



## IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



### **Avaliação de Ciclo de Vida e Síntese Emergética: Publicações Científicas em Comum nos Últimos Treze Anos**

F. R. T. DIAS<sup>1</sup>, M. I. S. F. MATSUURA<sup>2</sup>, G. S. RODRIGUES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Pantanal ([www.embrapa.br/pantanal](http://www.embrapa.br/pantanal))

Rua 21 de Setembro, 1.880, Nossa Senhora de Fátima, Caixa postal 109, CEP: 79320-900, Corumbá, MS.

<sup>2</sup>Embrapa Meio Ambiente ([www.embrapa.br/meio-ambiente](http://www.embrapa.br/meio-ambiente))

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho, Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP.

*Sistemas produtivos em geral e agropecuários e florestais em particular dependem de fluxos de materiais e energia que definem a sua sustentabilidade. A metodologia de síntese emergética contabiliza estes fluxos em uma unidade comum que representa a energia acumulada para produzi-los, em joules de energia solar. A convergência entre síntese emergética e Avaliação de Ciclo de Vida na análise de atividades agropecuárias motiva este trabalho, que avalia publicações científicas de 2001 a 2013 em inglês e em português em que termos relacionados a ACV, energia e agricultura são mencionados. Os resultados mostram o crescimento constante de estudos de ACV e energia em geral, mas especialmente do estudo conjunto de ACV e energia e do uso de ACV em agricultura. Dentre as publicações que empregam termos relacionados a ACV e energia simultaneamente, foram selecionados 30 artigos como os mais relevantes para possível contribuição da síntese emergética à abordagem padrão de ACV em projeto da Embrapa, para desenvolvimento e implantação da metodologia de ACV para uso em seus projetos.*

#### **1. Introdução**

Os autores, outros pesquisadores da Embrapa e de outras instituições, estão neste momento engajados em projeto para definição e implantação de metodologia ACV para uso em projetos de pesquisa agropecuária na Embrapa e, possivelmente, em outras organizações. Como parte dos resultados deste projeto, espera-se avaliar a possibilidade de incluir contribuições da síntese emergética à metodologia ACV.

A síntese emergética é uma abordagem de avaliação de dinâmica de sistemas complexos em que o fluxo medido entre subsistemas é a “energia”, ou “energia incorporada” (*embodied energy*), isto é, a energia total que foi necessário capturar e transformar desde uma fonte primária de referência (quase sempre a energia solar) ao longo de todos os subsistemas por onde flui este fluxo. Convencionou-se chamar esta abordagem de “síntese emergética” ao invés de “análise emergética” porque o que se busca é uma visão geral do sistema, ou seja, o seu estudo através de um “macroscópio” (Odum, 1996). Percebe-se rapidamente que a síntese emergética possui em comum com a abordagem ACV a preocupação de analisar fluxos ao longo de toda uma cadeia de transformações na natureza, e uma preocupação com o impacto que estes fluxos produzem nos sistemas. Percebe-se também algumas diferenças entre as abordagens que as tornam, de certo modo, complementares: dinâmica (energia) X estado estável (ACV), uma só variável de fluxo (energia) X muitas variáveis de fluxo (ACV), dentre outras dimensões. Esta possível complementariedade tem sido investigada por alguns autores mais recentes. Este trabalho tem duplo objetivo:



## IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



- Avaliar quantitativamente a tendência de publicação científica sobre ACV e Emergia;
- Identificar nas publicações mais recentes sobre ambos os temas subsídios para o uso conjunto das duas abordagens para a pesquisa agropecuária nacional.

### **2. Levantamento Quantitativo de Publicações Científica em ACV e Emergia**

Esta seção apresenta o método usado e os resultados obtidos em levantamento quantitativo das publicações científicas sobre ACV e Emergia visando ao primeiro objetivo do estudo.

#### **2.1 Método**

A ferramenta de busca escolhida foi o Google Scholar<sup>1</sup>, por conta da facilidade de uso e o alcance de diversas bases de publicações científicas. As buscas consideraram apenas os artigos, ou seja, foram excluídas patentes e citações.

As buscas de publicações foram planejadas a partir da combinação das seguintes dimensões:

- Idiomas: inglês e português.
- Temas de interesse: ACV, Emergia.

O idioma usado na busca foi aquele usado na página web como percebido pelo mecanismo de Google. O idioma da busca precisa ser configurado na opção de “Configurações” ou “Settings” do Google Scholar.

Como este artigo apresenta resultados de buscas feitas em dois idiomas, deste ponto em diante usaremos os termos “ACV” e “Emergia” para nos referir aos resultados de buscas de artigos em português e “LCA” e “Emergy” para nos referir aos resultados de buscas de artigos em inglês.

Definir os critérios de busca para os temas de interesse exigiu muitas iterações. Para filtrar homônimos indesejados (conjugações do verbo “emergir”, p.ex.), usou-se como principal recurso incluir na busca a condição adicional de ocorrência de termos auxiliares que “afunilassem” os resultados (“síntese emergética”, p.ex.). A seleção destes termos adicionais poderia implicar na exclusão de artigos de interesse e, por isso, muitos termos adicionais alternativos foram incluídos em associação com o termo principal.

O refinamento dos critérios de busca incluiu a contagem de falsos positivos (artigos incluídos indevidamente) e falsos negativos (artigos excluídos indevidamente) a cada ajuste dos critérios. A contagem dos falsos positivos foi mais simples, a partir da análise de amostras de até 5 páginas de resultados de busca com até 20 artigos cada página. A contagem dos falsos negativos foi mais trabalhosa, pois dependeu da inversão temporária de cada um dos critérios dos filtros em separado, de modo a trazer os artigos excluídos apenas por aquele critério e procurar dentre eles artigos excluídos indevidamente. O critério de busca foi considerado satisfatório quando os falsos positivos e falsos negativos totais ficaram abaixo de 5% da amostragem.

Um tipo de falso positivo interessante e difícil de filtrar de forma automática foi encontrado na amostragem: republicação de artigos. Considerando o objetivo do estudo de simples investigação de tendências, a baixa incidência deste erro por amostragem (abaixo de 5% da amostragem) e a dificuldade em expurgar este tipo de erro, não houve esforços de eliminar estes erros da contagem dos resultados.

---

<sup>1</sup> scholar.google.com.br



## IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



O Google Scholar apresenta um certo erro de contagem dos resultados na primeira página (cerca de 5%). Para obter o número exato de resultados, basta ir à última página de resultado.

*Tabela 1: Expressões de busca de artigos em português e inglês*

Tema de interesse	Expressão de busca usada no Google Scholar
ACV	+"ACV" +"ciclo de vida"
Emergia	+"emergia" "emergy" OR "emergética" OR "emergético" OR "exergia" OR "odum" OR "síntese de emergia" OR "análise de emergia" OR "teoria da emergia"
Emergia & ACV	+"emergia" +"ACV" +"ciclo de vida"
LCA	"lifecycle assessment" OR "life cycle assessment"
Emergy	+"emergy" "exergy" OR "embodied energy" OR "emergy algebra" OR "emergy accounting" OR "emergy analysis" OR "emergