemas é vital para a realização das analogias em Ecologia Industrial, estando presente entre os conceitos apresentados por Allenby (1992) e Jelinski et al. (1992) os tipos de sistemas possíveis. Partindo do mais simples, em um sistema onde os recursos disponíveis estão presentes em grande escala comparada à vida, um fluxo linear (Figura 1) de recursos através de um sistema é o modelo produtivo que se desenha para cada processo. Segundo os autores, as formas de vida primárias na Terra teriam encontrado esta condição, sendo então seu impacto sobre os recursos disponíveis desprezível. Este padrão é chamado ecologia tipo I (JELINSKI, et al., 1992). A linearidade do modelo de cada processo é a marca da ausência de dependência de todos os outros fluxos.

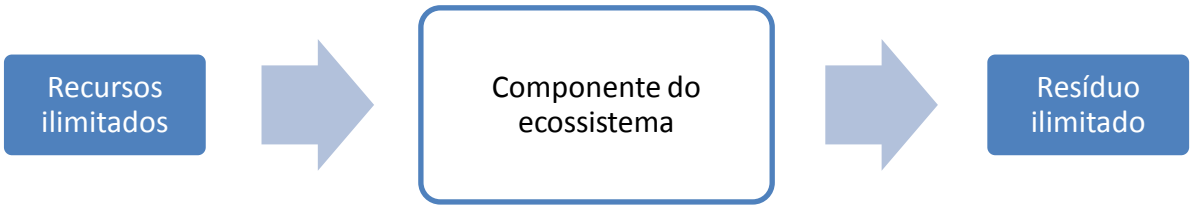

Figura 1 Fluxo linear de materiais na ecologia tipo I. Adaptado de Jelinski et al., 1992.

Quando, porém, os recursos são reconhecidamente escassos, um ecossistema diferente é constituído (Figura 2). Neste sistema, denominado tipo II, as formas de vida presentes se interconectam em redes complexas e, mesmo mantendo grandes fluxos de material nas proximidades do domínio do sistema, os fluxos de entrada de recursos e saída de resíduos são pequenos (JELINSKI, et al., 1992).

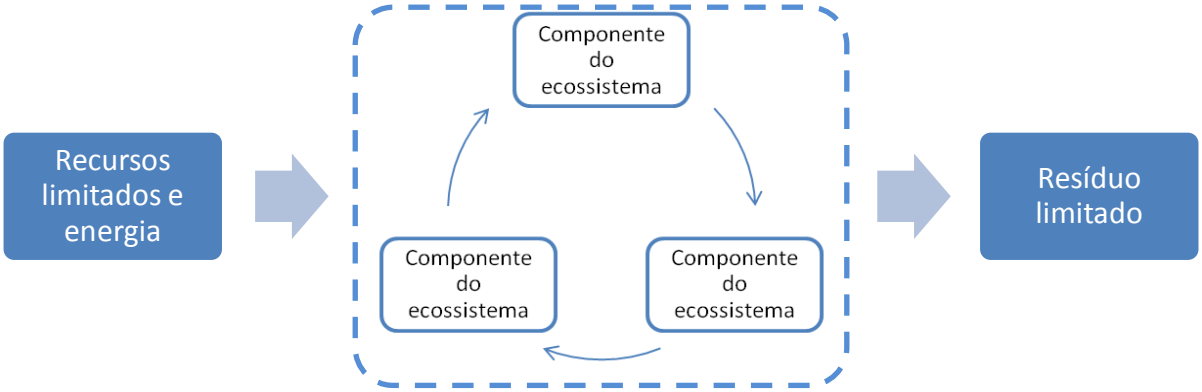

Figura 2 Fluxos de materiais na ecologia tipo II. Adaptado de Jelinski et al., 1992.

Jelinski (1992) deixa claro que o ecossistema tipo II é mais eficiente que o tipo I, porém insustentável no longo prazo, visto que os fluxos seguem uma direção única. Com o crescimento continuado e acumulação de massa, o sistema deverá evoluir para o tipo III (Figura 3). Sistemas biológicos evoluíram para este sistema, tornando recursos e resíduos indistinguíveis: o resíduo de um componente é recurso para outro e a ciclagem de materiais é completa. Entretanto, o sistema é aberto à necessidade do fluxo contínuo de energia, na forma de radiação solar, que mantém os fluxos através do sistema (ALLENBY, 1992). O tipo III representa, assim, o ideal de uso de materiais e recursos pela humanidade. Entretanto, na realidade muitos sistemas industriais operam ainda perdendo os recursos após seu primeiro uso, imitando o sistema ecológico tipo I (JELINSKI, et al., 1992).

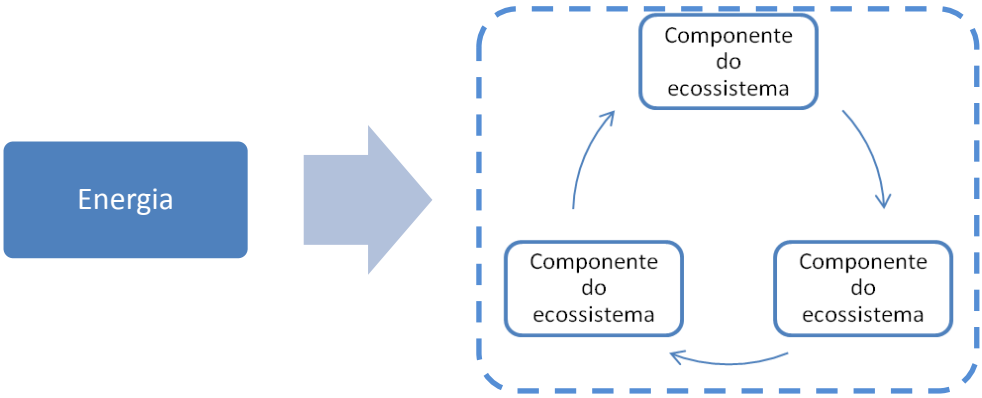

Figura 3 Ecologia tipo III. Adaptado de Jelinski et al., 1992.

2.1.3. Princípios ecológicos para o ecossistema industrial

Dentro do conceito de Ecologia Industrial os ecossistemas são evocados como modelos para organização produtiva humana. Nesse sentido, Korhonen (2001) conceitua quatro princípios identificados na natureza a serem considerados no estabelecimento de um "ecossistema industrial": *roundput*; diversidade; caráter local; e mudança gradual.

Roundput é a característica dos ecossistemas de manterem os recursos vitais dentro do sistema, beneficiando-se dos próprios resíduos (KORHONEN, 2001). Os ciclos naturais do nitrogênio e do carbono-oxigênio são exemplos de *roundput* na natureza. Na fotossíntese, os vegetais requerem dióxido de carbono do ambiente, liberando oxigênio como resíduo de sua obtenção de energia. Animais, por outro lado, respiram oxigênio, fazendo do resíduo das plantas um recurso, e liberando como resíduo dióxido de carbono (Ayres, 1996 apud Korhonen, 2001). O ciclo se fecha com ambos os resíduos sendo aproveitáveis por outro agente. No ciclo também fechado do nitrogênio, uma rede mais complexa gera semelhante efeito de aproveitamento contínuo do recurso natural contando com a participação de plantas, bactérias especializadas, fungos e animais em transformações do material através da cadeia (PIDWIRNY, 2006).

Em síntese, ao invés de cada componente depender sempre de *inputs* materiais de fora do sistema e de gerar *outputs* que se amontoariam sem ter uso para qualquer outro agente, nos ecossistemas balanceados da Terra os recursos circulam indefinidamente entre os componentes – configurando-se o tipo III, do qual o princípio de *roundput* é o diferencial característico. No caso do ciclo do carbono, a energia solar para a fotossíntese é o único *input* do qual não se pode prescindir. Na atividade econômica humana, há tentativas de fechar o ciclo de materiais através da reciclagem e reutilização.

O princípio seguinte listado por Korhonen (2001) é a diversidade. Não basta manter os materiais dentro do sistema se eles não podem ser processados em suas diversas formas. A diversidade de agentes no ecossistema aumenta as chances de que um determinado resíduo possa ser aproveitado e transformado por outro nó da cadeia, com características distintas. Quanto mais variados os agentes presentes, maior será a capacidade de aproveitar materiais das diversas fontes internas ao sistema e menor a dependência de *inputs*.

No caso do ciclo do carbono, a divergência quanto à forma de nutrição de vegetais – autotróficos - e animais – heterotróficos – é a chave. No ciclo do nitrogênio, essa simples

distinção é insuficiente. Como descrito por Pidwirny (2006), tomando-se apenas as bactérias envolvidas no ciclo, a diversidade é tal que há aquelas que, ao suprirem suas próprias necessidades, funcionam dentro do sistema como componentes especializados na fixação de gás nitrogênio no solo, ou que cumprem a mesma função nas raízes de leguminosas, ainda havendo bactérias que em seus processos transformam amônia em nitrito, ou nitrito em nitrato e por último, as desnitrificantes, que retornam os nitratos à forma de N_2 ou N_2O na atmosfera. Isto sem mencionar a participação de plantas, animais e decompositores (fungos ou bactérias). Os organismos vivos, dependentes do nitrogênio para a produção de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, constituem esse sistema complexo onde o aproveitamento se dá em diversas formas devido à pluralidade de agentes envolvidos e suas limitações (plantas só absorvem amônia ou nitrato) que geram dependência dos outros agentes (PIDWIRNY, 2006).

O princípio da diversidade pode ser emulado pela participação de organizações com processos distintos no mesmo sistema industrial. Em vários locais o poder público tem se aliado à iniciativa privada para criar parques industriais integrados, que buscam a aplicação dos conceitos de Ecologia Industrial entre os processos presentes. Estas iniciativas são denominadas ecoparques e geralmente buscam a participação de companhias de setores distintos, buscando emular o princípio da diversidade (além de se utilizar também do caráter local, o princípio abordado logo a seguir, e aumentar assim as possibilidades de realizar *roundput*).

Os agentes dentro de um ecossistema se adaptam às condições ambientais locais cooperando com seu entorno em relações de interdependência. Este é o caráter local (ou localidade) dos ecossistemas, importante, dado que o respeito às suas limitações naturais é essencial para a manutenção do ecossistema. Nos sistemas industriais contemporâneos, as limitações do caráter local têm sido ultrapassadas, sendo supridas através de fatores externos. Por exemplo, a necessidade de energia é atendida por combustíveis fósseis importados. O uso sustentável de recursos locais tem sido negligenciado em favor da suposição de que a inovação tecnológica e soluções manufaturadas podem substituí-los (KORHONEN, 2001).

Segundo Korhonen (2001), para alcançar a localidade, sistemas industriais devem substituir importações por fontes locais de energia, materiais renováveis e resíduos materiais. Além de se adaptar às limitações locais, aplicando-se este princípio seria reduzida a necessidade de transporte e reforçada a cooperação com agentes regionais.

Um forte aumento da demanda em um determinado mercado pode resultar na extinção do recurso natural necessário à produção do bem procurado. Ao invés de mudanças aceleradas como esta, os ecossistemas dependem da energia solar e respeitam a taxa de renovação dos recursos, sendo limitados a uma mudança gradual. Um sistema industrial buscando respeitar o mesmo princípio deveria se tornar mais dependente de recursos renováveis, ao mesmo tempo respeitando sua taxa de renovação, ao invés de supri-los com recursos não renováveis (KORHONEN, 2001).

Nos ecossistemas naturais, a mudança gradual está presente também na participação da comunicação no desenvolvimento. Na evolução das espécies, o gene funciona como meio de armazenamento das informações, transportadas através da reprodução. Comparada à evolução cultural – que distribui a informação através de meios orais, escritos, vídeos, etc. -, desenvolvimentos acontecem mais lentamente nos sistemas naturais (Norton et al., 1997, apud Korhonen, 2001).

Por questões culturais, este último princípio é provavelmente mais difícil de assimilar do que os outros três apontados por Korhonen (2001). Basta pensar nas exigências da sociedade por crescimentos mais acelerados no PIB, no esforço de agricultores para acelerar o desenvolvimento das culturas e assim realizar mais colheitas por ano, e na ambição por rápido aumento de renda, tanto entre assalariados quanto entre capitalistas em nossa cultura. O pensamento do homem pós-Revolução Industrial deixou pouco espaço para acreditar na importância de mudanças graduais.

2.2. Arranjos produtivos locais rurais

Arranjos Produtivos Locais (APL) podem ser definidos como “aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais” (SEBRAE, 2012) De certa forma, um ecoparque pode ser considerado um caso específico de tal tipo de organização. O conceito de Arranjo Produtivo Local não necessariamente se restringe a sistemas industriais, sendo também possível a constituição de tais arranjos em meio rural, neste trabalho a ser denominada Arranjo Produtivo Local Rural ou APLR.

No estado do Piauí, por exemplo, há dois APLs voltados à atividade apicultora, concentrados em Picos e Teresina, que começaram a se desenvolver a partir dos anos 1980. O

mel, principal produto, é de relativamente fácil beneficiamento. O próprio apicultor realiza a desoperculação[3] dos favos e centrífuga dos quadros. Após esta etapa, o mel pode ser filtrado, decantado e, finalmente, envasado (VELOSO FILHO, et al., 2004).

O Arranjo Produtivo Local de Picos, abrangendo também o município de Sussuapara, onde fica a planta de beneficiamento, conta com oito organizações categorizadas como "Entreposto de Mel e Cera de Abelhas", sendo quatro delas classificadas como micro empresas, três como pequenas e uma média. Entre as classificadas como micro, duas são cooperativas, contando com 36 e 50 sócios. As empresas geram empregos numa faixa entre 3 e 44 ocupações, oferecendo no total 137 postos. A empresa média é única de formação recente, sendo uma filial com sede em São Paulo. Há também, para atendimento à demanda por máquinas e equipamentos dos apicultores, uma indústria especializada. Além do mel, comercializa-se cera, própolis, geleia real e apitoxina. Nos últimos anos, novas empresas, com sedes em outros estados, têm passado a se localizar na região de Picos, buscando atuar na produção, beneficiamento e comercialização (inclusive exportação) do mel.

No sudeste do Mato Grosso do Sul, no Vale do Ivinhema, localiza-se um APL em torno da atividade produtora de mandioca (LE BOURLEGAT, et al., 2004). Cultura tradicional no Brasil, pouco exigente em termos de condições climáticas e de solo e conhecida pelos nativos antes da colonização portuguesa, a mandioca é cultivada hoje em grande quantidade internacionalmente. O Brasil é o segundo maior produtor mundial, atrás apenas na Nigéria. Entre os continentes, a produção é maior na África, sendo seguida por Ásia e América Latina (as três regiões concentram 99,9% da produção) (FAO, 2001 e 2002, apud LE BOURLEGAT, et al., 2004). A mandioca tem uso na alimentação humana e animal e no consumo industrial.

O Vale do Ivinhema se localiza próximo ao estado do Paraná, maior produtor nacional de fécula de mandioca, sendo por isso propício para acessar o mercado de mandioca. A região é líder em produtividade, com 30 toneladas/hectare, sendo superior à Índia, que entre os países é o mais produtivo mundialmente. A produção é altamente mecanizada; são usados afofadores e plantadeiras mecânicas e, na colheita, tratores com certos acoplamentos podam e colhem a produção, que em outros locais seria feita com facão ou serra para podar e arranque manual das raízes (LE BOURLEGAT, et al., 2004).

---

[3] O opérculo é uma camada protetora de cera, colocada pelas abelhas cobrindo o alvéolo quando o mel está maduro.

A constituição do arranjo foi facilitada por relações pré-existentes – vias de transporte e comunicação - com o noroeste paranaense. Nos anos 1980, a municípios do vale atraíam empresários do Paraná para atuarem na cadeia produtiva da mandioca. Agricultores recém-migrados de estados feculeiros, incentivos locais e ambiente propício (principalmente o clima) facilitaram a localização do arranjo. Le Bourlegat et al. (2004) denota que, entre 2001 e 2004, o arranjo cresceu de 14 para 24 unidades, mais do que dobrando a produção de raiz para 257 mil toneladas/dia. Neste Arranjo Produtivo Local, produtores de milho, soja e algodão também participam temporariamente.

Embora as atividades dependam inicialmente da produção do setor rural, neste APL participam agentes industriais, como os feculeiros, detentores de unidades modernas para o processamento do amido modificado, voltado ao mercado internacional. Em 2004, no APL do Vale do Ivinhema, estavam presentes oito unidades feculeiras. Mais antigos na atividade industrial dependente da mandioca são os farinheiros. No arranjo, essas unidades tratam-se de microempresas em número decrescente, sendo considerado que há pouco incentivo a este segmento. O arranjo ainda envolve entidades de pesquisa, recebendo apoio científico-tecnológico de universidades do estado, e apoio técnico do Instituto de Desenvolvimento Agrário, Pesquisa e Assistência Técnica e Extensão Rural de Mato Grosso do Sul – IDATERRA e do SEBRAE, entre outros.

Os produtores rurais no APL são predominantemente migrantes de áreas produtoras de mandioca. Eles conhecem as técnicas de cultivo mais avançadas e as disseminam. As condições de suporte por pesquisas locais e clima potencializam sua produção, principalmente aliada à mecanização do cultivo. Le Bourlegat et al. (2004) também comentam que apesar da mandioca estar entre as produções mais importantes para os integrantes deste produtor familiar, não é a única na garantia de sua sobrevivência. A atividade industrial induz o produtor rural a buscar a redução de custos (de onde vem a estratégia de mecanização) e ganho de produtividade na mandioca colhida (escolha de variedades com mais fécula por planta).

As organizações (“empresas”) em um Arranjo Produtivo Local Rural são predominantemente pequenas fazendas, unidades produtivas rurais. Fazendas de pequenos produtores são caracterizadas pelo uso predominante de mão de obra familiar e por suas propriedades servirem como fonte principal de renda e sustento à família (JOHANSEN, et al., 2012). Limitados a cerca de três hectares de solo frequentemente de inferior qualidade (LAL,

2000 apud JOHANSEN et al., 2012), os produtores têm dificuldades para lidar com problemas de pestes e doenças na produção. Pequenas unidades produtivas rurais também são normalmente limitadas em capital e crédito disponíveis e conhecimentos técnicos do estado da arte de seu negócio (JOHANSEN, et al., 2012).

Mesmo hoje, décadas após o início da Revolução Verde, a agricultura de pequenos produtores mantém grande importância para a segurança alimentar mundial. Na América Latina, 41% do consumo doméstico de produtos agrícolas é suprido pela produção das mais de 16 milhões de pequenas fazendas existentes. No Brasil estas unidades ocupam 30% das terras de agricultura, sendo estes camponeses os principais produtores de leguminosas (67%) e mandioca (84%) (ALTIERI, 2004 apud ALTIERI, et al., 2012). Situações similares podem ser encontradas na África e na Ásia.

Altieri et al. (2012) citam entre as características da produção rural camponesa os altos níveis de biodiversidade, que regulam o funcionamento do ecossistema; sistemas diversificados de agricultura que também são resilientes e robustos, capazes de se adaptar a mudanças e minimizar riscos; além de valores culturais fortes e formas de organização coletiva para gestão, regulação de acesso a recursos e benefícios, etc.

Desta forma, ao utilizar-se de policulturas, o que reduz as perdas de produção para ervas daninhas, insetos, doenças e melhora a eficiência de utilização de água, luz e nutrientes, as pequenas fazendas familiares são, de fato, mais produtivas que as grandes fazendas (de monoculturas com produção mecanizada e uso de agrotóxicos) se considerada a produção total e não a de apenas uma categoria de cultivo (ALTIERI, et al., 2012).

Os arranjos produtivos locais rurais se configuram como aglomerados destas pequenas fazendas camponesas limitadas a uma determinada localização geográfica e, assim, se aproveitam das características mencionadas anteriormente, potencializando-as pela organização formal, facilitando trocas materiais e energéticas entre os processos de unidades produtivas distintas, além da difusão de conhecimentos e técnicas.

2.3. Avaliação de desempenho ambiental

Segundo a ISO (1999 p. vi), “muitas organizações estão buscando maneiras de entender, demonstrar e melhorar seu desempenho ambiental”. No texto da norma ISO 14.031, que trata da Avaliação de Desempenho Ambiental, a organização ainda aponta que “a gestão eficaz de elementos que possam ter impacto significativo no meio ambiente” é um caminho para se alcançar este objetivo (ISO, 1999 p. vi).

A organização, através da norma ISO 14.031, lembra a importância de informações confiáveis e verificáveis na determinação do cumprimento dos critérios estabelecidos, propondo que a avaliação do desempenho ambiental leve em conta seus critérios internos (política ambiental, objetivos e metas da própria organização). Assim, a norma em si não estabelece níveis de desempenho.

Em uma definição geral do conceito de indicadores de desempenho:

> *“(...) os indicadores são ferramentas utilizadas para a organização monitorar determinados processos (geralmente os denominados críticos) quanto ao alcance ou não de uma meta ou padrão mínimo de desempenho estabelecido.”* (CAMPOS, et al., 2008 p. 542).

Para evidenciar os processos críticos é necessário que haja monitoramento que envolva todos os processos, mesmo que qualitativamente. A informação dos indicadores aponta desvios que devem ser corrigidos, passando pela identificação das causas e planos de ação para melhoria, e serve de base para tomadas de decisão.

No caso particular do desempenho ambiental, seguem abaixo algumas definições da ISO 14.031 (ISO, 1999 p. 2).

- Desempenho ambiental: “*resultados da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais*”;
- Critério de desempenho ambiental: “*objetivo ambiental, meta ambiental ou outro nível de desempenho ambiental estabelecido pela direção da organização e empregado com o propósito de avaliar o desempenho ambiental*”;
- Avaliação de desempenho ambiental (ADA): “*processo utilizado para facilitar as decisões da direção com respeito ao desempenho ambiental da*

organização mediante a seleção de indicadores, a compilação e a análise de dados, a avaliação da informação comparada com os critérios de desempenho ambiental, os relatórios e comunicações, as revisões periódicas e as melhorias deste processo";

- Indicador de desempenho ambiental (IDA): *"expressão específica que proporciona informação sobre o desempenho ambiental de uma organização"*.

Pela norma internacional, segue-se o ciclo PDCA[4] na busca pela melhoria do desempenho ambiental, ficando o planejamento da Avaliação de Desempenho Ambiental e a escolha dos Indicadores de Desempenho Ambiental na fase de planejamento (Plan). Na fase Fazer (Do), os dados são coletados e analisados, sendo avaliada a informação construída, que em seguida é comunicada. A partir da revisão na fase de checagem (Check), é possível tomar as ações (Act) necessárias para melhoria do processo avaliado, retornando à fase de planejamento (ISO, 1999).

Como visto, a norma ISO 14.031 define indicador de desempenho ambiental como "expressão específica que proporciona informação sobre o desempenho ambiental de uma organização" (ISO, 1999 p. 2).

Para a ISO (1999), existem dois tipos de indicadores de desempenho ambiental. O primeiro tipo, indicadores de desempenho de gestão, é útil para avaliar o esforço da gestão da organização em alterar o desempenho ambiental de suas operações. O segundo tipo, que tomaremos como foco neste trabalho, informa mais diretamente sobre o desempenho ambiental das operações em si. As expressões que apresentam informação deste segundo tipo são chamadas indicadores de desempenho operacional.

Os indicadores listados por Campos et al. (2008), que divide os indicadores de desempenho operacional em duas classificações, "Aspectos Ambientais", "Controle Operacional" e "Monitoramento e Medição", de acordo com requisitos presentes na norma ISO 14.001, foram retirados da ISO 14.031 e de outros autores.

---

[4] PDCA – sigla em inglês para o ciclo constituído pelas fases Planejar, Fazer, Checar e Agir (Plan, Do, Check, Act), objetivando a melhoria contínua na organização.

Indicadores de Desempenho Operacional – Aspectos Ambientais

Nome dos indicadores	Fonte
Quantidade de materiais usados por unidade de produto Quantidade de materiais processados, reciclados ou reutilizados Quantidade de materiais de embalagem descartados ou reutilizados por unidade de produto Quantidade de outros materiais auxiliares reciclados ou reutilizados Quantidade de matéria-prima reutilizada no processo de produção Quantidade de água por unidade de produto Quantidade de água reutilizada Quantidade de materiais perigosos usados no processo de produção	NBR ISO 14031 (2004) - Materiais
Quantidade de energia usada por ano ou por unidade do produto Quantidade de energia usada por serviço ao cliente Quantidade de cada tipo de energia usada Quantidade de energia gerada com subprodutos ou correntes de processo Quantidade de unidades de energia economizadas devido a programas de conservação de energia	NBR ISO 14031 (2004) Energia
Quantidade de resíduos por ano ou por unidade de produto Quantidade de resíduos perigosos, recicláveis ou reutilizáveis produzidos por ano Quantidade de resíduos para disposição Quantidade de resíduos armazenados no local Quantidade de resíduos contratados por licenças Quantidade de resíduos convertidos em material reutilizável por ano Quantidade de resíduos perigosos eliminados devido a substituição de material	NBR ISO 14031 (2004) Resíduos
Quantidade de emissões específicas por ano Quantidade de emissões específicas por unidade de produto Quantidade de energia desperdiçada, liberada para a atmosfera Quantidade de emissões atmosféricas com potencial depleção da camada ozônio Quantidade de emissões atmosféricas com potencial de mudança climática global Quantidade de material específico descarregado por ano Quantidade de material específico descarregado na água por unidade de produto Quantidade de material destinado para aterro sanitário por unidade de produto Quantidade de energia desperdiçada liberada para a água Quantidade de efluentes por serviço ou cliente Ruído medido em determinado local Quantidade de radiação liberada Quantidade de calor, vibração ou luz emitida	NBR ISO 14031 (2004) Emissões
Quantidade de materiais perigosos usados por prestadores de serviços contratados Quantidade de produtos de limpeza usados por prestadores de serviços contratados Quantidade de materiais recicláveis e reutilizáveis usados pelos prestadores de serviços contratados Quantidade ou tipo de resíduos gerados pelos prestadores de serviços contratados	NBR ISO 14031 (2004) Serviço de apoio às operações da organização
Massa mensal de resíduos da classe I, II e III gerados Massa mensal de resíduos reciclados em tonelada por tonelada de perfis produz	CUNHA (2001)
Reciclagem de resíduos Consumo de matérias-primas Geração de gases Consumo de materiais de embalagens	TOCCHETTO (2004)

Geração de resíduos sólidos Padrões físico-químicos dos efluentes Consumo de recursos não-renováveis	
Geração de resíduos sólidos por unidade produzida Geração de efluentes líquidos por unidade produzida Consumo de energia por unidade produzida Consumo de água por unidade produzida Consumo de matéria-prima por unidade produzida Consumo de material reciclado ou reutilizado por unidade produzida	GASPARINI (2003)
Volume total de efluentes líquidos Volume total de efluentes líquidos industriais Volume total de efluentes líquidos orgânicos Volume de água reutilizado	NATURA apud Cartilha FIESP (2003)
Volume de eletricidade auto-gerada Volume de eletricidade adquirida Volume dos resíduos retornados para o processamento ou recomercialização Volume total de resíduos por tipo de material e destino Volume de resíduos utilizados por outras indústrias Volume de resíduos utilizados por outras indústrias em toneladas ano	NATURA/GRI apud Cartilha FIESP (2003)
Quantidade de CO2 equivalentes Consumo total de água Volume total de resíduos Consumo total de combustíveis Consumo de materiais reciclados (pré e pós-consumo) Consumo de materiais para embalagens	NATURA/GRI/ MEPI apud Cartilha FIESP (2003)
Consumo específico de energia Sólidos em suspensão na atmosfera Nº de emissões atmosféricas	BOOG e BIZZO (2003)
Nº de emissões de poluentes Percentual de toxicidade das matérias-primas Nº de vazamentos de óleo nos efluentes Percentual de consumo de óleo combustível, hidrogênio e gás natural	DEMAJOROVIC e SANCHES (1999)
Índice de resíduos gerados por unidade produzida Índice percentual de resíduos reciclados	PACHECO (2001)
Efluente líquido contaminado por óleo sujo Consumo de areia verde Consumo de água industrial Efluentes líquidos contaminados por óleo sujo Lâmpadas com metal pesado / área de construção Co-disposição de resíduo em aterro	MAHLE apud Cartilha FIESP (2003)
Consumo total de energia	MEPI apud Cartilha FIESP (2003)

Quadro 1 Indicadores de Desempenho Operacional – Aspectos Ambientais. Adaptado de CAMPOS et al. (2008).

Os indicadores do Quadro 1 estão associados a recursos materiais (incluindo água e possíveis materiais perigosos), uso de energia e emissões de rejeitos dos processos, no sentido de quantificá-los e qualificar sua distribuição (por exemplo, a informação de quanta energia é utilizada e de quantas fontes diferentes ela provém).

O Quadro 2, por outro lado, apresenta indicadores relativos ao impacto dos equipamentos (uso, consumo, emissões) e ocupação do solo pelas instalações físicas. Também são considerados indicadores referentes a produtos e subprodutos de risco.

Indicadores de Desempenho Operacional – Controle Operacional

Nome dos indicadores	Fonte
Nº de partes de equipamentos com peças projetadas para fácil desmontagem, reciclagem e reutilização Nº de horas por ano que uma peça específica do equipamento está em operação Nº de situações de emergência (por exemplo: explosões) ou operações não rotineiras (por exemplo: paradas operacionais) por ano Área total de solo usada para fins de produção Área de solo usada para produzir uma unidade de energia Consumo médio de combustível da frota de veículos Nº de veículos da frota com tecnologia para redução da poluição Nº de horas de manutenção preventiva dos equipamentos/ano	NBR ISO 14031 (2004) Instalações físicas e equipamentos
Consumo médio de combustível da frota de veículos Nº de carregamentos expedidos por meio de transporte por dia Nº de veículos da frota com tecnologia para redução da poluição Nº de viagens a negócios por modo de transporte Nº de viagens de negócios economizadas em decorrência de outros meios de comunicação	NBR ISO 14031 (2004) Fornecimento e distribuição
Consumo de água mensal por pessoa Consumo de energia elétrica por pessoa Percentual de resíduos gerados	CAMPOS (2001)
Percentual de emissão de CO2 por unidade de produto produzido Percentual de resíduos produzidos por recurso utilizado	BERGAMINI (1999)
Consumo específico de água e Recirculação da água	BOOG e BIZZO (2003)
Riscos associados aos processos produtivos e de consumo Produtos finais gerados na empresa que apresentam algum grau de toxicidade e risco Produtos de maior risco	DEMAJOROVIC e SANCHES (1999)

Quadro 2 Indicadores de Desempenho Operacional – Controle Operacional. Adaptado de CAMPOS et al. (2008).

Os indicadores de Monitoramento e Medição (Quadro 3) listados por Campos et al. (2008) dizem respeito a características dos produtos comercializados, processos auxiliares (limpeza e pós-venda), enquanto outros tem a ver com indicadores presentes nos quadros 1 e 2, como o consumo de energia elétrica e água. Também estão presentes expressões sobre investimentos realizados, o que se caracteriza, a princípio, como indicador de desempenho gerencial.

Foi mantido o Quadro 3 para exemplificação, porém neste trabalho serão abordados principalmente os indicadores de características mais ligadas aos quadros 1 e 2, Aspectos Ambientais e Controle Operacional.

Note-se que alguns indicadores apresentados tratam de informações semelhantes e outros poderão ser considerados irrelevantes dependendo do processo em questão. Ainda, muitos indicadores representam quantidades absolutas (ao menos da forma em que estão nomeados), o que não é ideal na obtenção de uma informação útil. Bons indicadores deverão ter uma dimensão relativa, embora seja possível utilizar valores absolutos na comparação de sua evolução no tempo ou em benchmarking com outros processos ou organizações.

Indicadores de Desempenho Operacional – Monitoramento e Medição

Nome dos indicadores	Fonte
Nº de produtos introduzidos no mercado com propriedades perigosas reduzidas Nº de produtos que podem ser reutilizados ou reciclados Percentagem do conteúdo de um produto que pode ser reutilizado ou reciclado Índice de produtos defeituosos Nº de unidades de subprodutos gerados por unidade de produto Nº de unidades de energia consumidas durante uso do produto Duração do uso do produto Nº de produtos com instrução referente ao uso e à disposição ambientalmente seguros	NBR ISO 14031 (2004) Produtos
Quantidade de agentes de limpeza usados por metro quadrado Quantidade de combustível consumido Quantidade de licenças vendidas de processos melhorados Nº de casos de incidentes de riscos de crédito ou insolvências relacionados a questões ambientais (organizações financeiras) Quantidade de materiais usados durante os serviços de pós-venda dos produtos	NBR ISO 14031 (2004) Serviços fornecidos pela organização
Total de energia elétrica Volume de água consumido	CUNHA (2001)
Investimento em gás natural Geração de energia elétrica na própria organização Co-geração de vapor e energia elétrica por meio de combustão de gás natural Investimentos em fontes de energia mais eficientes Redução de emissão de poluentes gasosos e líquidos	DEMAJOROVIC e SANCHES (1999)

Quadro 3 Indicadores de Desempenho Operacional – Monitoramento e Medição. Adaptado de CAMPOS et al. (2008).

Além dos indicadores anteriormente apresentados, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos (OECD) mantém uma base de dados com indicadores agro-ambientais que usa normalmente para comparação entre países (OECD, 2008a), e outros cuja base de dados ou outras características ainda não permitem esta análise (OECD, 2008b), que podem ser incluídos neste trabalho para posterior análise. No caso destes indicadores, o foco principal é em dados agregados de cada país, diferente do foco do presente trabalho, que se

propõe a investigar arranjos produtivos locais isoladamente. No Apêndice 1 está presente a lista completa dos indicadores presentes nas publicações da OECD.

Sellitto et al. (2010) listam uma série de métodos presentes na literatura para mensuração do desempenho ambiental, evidenciando que há uma ampla gama de possibilidades para se atacar este problema. A lista parte de análises em uma única dimensão (seja solo, ar etc.) e a construção de índices agregados de desempenho, até estruturas mais complexas, como o uso do conceito do BSC (Balanced Scorecard) para construção conjunta da estratégia e da medição e um método para avaliações multidimensionais, entre outros.

Os próprios autores (SELLITTO, et al., 2010) propõem um método (batizado de BSP) onde são avaliadas cinco dimensões (ou "construtos"): emissões atmosféricas; efluentes líquidos; resíduos sólidos; consumo de recursos naturais; e atendimento à legislação e certificações. Os construtos são hierarquizados em importância por especialistas em cada caso, que também são responsáveis por levantar os indicadores que os descrevem. As importâncias dos construtos são um valor percentual (a soma dos cinco construtos deve ser 1). Este percentual é dividido entre os indicadores que descrevem cada área (peso dos indicadores) e o resultado de cada indicador tem como comparação (e limite) este peso. Obtém-se então o desempenho ambiental global, e o de cada construto, com sua "lacuna" ou oportunidade de melhoria relativa.

O modelo é interessante, pois tanto é capaz de emitir um resultado de desempenho global quanto analisar cada área impactante. A hierarquização não segue uma prática pré-definida, mas é satisfatória por ser realizada por especialistas e gestores dos processos envolvidos. O método também parece ter um foco maior nos resíduos que nas operações em si (três dos cinco construtos são sobre resíduos, apenas um sobre o consumo da operação).

Há diversos métodos para avaliação do desempenho ambiental das organizações, cada um se adaptando a operações diferentes, mas a dependência de indicadores (especialmente quantitativos) é unânime. Identificadas as dimensões que apresentam oportunidade de melhoria em consonância com a estratégia da organização, torna-se possível construir um plano de ação que leve a resultados de desempenho aprimorados.

3. Ecologia Industrial no meio rural

Assim como, à primeira vista, a própria denominação Ecologia Industrial parece contraditória pela visão padrão do sistema industrial alheio à biosfera - fábricas desassociadas da natureza - (ERKMAN, 1997), a tentativa de aplicá-lo no meio rural fortalece ainda mais o oximoro ("Ecologia Industrial Rural"). Entretanto, não há uma característica associada à Ecologia Industrial que limite sua aplicação a sistemas produtivos industriais, portanto sendo aceitável falar de sua aplicabilidade nas várias atividades do setor primário.

De certa forma, este trabalho se aproxima de estudos no campo da Agroecologia. A Agroecologia é vista como uma disciplina científica, um movimento e uma prática (WEZEL, et al., 2009) e, em uma definição ampla, trata-se do "estudo integrativo da ecologia do sistema alimentar completo, envolvendo as dimensões ecológica, econômica e social" (FRANCIS, et al., 2003 p. 99). Assim, o oximoro "Ecologia Industrial Rural" poderia ser superado pela adoção desse conceito. Porém, a Ecologia Industrial foi preferida neste trabalho por estar mais próxima, historicamente, aos conceitos de Engenharia de Produção, enquanto a Agroecologia é geralmente associada, no campo das ciências aplicadas, à Agronomia.

De forma análoga aos processos produtivos industriais, nas atividades produtivas rurais há *inputs* e *outputs*, sendo que, no mínimo, podemos considerar que parte dos *outputs* não tem necessariamente valor econômico para o produtor. Portanto, é possível pensar em aumentar a eficiência da utilização dos insumos e aplicação dos subprodutos a outros processos produtivos. A produção rural já, originalmente, por sua maior dependência de processos "da natureza", aproveita-se normalmente desses subprodutos e vantagens da combinação de processos distintos. Como exemplos:

- Uso da palha da colheita anterior para adubo do solo para a próxima plantação;
- Uso de esterco animal na adubagem do solo;
- Alimentação de suínos e galináceos com resíduos de vegetais da alimentação humana;
- Plantação combinada de milho com leguminosas; entre outros.

Outra consideração importante acerca especificamente da agricultura é que sua produção tem, relativamente, uma matriz energética renovável, embora economicamente isso não seja contabilizado: a principal fonte da energia encerrada em seus produtos é o sol. Ao

mesmo tempo, a agricultura mecanizada pode ser intensiva em consumo de diesel e muitos agrotóxicos e adubos são obtidos a partir de derivados do petróleo, “sujando” esta matriz.

Pelas características apresentadas (com foco na agricultura e na pecuária de pequenos produtores), nota-se que esses sistemas produtivos estão a priori em maior consonância com os princípios da Ecologia Industrial, por serem dependentes dos princípios ecológicos em si. Por este mesmo motivo, a abordagem de avaliação de desempenho a partir destes princípios é válida, em especial, quando existe esforço deliberado para se produzir de acordo com eles.

4. Definição do Método de Avaliação

O objetivo desta seção é descrever o processo decisório pelo qual os indicadores constituintes do método de avaliação descrito adiante foram selecionados. Tendo início em uma base de indicadores que supera a centena – combinando indicadores da OECD (2008a) e os listados por Campos et al. (2008), anteriormente apresentados, a dificuldade se dá em obter destes uma quantidade viável de indicadores. A matriz de indicadores selecionados deve proporcionar uma avaliação útil do sistema produtivo - e cuja medição não seja tecnicamente dispendiosa, dado o público, de pequenos produtores rurais, ao qual se destina.

Para reduzir a quantidade de indicadores a um número viável, Bossel (1999 pp. 60-61) sugere as seguintes possibilidades:

- *Agregação* dos indicadores ao máximo;
- *Condensação* – ignorando viabilidade intermediária e focando no fator máximo de viabilidade do problema;
- Identificar os *elos mais fracos* do sistema e seu indicador;
- Definir uma *cesta básica* que cobre diferentes aspectos apontando uma visão média da situação;
- Escolher o indicador com o pior resultado entre seus semelhantes para compor uma *cesta mínima* (requer conhecimento dos valores);
- Escolher o *indicador mais representativo*, capaz de descrever a situação como um todo;
- Na falta de informação quantitativa, utilizar-se de uma *análise subjetiva da viabilidade*.

Para este trabalho, optou-se pelo conceito da Cesta Básica acima.

É crucial também que os indicadores utilizados atendam, primeiramente, a critérios de qualidade para indicadores em geral. A OECD avalia seus indicadores identificando se eles são:

- Relevantes para políticas: pelos critérios de número de países que possuem os dados e contribuição da agricultura para impacto ambiental;
- Analiticamente sólidos: pela metodologia de cálculo e certeza da estimativa;

- Mensuráveis: alcance temporal e cobertura dos dados, frequência e método da coleta de dados e instituição responsável; e
- Interpretáveis: fácil entendimento, comparabilidade entre países.

Os critérios acima serão tomados como mínimos para aceitação de um indicador. Um indicador deve, portanto, atender a todos os quatro critérios anteriores.

É importante notar que, na base de dados de indicadores, todos os indicadores retirados de fontes da OECD, a princípio, cumpririam estes critérios. Porém, enquanto no contexto da OECD os critérios eram vistos em termos de competências de cada país, no presente trabalho a avaliação destes critérios leva em consideração os limites de pequenos produtores rurais, claramente com menor leque de possibilidades para modificar suas políticas, menos ferramentas para realizar medições rigorosas e, potencialmente, interpretabilidade limitada de alguns dados. Portanto, todos os indicadores devem ser reavaliados por estes critérios considerando o contexto dos pequenos produtores rurais e suas limitações práticas.

Ainda no contexto desta pesquisa, os conceitos de Ecologia Industrial foram sintetizados pelos quatro princípios ecológicos apontados por Korhonen (2001) para o estabelecimento de um ecossistema industrial. Na escolha de indicadores de desempenho propõe-se que estes princípios sejam utilizados ao mesmo tempo como critérios de escolha e dimensões a serem avaliadas em um sistema produtivo.

Os quatro princípios, transformados em critérios de escolha de indicadores, podem ser reescritos como as perguntas abaixo:

- *Roundput*: “O indicador mede a capacidade do sistema de manter recursos vitais dentro do sistema ou beneficiar-se de seus resíduos?”;
- Diversidade: “O indicador mede a variedade de algum elemento do sistema ou ambiente?”;
- Localidade: “O indicador mede o aproveitamento de recursos de origem local ou o esforço para obtenção de recursos indisponíveis localmente?”;
- Mudança gradual: “O indicador pode apontar a taxa de alteração de alguma variável do sistema ou fator ambiental?”.

Utilizando as perguntas acima como guias na escolha de indicadores, espera-se poder avaliar a presença da Ecologia Industrial, neste contexto, tomada como a emulação dos processos naturais nos sistemas produtivos avaliados.

A OECD (2008a) agrupa seus principais indicadores nas grandes áreas Solo, Água, Ar, Biodiversidade, Gestão Agrícola e Insumos Agrícolas. A área de Gestão Agrícola abrange indicadores que focam nas práticas e políticas, se configurando como indicadores de desempenho gerencial – que este trabalho não pretende focar.

A área de Insumos Agrícolas, por outro lado, inclui as subáreas Nutrientes, Pesticidas e Energia. Propõe-se trabalhar com estas subáreas como grandes áreas e inclusive expandi-las. Desta forma, Nutrientes se expande na área a ser denominada Materiais. A área de Pesticidas, por sua vez, pode ser expandida para contemplar de modo mais geral a Toxicidade. Sendo assim, neste trabalho os indicadores são agrupados nas seguintes sete grandes áreas:

- Solo;
- Água;
- Ar;
- Biodiversidade;
- Materiais;
- Toxicidade;
- Energia.

No caso da área Materiais, devem ser consideradas em especial as substâncias que não constam de outras categorias (água e combustíveis, por exemplo, não se enquadram), mas que são utilizados nos processos da unidade produtiva. Isto inclui tanto matéria orgânica (por exemplo, palha de outras lavouras e esterco animal), quanto peças de equipamentos.

Propõe-se finalmente construir um método de avaliação no molde da Cesta Básica apresentada anteriormente. Como o cumprimento de todos os critérios da OECD – adaptados ao contexto – é exigido igualmente de todos os indicadores, estes não apresentam dimensões a serem avaliadas independentemente. Por outro lado, os quatro critérios derivados dos princípios ecológicos são em si dimensões de avaliação de cada área.

Assim, a matriz se reduz a, no máximo, 28 indicadores – sete áreas com quatro dimensões cada. Note que este número pode ser inferior considerando-se que um único indicador pode ser capaz de avaliar mais de uma dimensão (princípio ecológico) e, ainda, pode não ser encontrado indicador que atenda a um ou mais princípios em determinada área. No segundo caso, torna-se válida nova exploração ou proposição de variáveis adequadas a preencher a lacuna.

5. Análise dos resultados e propostas alternativas

Após aplicação dos critérios da seção anterior à base de indicadores obtida da literatura, a matriz de avaliação proposta se reduz aos indicadores apresentados no Quadro 4. Os indicadores desconsiderados encontram-se agrupados por motivo da retirada no Apêndice 2.

Embora os critérios utilizados visassem à escolha de um indicador para cada combinação de área com princípio, em alguns casos não foi identificado na base um indicador que, ao mesmo tempo, fosse representativo e atendesse aos critérios de relevância, solidez para análise, mensurabilidade e interpretabilidade. No caso mais crítico, faltaram indicadores para três dos princípios ecológicos na área Solo. Mas também houve duas lacunas em Ar, Materiais e Toxicidade e uma em Água e Biodiversidade. Apenas a área Energia teve indicadores para todos os princípios.

a) Solo

Quanto à área Solo, apenas o princípio da Mudança Gradual teve como indicador selecionado "Erosão bruta na fazenda (vento, água e lavoura)". O fenômeno pode ser identificado visualmente e medido em unidades de área.

Para os princípios de *Roundput*, Diversidade e Localidade não havia na base utilizada indicadores que os representassem. Poderiam ser propostos novos indicadores para suprir esta necessidade. Por exemplo, dentre os indicadores da OECD tem-se "Balanço bruto entre inputs de nitrogênio/fósforo (fertilizantes, esterco) e outputs (cultivares, pasto)" que inspira a criação do indicador "Balanço bruto de uso e reposição de nutrientes no solo", que representaria o *Roundput*. Porém, é questionável a mensurabilidade deste indicador no contexto em que ele é proposto.

Para Diversidade, uma opção é considerar a quantidade de áreas com diferentes tipos de solos, cada um com características físico-químicas específicas, dentro das propriedades. Por outro lado, não é tão simples definir o que a dimensão Localidade possa significar em relação ao uso do solo.

	Roundput	**Diversidade**	**Localidade**	**Mudança Gradual**
Solo				Erosão bruta na fazenda (vento, água e lavoura)
Água	Recirculação da água		Capacidade de retenção de água por instalações de irrigação ou drenagem	Quantidade de água por unidade de produto
Ar	Balanço de emissão de gases do efeito estufa (emissões menos absorções)			Total bruto de emissões de gases do efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso)
Biodiversidade		Variedades de plantas registradas e certificadas para o mercado para as categorias principais de cultivo Variedades de animais registrados e certificados para o mercado para as categorias principais de criação	Número e participação de cultivares nativos em risco de extinção	Conversão de terras de agricultura para e de outros usos da terra
Materiais	Consumo de material reciclado ou reutilizado por unidade produzida			Quantidade de materiais usados por unidade de produto Índice de resíduos gerados por unidade produzida
Toxicidade		Uso de pesticidas em termos de toneladas de ingredientes ativos Nº de vazamentos de óleo nos efluentes		Uso de pesticidas em termos de toneladas de ingredientes ativos Nº de vazamentos de óleo nos efluentes
Energia	Produção e uso de energia renovável pela agricultura	Volume de eletricidade autogerada	Produção e uso de energia renovável pela agricultura Volume de eletricidade autogerada	Quantidade de energia usada por unidade do produto

Quadro 4 Matriz de indicadores selecionados, por área e princípio ecológico (Fonte: o autor).

b) Água

A área Água teve “Recirculação de água” selecionado como indicador de *Roundput*. É importante notar que, embora a princípio objetive-se estimular a recirculação de água, há usos da água que reduziriam seu potencial de reciclagem, seja por alterarem suas características físico-químicas de modo a torná-la inutilizável (por toxicidade, por exemplo), ou por tornar complicada sua recuperação direta (após sua infiltração no solo, evaporação, etc). Se aplicado este indicador, pode-se considerar a possibilidade de evitar estes usos, assim como de não considerá-los em eventuais metas de desempenho, embora se deva lembrar a possibilidade de desenvolvimento de técnicas que alterem esses estados de difícil reversão direta.

Para Localidade, foi selecionado um indicador que considera o aproveitamento de água precipitada na área, diminuindo a dependência de água encanada (que de fato não se espera encontrar em muitas das pequenas propriedades nestes arranjos produtivos), mas também da bacia hidrográfica que corte a região: “Capacidade de retenção de água por instalações de irrigação ou drenagem”. Enquanto isso, a dimensão Mudança Gradual foi representada pelo indicador “Quantidade de água por unidade de produto”, que mede diretamente a produtividade através da quantidade de água usada na fazenda (principalmente irrigação) e seu output em, digamos, massa de produção agrícola. Este indicador é limitado para realização de análises entre produtos diferentes, que naturalmente tem necessidades de água incomparáveis (por exemplo, mandioca e melancia), mas como indicador interno a uma categoria de cultivo é válido.

Para o princípio de Diversidade não houve indicador selecionado. Pode-se pensar em diversidade de fontes de água utilizadas – por exemplo, água encanada ou de poços, açudes, rios, da chuva, ou mesmo, em outros contextos, de geleiras. Inclusive, pode-se tomar este indicador considerando separadamente poços em lençóis freáticos distintos ou rios de nascentes distintas (embora o contexto de pequenas propriedades limite estas possibilidades). O controle deste indicador se traduz em manutenção das fontes de um insumo que é vital à atividade agrícola e, por este motivo, a utilização do indicador seria relevante.

c) Ar

A área Ar teve dois dos princípios ecológicos contemplados com indicadores. “Balanço de emissão de emissão de gases do efeito estufa (emissões menos absorções)” para

Roundput e “Total bruto de emissões de gases do efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso)” para Mudança Gradual. A mensurabilidade destes indicadores por pequenos produtores é discutível, embora as emissões e absorções possam ser estimadas a partir de fatores como consumo de combustível, quantidade de material queimado, tamanho dos rebanhos, áreas de mata nativa, áreas de cultivo, etc. Para Localidade e Diversidade não foram selecionados indicadores.

d) Biodiversidade

A área seguinte, Biodiversidade, teve três indicadores selecionados. Porém, dois deles representativos do mesmo princípio ecológico: Diversidade – o que era de se esperar pela denominação da área. Buscando respeitar o conceito de Cesta Básica, escolheu-se sempre, entre os indicadores, o que fosse mais representativo como um todo. No caso da Biodiversidade, dois os indicadores “Variedades de plantas registradas e certificadas para o mercado para as categorias principais de cultivo” e “Variedades de animais registrados e certificados para o mercado para as categorias principais de criação” divergiram, um não sendo passível de representação pelo outro. Entretanto, é trivial definir um indicador que englobe ambos e os substitua: “Variedades de espécies registradas e certificadas para o mercado e para as principais categorias de cultivo e criação”.

O indicador “Número e participação de cultivares nativos em risco de extinção” foi selecionado para o princípio Localidade e “Conversão de terras de agricultura para e de outros usos da terra” para o princípio de Mudança Gradual da Biodiversidade, representando tanto alteração dos cultivos e criações quanto a variação dos habitats naturais dentro da propriedade e, portanto, a diversidade de espécies. *Roundput* não teve indicador selecionado.

e) Materiais

Na área Materiais, o princípio *Roundput* obteve o indicador “Consumo de material reciclado ou reutilizado por unidade produzida”, enquanto Mudança Gradual no final do processo de seleção acabou recebendo dois indicadores: “Quantidade de materiais usados por unidade de produto” e “Índice de resíduos gerados por unidade produzida”. Como não é possível representar uma medida pela outra e é no mínimo complexo – se possível – definir outro indicador que seja capaz de explicitar ao mesmo tempo ambas as medidas, neste trabalho, ambos serão mantidos. Na aplicação a casos práticos, pode-se escolher a opção mais adequada, se necessário.

Diversidade e Localidade não tiveram indicadores selecionados para a área Materiais. A lacuna em Diversidade de Materiais poderia ser medida pelo número de diferentes insumos usados nos cultivos e criações. Para Localidade, pode-se considerar a razão entre a quantidade de materiais produzidos localmente e o total de materiais utilizados no arranjo produtivo. Para definir "produzido localmente" determina-se um raio máximo centrado na propriedade que usa o insumo limitando a distância máxima do local de sua produção. A ideia é que mesmo que adquiridos de terceiros, os materiais sejam produzidos nas proximidades do local de uso.

f) Toxicidade

Quanto à esfera de Toxicidade, nota-se inicialmente que é difícil associar a ela um indicador que meça seu *Roundput* e Localidade. De fato, não houve indicadores adequados a estes princípios na literatura e, além disso, é discutível se seriam aplicáveis.

Por outro lado, para Diversidade e Mudança Gradual foram selecionados os mesmos dois indicadores em ambos os princípios: "Uso de pesticidas em termos de toneladas de ingredientes ativos" e "Número de vazamentos de óleo nos efluentes". Isto pode ter sido causado principalmente pela subjetividade envolvida no processo de classificação e seleção dos indicadores que vieram a compor a matriz. Por exemplo, enquanto para Mudança Gradual ambos os indicadores são realmente adequados, para Diversidade os indicadores parecem ter sido escolhidos pelo impacto dos fatores por eles medidos na biodiversidade – e, apesar de representarem fatores de toxicidade no ambiente, tratam de efeitos na esfera Biodiversidade. Em última análise, é preferível retirar estes indicadores da dimensão Diversidade de Toxicidade e deixá-la vazia.

O indicador "Uso de pesticidas em termos de toneladas de ingredientes ativos" é também questionável por não apresentar uma dimensão relativa. Fatalmente produções em maior escala apresentarão um valor maior. Uma adequação possível é alterá-lo para "toneladas por unidade de área" ou "toneladas por unidade de massa produzida".

g) Energia

Finalmente, Energia foi a única área completa com indicadores para todos os princípios ecológicos utilizados. Entretanto, os dois indicadores presentes no princípio Localidade fazem parte ao mesmo tempo de alguma outra dimensão. "Produção e uso de energia renovável pela agricultura" foi considerado representativo tanto de Localidade quanto de *Roundput*; e "Volume de eletricidade autogerada", foi atribuído também a Diversidade

(além de Localidade), por tratar da diversificação das fontes de energia. Para o último princípio, Mudança Gradual, o indicador é análogo ao presente na área Materiais: “Quantidade de energia usada por unidade do produto”.

6. Discussões

Mais do que a mera apresentação, torna-se relevante discutir os resultados alcançados. Primeiramente, aparece como problemática a quantidade de lacunas na matriz de indicadores gerada (desconsiderando eventuais propostas contidas na seção anterior). Esperava-se inicialmente obter 28 indicadores (sete áreas com quatro princípios ecológicos cada). O resultado, porém, foram onze lacunas sem representação. Cerca de 40% da matriz de avaliação então ficou desfalcada.

O motivo desses desfalques deve-se muitas vezes a falta de indicadores na literatura utilizada que poderiam suprir os critérios definidos. Por exemplo, a diversidade de solos, água e ar pode ser tanto difícil de definir quanto, ao menos à primeira vista, uma informação irrelevante para políticas. O mesmo vale para o *roundput* de biodiversidade e toxicidade, localidade dos solos, ar e toxicidade.

Por outro lado, a lacuna na localidade de materiais é curiosa. Espera-se aqui um indicador preocupado com a origem dos materiais, i.e. a distância entre seu local de produção e de consumo. Esta medida é não só ecologicamente relevante, como economicamente. Além de reduzir gastos (materiais) com transporte, note-se que o consumo local estimula a economia no entorno do produtor e, portanto, potenciais consumidores diretos – em especial no contexto de pequenos produtores rurais. Este contexto se opõe ao quadro dos grandes exportadores que podem dar preferência a consumir de complexas cadeias não locais por competitividade de preços em escala. É provável que esta medida seja, ao mesmo tempo, ignorada por ser mais relevantemente traduzida por conceitos econômicos e um pressuposto no contexto – o pequeno produtor não vai atrás desta escala, mas consome o que lhe é oferecido com fácil acesso e proximidade.

Quanto aos pontos fortes da matriz, pode-se dizer que ela é, de fato, representativa quanto desempenho ecológico dos pequenos produtores, sendo relativamente completa. O princípio ecológico de Mudança Gradual teve indicador para todas as áreas, mensurando, frequentemente, o módulo do impacto e, portanto, como avaliador do impacto ambiental real é provavelmente a melhor dimensão.

Ao mesmo tempo, estes indicadores apontam prováveis caminhos de melhoria de desempenho econômico. Em especial, nos casos em que o indicador representa a

produtividade do uso da água, materiais e energia, mas também no indicador de erosão bruta – pois levanta aborda a manutenção da qualidade do solo, principal capital do produtor rural.

Além disso, as denominações dos indicadores aparecem no sentido de estimular melhorias. “Volume de eletricidade autogerada” ou “Recirculação da água”, por exemplo, tem este viés.

Os princípios de Diversidade e Localidade se mostraram menos passíveis de escolha de indicador representativo na literatura, como já discutido caso a caso anteriormente. É possível que a definição das áreas abordadas tenha sido a principal impactante nestas lacunas. Ao invés da definição independente, como realizada, uma alternativa poderia ser traçar as áreas de interesse de modo que o papel dos quatro princípios ecológicos ficasse claro para cada uma, antes mesmo da busca por indicadores satisfatórios.

Por outro lado, apesar de muitas lacunas, ambos são representativos quanto às associações clássicas feitas com eles. Diversidade é bem representado na área Biodiversidade e Localidade está coberto na esfera de Energia, relativamente capaz de traduzir o aproveitamento local de todos os recursos – pois o uso de outros pressuporia gasto energético no transporte.

O princípio de *Roundput* também ficou forte em sua associação clássica com reutilização e reciclagem de materiais, mas também no uso da água, em especial, e no estímulo ao uso de energia (renovável) produzida localmente.

Um grande problema nestes resultados é a validação os critérios utilizados de modo mais prático – utilizando-se, por exemplo, de entrevistas com pequenos produtores para avaliar se realmente a medida poderia ser tomada. Em alguns casos assumiu-se a mensurabilidade de um indicador por haver meios para sua estimativa, mas pode ser caro, em termos de disponibilidade do produtor, realizar as estimativas para estes indicadores.

Ao mesmo tempo, a proposta poderia ser ainda aprimorada se fosse construída de forma participativa, envolvendo especialistas na área de agronomia e produção rural, bem como pequenos produtores. Estas pessoas poderiam apontar métodos de estimar os resultados dos indicadores provindos de conhecimentos tácitos não facilmente detectáveis na literatura, mas, espera-se, relativamente simples, tornando outros indicadores utilizáveis ao final. O aprofundamento da pesquisa nesta direção, porém, mostrou-se inviável no contexto do atual trabalho.

Algo notável é o grande corte de indicadores da base retirada da literatura. Inclusive entre os indicadores da OECD, muitos foram retirados por não atenderem a algum dos quatro critérios de qualidade em geral. Dentre os indicadores da OECD, havia 73 originalmente, sem considerar os retirados de outras fontes, e mesmo assim a matriz de indicadores deste trabalho que deveria conter 28 indicadores teve onze lacunas.

À primeira vista, isto faz parecer que os indicadores utilizados pela própria OECD em seus relatórios seriam passíveis de melhorias. Porém, é importante lembrar que se trata de diferentes contextos. Enquanto a OECD está preocupada com toda a produção da agricultura de nações inteiras, este trabalho foca nos pequenos produtores rurais e esta limitação aplicada aos critérios faz com que muitos dos indicadores, em geral bons, deixem de atendê-los. É de se esperar que, por outro lado, outros indicadores específicos possam ser desenvolvidos se aplicando apenas a este contexto.

Este grande corte no número de indicadores também sugere que não há grande preocupação na literatura em geral com o desempenho ambiental de pequenos produtores, embora por seu número e relevância na produção de alimentos eles certamente tenham um impacto total não desprezível.

Tomando os princípios ecológicos como as dimensões guias da avaliação da Ecologia Industrial em si, pode-se dizer que ela seria eficaz em mensurar resultados de produção de ordem econômica (indicativos disto surgiram mesmo quando a busca principal era por avaliar o desempenho ambiental). Os principais impactos ambientais esperados, por sua vez, foram ilustrados na matriz de indicadores com sucesso, tomando-se as considerações anteriores.

Embora não faça parte do escopo deste trabalho, um ponto a ser observado é que, entre os indicadores gerados pelo método desenvolvido aqui a partir dos princípios da Ecologia Industrial, tem-se um desfalque quanto à preocupação com impactos sociais. De fato, nenhum dos indicadores selecionados preocupa-se com a força de trabalho envolvida, mesmo em áreas sintomáticas como Toxicidade (riscos do uso de agrotóxicos, por exemplo). Pode-se pensar na avaliação da indústria da cana-de-açúcar, por exemplo, que cada vez mais aproveita seus subprodutos dentro do processo produtivo – com excelente *roundput*, nos termos da EI –, enquanto a situação dos trabalhadores rurais é amplamente criticada.

Esta total inexpressividade da preocupação direta com saúde humana e relações sociais parece ser característica da Ecologia Industrial, simplesmente não fazendo parte de seu escopo – o tema não surge nas suas várias interpretações na literatura.

Havendo interesse na avaliação de desempenho social, princípios que norteiem esta busca podem ser facilmente inseridos no método, ao lado dos princípios ecológicos. A Agroecologia[5] poderia oferecer esta alternativa, de certo modo englobando inclusive os princípios provenientes da Ecologia Industrial. Porém, é importante notar que a avaliação de desempenho social seria, para a Ecologia Industrial, um conceito estrangeiro, além de seus limites.

A Agroecologia admite tanto a dimensão ecológica, quanto as dimensões econômica e social (FRANCIS, et al., 2003), englobando assim a produção rural de modo mais amplo. Ao mesmo tempo, esta disciplina é voltada para a produção agrícola – ou, nos termos da definição, "sistema alimentar" – sendo mais especializado neste tipo particular de sistema produtivo e, também por isso, potencialmente mais adequado ao contexto apresentado neste trabalho.

Francis et al. (2003) ainda levantam a necessidade de integração do comportamento humano com o sistema, comentando a separação entre as pessoas, suas fontes de comida e o ambiente produtivo no contexto do nosso sistema atual. A questão do crescimento populacional mundial associado ao aumento de demanda por alimentos é também fator central entre as justificativas para o desenvolvimento da Agroecologia. É notável também como as ferramentas e meios apontados pelo autor são semelhantes aos da Ecologia Industrial, referenciados anteriormente:

> *"(...) nós somos capazes de projetar sistemas que fecham ciclos de nutrientes, dependem mais de energia renovável, reduzem ineficiências na produção e promovem saúde ambiental. Nós podemos alcançar nossos objetivos usando alguns princípios de projeto de sistemas e propriedades que se parecem com as de ecossistemas naturais."* (FRANCIS, et al., 2003 p. 101)[6]

---

[5] Citada anteriormente na seção 3 – "Ecologia Industrial no meio rural".

[6] No original: *"(...) we are capable of designing systems that close nutrient cycles, depend more on renewable energy, reduce inefficiencies in production, and promote environmental health. We can meet our goals by using some system design principles and properties that resemble those of natural ecosystems."*

A ligação com a Agroecologia é mais clara na agricultura tradicional. Muitos métodos e sistemas complexos, adaptados a condições locais e desenvolvidos ou herdados por fazendeiros tradicionais têm sido responsáveis por possibilitar a estes produtores alcançar a produção no nível que garante sua subsistência, independente de mecanização, fertilizantes químicos ou pesticidas (TOLEDO, et al., 1985, apud ALTIERI, et al., 2012). A agricultura praticada por estes produtores é vista como em consonância com os princípios da Agroecologia. Uma das características comuns é a estratégia de manter cultivares diversos, que, concomitantemente, "estabilizam a produção no longo prazo, diversificam a dieta e maximizam o retorno em condições de baixa tecnologia e recursos limitados" (ALTIERI, et al., 2012).

Por essa característica de estar associada ao conhecimento tradicional, a Agroecologia também pode ser vista como uma alternativa que estimula a inclusão de aspectos qualitativos na avaliação de desempenho. Neste trabalho, todos os indicadores presentes estão voltados para o aspecto quantitativo. Entretanto, tratando-se do contexto dos pequenos produtores rurais, indicadores qualitativos podem ser mais adequados em determinados casos, dado que os meios para tomada das medidas necessárias aos indicadores podem não estar disponíveis e que a avaliação qualitativa dos resultados dos processos pode ser suficiente para julgar seu desempenho.

Os principais desfalques do presente trabalho, certamente, são quanto à aplicação de fato do método de avaliação desenvolvido e sua validação com o público alvo e profissionais especializados. É extremamente necessário que este método seja primeiramente avaliado na prática antes de lhe ser conferida validade. Gerando-se os resultados dos indicadores selecionados para alguns arranjos produtivos rurais, pode-se ter a real visão de sua adequação. Espera-se confirmar ou refutar a mensurabilidade, a interpretabilidade, a solidez para análises e a utilidade para tomada de decisões de cada indicador selecionado. Também objetiva-se avaliar se os princípios efetivamente se traduziriam por seus indicadores e se os próprios princípios em si são guias sólidos para a escolha dos indicadores.

7. Considerações Finais

As características dos pequenos produtores envolvidos nos Arranjos Produtivos Locais Rurais apontam para uma necessidade de ganho em Gestão Ambiental destas organizações, tanto por seu impacto ambiental, quanto por seu valor para a segurança alimentar mundial. A Ecologia Industrial, como área de vanguarda no estudo da eficiência em recursos de sistemas produtivos inter-relacionados, abre a oportunidade para a avaliação de desempenho por uma visão sistêmica dos processos.

Ao longo deste trabalho foi desenvolvido um método de avaliação do desempenho ambiental de arranjos produtivos de pequenos produtores rurais baseado fortemente nos princípios da Ecologia Industrial. Neste nicho é um trabalho pioneiro, porquanto a Ecologia Industrial tem se preocupado quase que em sua totalidade apenas com plantas e arranjos produtivos industriais. Também aponta passos na definição de um método de solução do problema da avaliação do desempenho ambiental guiado pela Ecologia Industrial.

É importante reiterar que o modelo de avaliação desenvolvido deve ser validado com o apoio de produtores e especialistas e com a aplicação em casos práticos. Esta avaliação do método é vital para respaldá-lo e aperfeiçoá-lo, tornando-se ferramenta útil à sociedade. A implementação desta etapa é uma possibilidade para trabalhos futuros que venham a continuar e complementar o presente. Abrir esta possibilidade é suficiente para justificar finalmente a realização do presente trabalho.

Trabalhos futuros podem oferecer também a oportunidade para revisitar os métodos de construção da matriz de indicadores, em especial, reduzindo o grau de subjetividade na avaliação dos critérios. Outra contribuição futura esperada é o preenchimento das lacunas, quando fizer sentido, com os indicadores adequados. As respostas a ambos estes desafios complementariam este trabalho no sentido de torná-lo mais criterioso e com maior poder avaliativo dos resultados de desempenho ambiental.

Em última nota, este trabalho levantou a questão dos pequenos produtores rurais, de agricultura baseada em conhecimentos tradicionais e mão de obra familiar, e sua relevante contribuição para a segurança alimentar de toda população humana do planeta, mesmo hoje, décadas após o início da Revolução Verde. A marginalização destes agentes sociais em nossa cultura se choca com a sua indispensabilidade e seu potencial para ser o elemento central da solução da crise alimentar mundial. Ao contrário do que se espera a princípio, as grandes

propriedades monocultoras apresentam uma grande limitação quanto à sua contribuição para a nutrição humana de fato. Neste contexto, uma reforma agrária que vise à expansão das áreas de cultivo por pequenos produtores significa não apenas a distribuição mais justa das terras, mas também a expansão da capacidade de produção de alimentos para nossa sociedade.

8. Bibliografia

ALLENBY, Braden R. 1992. Achieving Sustainable Development Through Industrial Ecology. *International Environmental Affairs.* 1992, pp. 56-68.

ALTIERI, M. A. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Front Ecol Environ.* 2, 2004.

ALTIERI, M. A., FUNES-MONZOTE, F. R. and PETERSEN, P. 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 2012.

AUSUBEL, Jesse H. 1992. Industrial Ecology: Reflections on a Colloquium. *Proceedings of the National Academy of Science.* 89, february, 1992.

AYRES, R. U. 1994. Industrial Metabolism: Theory and Policy. [A. do livro] R. U. AYRES e U. K. SIMONIS. *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development.* Tokyo : United Nations University Press, 1994.

BEARDMORE, J.A. e PORTER, J.S. 2003. Genetically modified organisms and aquaculture. *FAO Fisheries Circular.* Nº 989, 2003.

BOBENRIETH, Eugenio S. e WRIGHT, Brian D. 2009. *The food price crisis of 2007/2008: Evidence and implications.* Santiago, Chile : FAO, 2009.

BOSSEL, Hartmut. 1999. *Indicators for sustainable development: theory, method, applications – a report to the Balaton Group.* Winnipeg : International Institute for Sustainable Development, 1999.

CAMPOS, Lucila Maria de Souza e MELO, Daiane Aparecida de. 2008. Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. *Produção.* 2008, Vol. 18, n. 3, set/dez.

CARRILLO GONZÁLEZ, Graciela. 2009. Una revisión de los principios de la ecología industrial. *Nueva época.* Janeiro de 2009, pp. 247-265.

CAVALCANTI, Clóvis. 2004. Uma tentativa de caracterização da Economia Ecológica. *Ambiente & Sociedade.* jan-jun, 2004, Vol. VII nº. 1.

DESROCHERS, Pierre. 2000. Market Processes and the Closing of "Industrial Loops": A Historical Reappraisal. *Journal of Industrial Ecology.* 2000, Vol. 4.

ECF, ECONOMIC COMMISSION FOR AFRICA. 2009. *Land Tenure Systems and their Impacts on Food Security and Sustainable Development in Africa.* Addis Ababa, Ethiopia : ECA Printshop, 2009.

ERKMAN, S. 1997. Industrial ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production.* 1997, Vol. Vol. 5, No. 1-2.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS -. 2001 e 2002. Dados Agrícolas. [Online] 2001 e 2002.

FRANCIS, C., et al. 2003. Agroecology: The ecology of food systems. *J. Sustainable Agriculture.* 2003, Vol. 22, 3.

FROSCH, R. A. e GALLOPOULOS, N. E. 1989. Strategies for Manufacturing. *Scientific American.* Setembro de 1989, pp. 144-152.

GARNER, A. and KEOLEIAN, G. A. 1995. *Industrial Ecology: An Introduction.* s.l. : National Pollution Prevention Center for Higher Education, 1995.

ISO, International Organization for Standardization. 1999. *ISO 14.031.* Geneva : s.n., 1999.

JELINSKI, L. W., et al. 1992. Industrial ecology: Concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America.* Fevereiro 1992, pp. 793-797.

JOHANSEN, C., et al. 2012. Conservation agriculture for small holder rainfed farming: Opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. *Field Crops Research.* 132, 2012.

KORHONEN, Jouni. 2001. Four ecosystem principles for an industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production.* 2001, pp. 253-259.

LE BOURLEGAT, C. A., et al. 2004. Arranjo Produtivo Local de Mandioca do Vale do Ivinhema. *Rede Sist - Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais.* [Online] Setembro de 2004. [Citado em: 12 de Outubro de 2012.] http://www.redesist.ie.ufrj.br/nt_count.php?projeto=nt41&cod=9.

OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. 2008a. Environmental performance of agriculture in OECD countries since 1990: Full List of Agri-Environmental Indicators. *OECD.* [Online] 2008a. [Cited: outubro 08, 2012.] http://www.oecd.org/agriculture/sustainableagriculture/40673091.pdf.

—. 2008b. Environmental performance of agriculture in OECD countries since 1990: Other Agri-Environmental Indicators. *OECD.* [Online] 2008b. [Cited: outubro 08, 2012.] http://www.oecd.org/agriculture/sustainableagriculture/40673129.pdf.

PIDWIRNY, M. 2006. CHAPTER 9: Introduction to the Biosphere - (s). The Nitrogen Cycle. [A. do livro] M. Pidwirny. *Fundamentals of Physical Geography.* s.l. : http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9s.html - 10/jun/2012, 2006.

SEBRAE. 2012. Arranjos Produtivos Locais - APL. *SEBRAE SP*. [Online] SEBRAE SP, 2012. [Citado em: 13 de Julho de 2012.] http://antigo.sp.sebrae.com.br/Principal/Sebrae%20em%20a%C3%A7%C3%A3o/desenvolvimento_territorial/arranjo_produtivo_local.aspx.

SELLITTO, M. A., BORCHARDT, M. e PEREIRA, G. M. 2010. Modelagem para avaliação de desempenho ambiental em operações de manufatura. *Gest. Prod.* 2010, Vol. v. 17, n. 1, pp. 95-109.

SIDIROPOULOS, Michalis, MOUZAKITIS, Yannis e ADAMIDES, Emmanuel D. 2010. Performance Measurement in the context of Industrial Ecology: a critical review of existing approaches. 2010.

TIBBS, Hardin. 1993. *Industrial Ecology: An Envinronmental Agenda for Industry.* Emeryville, CA : Global Business Network, 1993.

TILLEY, David Rogers. 2003. Industrial Ecology and Ecological Engineering - Opportunities for Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology.* Abril 2003, pp. 13-32.

TOLEDO, VM, CARABIAS, J, MAPES, C e TOLEDO, C. 1985. *Ecología y Autosuficiencia Alimentaria.* Cidade do México : Siglo Veintiuno Editores, 1985.

VELOSO FILHO, F. A., et al. 2004. Estudo dos arranjos produtivos locais da apicultura no Estado do Piauí (Picos e Teresina). *RedeSist - Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais.* [Online] Setembro de 2004. [Citado em: 12 de Outubro de 2012.] http://www.redesist.ie.ufrj.br/nt_count.php?projeto=nt41&cod=11.

WEZEL, A., et al. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* Dezembro, 2009, Vol. 29, 4.

9. Apêndice 1 - Indicadores OECD

Indicadores OECD considerados neste trabalho (OECD, 2008a e 2008b).

Tema	Título	Definição
Água	Uso da água	Uso da água pela agricultura
		Uso de águas subterrâneas pela agricultura
		Área de terras irrigadas do total de terras de agricultura
		Balanço de águas subterrâneas (retirada e devolução de água pela agricultura)
		Rios e lagos abaixo do nível mínimo da estação devido a retiradas de água para agricultura
		Impacto do uso de água pela agricultura na saúde do ecossistema (ex: espécies selvagens e pântanos)
		Valor médio dos produtos agriculturais irrigados por unidade de água consumida
		Encargos com suprimentos de água para fazendeiros em relação a outros usos (industrial e urbano)
	Qualidade da água	Contaminação de nitrato e fosfato derivada da agricultura em águas superficiais e costeiras
		Locais de monitoramento que excedem limites de nitrato e fósforo para água potável em águas superficiais e subterrâneas
		Locais de monitoramento que excedem limites de pesticidas para água potável em águas superficiais e subterrâneas
		Locais de monitoramento em que um ou mais pesticidas estão presentes em águas superficiais e subterrâneas
		Concentração de sal em águas superficiais e subterrâneas
		Concentração de patógenos (indicador fecal ou bactérias patogênicas) em águas superficiais e subterrâneas
		Contaminação de patógenos devido a agricultura águas superficiais e subterrâneas

Tema	Título	Definição
Solo	Erosão do Solo	Área de terras de agricultura afetada por erosão da água
		Área de terras de agricultura afetada por erosão do vento
		Área de terras de agricultura afetada por erosão da lavoura
		Contribuição da agricultura para fluxo de sedimentos para paisagem e corpos aquáticos fora da fazenda
		Erosão bruta na fazenda (vento, água e lavoura)
		Custos econômicos da erosão
	Carbono orgânico no solo	Total de carbono orgânico no solo das terras de agricultura

Tema	Título	Definição
Ar	Emissões de amônia, acidificação e eutroficação	Emissões de amônia (NH3) da agricultura
	Uso de brometo de metil e destruição do ozônio	Uso de brometo de metil pela agricultura, expressado em potencial de destruição de ozônio
	Emissões de gáses do efeito estufa e mudanças climáticas	Total bruto de emissões de gases do efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso)
		Balanço de emissão de emissão de gases do efeito estufa (emissões menos absorções)

Tema	Título	Definição
Paisagem e funções de ecossistemas terrestres	Paisagem	Estrutura da paisagem: uso da terra, cobertura, padrões e características culturais
		Funções da paisagem: recreação, acessibilidade, identidade cultural, tranquilidade, ecossistemas
		Valores da paisagem: valor monetário da paisagem agrária
	Funções de ecossistemas terrestres	Capacidade de retenção de água pelo solo
		Capacidade de retenção de água por instalações de irrigação ou drenagem
		Índice de mitigação de desmoronamento, proporção de área gerida dentro da área sob risco de desmoronamento

Tema	Título	Definição
Inputs da agricultura	Nutrientes	Balanço bruto entre inputs de nitrogênio (fertilizantes, esterco) e outputs (cultivares, pasto)
		Balanço bruto entre inputs de fósforo (fertilizantes, esterco) e outputs (cultivares, pasto)
	Pesticidas	Uso de pesticidades em termos de toneladas de ingredientes ativos
		Risco de dano a ambientes terrestres e aquáticos e à saúde humana devido a toxicidade e exposição a pesticidas
	Energia	Consumo de energia direta pelas fazendas
		Energia total contida nos inputs chave da agricultura
		Eficiência energética da produção agrícola (valor monetário da produção anual por unidade de energia consumida diretamente)
		Produção e uso de energia renovável pela agricultura

Tema	Título	Definição
Biodiversidade	Diversidade genética	Variedades de plantas registradas e certificadas para o mercado para as categorias principais de cultivo
		Produção total ofertada dos cinco cultivos dominantes
		Área de terra com cultivo de transgênicos
		Variedades de animais registrados e certificados para o mercado para as categorias principais de criação
		Número de animais nas três criações dominantes
		Animais em criadouro nas categorias de risco ou sob programas de conservação
		Status dos recursos genéticos de plantas e animais
		Número e participação de cultivares nativos sob risco de extinção
	Diversidade de espécies selvagens	Espécies selvagens que usam terras de agricultura como habitat primário
		Populações de aves de criação dependentes de terras de agricultura para aninhamento e criação
		Número de espécies selvagens ecologicamente indicativas utilizando terras de agricultura
	Diversidade de ecossistemas	Conversão de terras de agricultura para e de outros usos da terra
		Área de habitats semi-naturais agrários
		Importantes áreas de habitat de pássaros onde a agricultura intensiva põe em risco a função ecológica da área
		Qualidade e quantidade de características do habitat e sua composição espacial através das terras de agricultura
	Ligações entre habitats	Matrix Habitat-Espécies, ligando mudanças na área e gestão dos habitats com espécies selvagens
		Índice de Capital Natural, produto da quantidae de tipos de habitats e sua qualidade em termo de abundância de espécies, riqueza, estrutura e gestão

Tema	Título	Definição
Gestão de fazendas	Planos de gestão ambiental de fazendas	Número e participação de fazendas sob planejamento da gestão ambiental
	Gestão de nutrientes	Número de fazendas sob planejamento da gestão de nutrientes
		Fazendas usando testes de nutrientes no solo
		Fazendas usando balanços de nutrientes
	Gestão de pestes	Cultivares sob gestão integrada de pestes
		Número e percentual de fazendas com estocagem, manipulação e limpeza apropriadas e instalações de disposição para tratamento de resíduos de pesticidas
	Gestão do solo	Área arável sob práticas de conservação do solo
		Área de agricultura sob cobertura vegetal permanente
		Número e percentual de fazendas onde as propriedades biofísicas do solo são monitoradas como partes do programa de teste do solo ou usadas como ferramenta de suporte à decisão.
	Gestão da água	Área irrigada usando diferentes tecnologias de irrigação
		Área e percentual de terras drenadas
	Gestão da biodiversidade	Área de agricultura sob planejamento de gestão da biodiversidade
	Gestão orgânica	Área de agricultura certificada por gestão de fazenda orgânica
	Gestão da paisagem	Número e percentual de fazendas comprometidas com manutenção e aprimoramento da paisagem natural e cultural
	Capacidade de gestão da fazenda	Número e percentual de fazendeiros participando em programas de educação agro-ambiental
		Gastos com pesquisa e extensão de gestão agro-ambiental como percentual do orçamento total da agricultura

10. Apêndice 2 - Listas de indicadores não selecionados

Lista 1 - Indicadores que não atendem aos quatro critérios de qualidade da OECD, no contexto de pequenos produtores rurais:

Uso da água pela agricultura (volume)
Uso de águas subterrâneas pela agricultura
Área de terras irrigadas do total de terras de agricultura
Balanço de águas subterrâneas (retirada e devolução de água pela agricultura)
Impacto do uso de água pela agricultura na saúde do ecossistema (ex: espécies selvagens e pântanos)
Valor médio dos produtos agriculturais irrigados por unidade de água consumida
Encargos com suprimentos de água para fazendeiros em relação a outros usos (industrial e urbano)
Contaminação de nitrato e fosfato derivada da agricultura em águas superficiais e costeiras
Locais de monitoramento que excedem limites de nitrato e fósforo para água potável em águas superficiais e subterrâneas
Locais de monitoramento que excedem limites de pesticidas para água potável em águas superficiais e subterrâneas
Locais de monitoramento em que um ou mais pesticidas estão presentes em águas superficiais e subterrâneas
Concentração de sal em águas superficiais e subterrâneas
Concentração de patógenos (indicador fecal ou bactérias patogênicas) em águas superficiais e subterrâneas
Contaminação de patógenos devido a agricultura águas superficiais e subterrâneas
Área de terras de agricultura afetada por erosão do vento
Contribuição da agricultura para fluxo de sedimentos para paisagem e corpos aquáticos fora da fazenda
Custos econômicos da erosão
Total de carbono orgânico no solo das terras de agricultura
Emissões de amônia (NH3) da agricultura
Uso de brometo de metil pela agricultura, expressado em potencial de destruição de ozônio
Total bruto de emissões de gases do efeito estufa (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso)
Balanço de emissão de emissão de gases do efeito estufa (emissões menos absorções)
Estrutura da paisagem: uso da terra, cobertura, padrões e características culturais
Funções da paisagem: recreação, acessibilidade, identidade cultural, tranquilidade, ecossistemas
Valores da paisagem: valor monetário da paisagem agrária
Índice de mitigação de desmoronamento, proporção de área gerida dentro da área sob risco de desmoronamento
Risco de dano a ambientes terrestres e aquáticos e à saúde humana devido a toxicidade e exposição a pesticidas

Energia total contida nos inputs chave da agricultura
Eficiência energética da produção agrícola (valor monetário da produção anual por unidade de energia consumida diretamente)
Status dos recursos genéticos de plantas e animais
Número de espécies selvagens ecologicamente indicativas utilizando terras de agricultura
Importantes áreas de habitat de pássaros onde a agricultura intensiva põe em risco a função ecológica da área
Qualidade e quantidade de características do habitat e sua composição espacial através das terras de agricultura
Matrix Habitat-Espécies, ligando mudanças na área e gestão dos habitats com espécies selvagens
Índice de Capital Natural, produto da quantidade de tipos de habitats e sua qualidade em termo de abundância de espécies, riqueza, estrutura e gestão
Quantidade de materiais processados, reciclados ou reutilizados
Quantidade de outros materiais auxiliares reciclados ou reutilizados
Quantidade de cada tipo de energia usada
Quantidade de energia gerada com subprodutos ou correntes de processo
Quantidade de unidades de energia economizadas devido a programas de conservação de energia
Quantidade de resíduos perigosos eliminados devido a substituição de material
Quantidade de emissões específicas por ano
Quantidade de emissões específicas por unidade de produto
Quantidade de energia desperdiçada, liberada para a atmosfera
Quantidade de emissões atmosféricas com potencial depleção da camada ozônio
Quantidade de emissões atmosféricas com potencial de mudança climática global
Quantidade de material específico descarregado na água por unidade de produto
Quantidade de material destinado para aterro sanitário por unidade de produto
Quantidade de energia desperdiçada liberada para a água
Quantidade de efluentes por serviço ou cliente
Quantidade de radiação liberada
Quantidade de calor, vibração ou luz emitida
Quantidade de materiais recicláveis e reutilizáveis usados pelos prestadores de serviços contratados
Massa mensal de resíduos da classe I, II e III gerados
Geração de gases
Padrões físico-químicos dos efluentes
Consumo de recursos não-renováveis
Geração de efluentes líquidos por unidade produzida
Volume total de efluentes líquidos
Volume total de efluentes líquidos orgânicos
Quantidade de CO2 equivalentes
Sólidos em suspensão na atmosfera
Nº de emissões atmosféricas
Nº de emissões de poluentes
Percentual de toxicidade das matérias-primas
Percentual de consumo de óleo combustível, hidrogênio e gás natural

Co-disposição de resíduo em aterro
Nº de horas por ano que uma peça específica do equipamento está em operação
Nº de situações de emergência (por exemplo: explosões) ou operações não rotineiras (por exemplo: paradas operacionais) por ano
Área total de solo usada para fins de produção
Área de solo usada para produzir uma unidade de energia
Nº de veículos da frota com tecnologia para redução da poluição
Nº de horas de manutenção preventiva dos equipamentos/ano
Nº de carregamentos expedidos por meio de transporte por dia
Consumo de água mensal por pessoa
Percentual de emissão de CO2 por unidade de produto produzido
Riscos associados aos processos produtivos e de consumo
Produtos finais gerados na empresa que apresentam algum grau de toxicidade e risco
Produtos de maior risco

Lista 2 – Indicadores que não representam qualquer dos quatro princípios ecológicos:

Rios e lagos abaixo do nível mínimo da estação devido a retiradas de água para agricultura
Capacidade de retenção de água pelo solo
Balanço bruto entre inputs de nitrogênio (fertilizantes, esterco) e outputs (cultivares, pasto)
Balanço bruto entre inputs de fósforo (fertilizantes, esterco) e outputs (cultivares, pasto)
Produção total ofertada dos cinco cultivos dominantes
Área de terra com cultivo de transgênicos
Número de animais nas três criações dominantes
Animais em criadouro nas categorias de risco ou sob programas de conservação
Espécies selvagens que usam terras de agricultura como habitat primário
Populações de aves de criação dependentes de terras de agricultura para aninhamento e criação
Área de habitats semi-naturais agrários
Cultivares sob gestão integrada de pestes
Área irrigada usando diferentes tecnologias de irrigação
Quantidade de resíduos armazenados no local
Ruído medido em determinado local

Lista 3 – Indicadores em duplicidade com outros indicadores, retirados pelo critério da Cesta Básica:

Área de terras de agricultura afetada por erosão da água
Área de terras de agricultura afetada por erosão da aração
Quantidade de água reutilizada
Quantidade de materiais perigosos usados no processo de produção
Quantidade de resíduos por ano ou por unidade de produto
Quantidade de resíduos para disposição
Quantidade de resíduos convertidos em material reutilizável por ano
Reciclagem de resíduos
Consumo de matérias-primas
Geração de resíduos sólidos
Geração de resíduos sólidos por unidade produzida
Consumo de matéria-prima por unidade produzida
Volume de eletricidade adquirida
Volume dos resíduos retornados para o processamento ou recomercialização
Volume total de resíduos por tipo de material e destino
Volume de resíduos utilizados por outras indústrias
Volume total de resíduos
Consumo total de combustíveis
Consumo total de energia
Consumo médio de combustível da frota de veículos
Consumo de energia elétrica por pessoa
Percentual de resíduos gerados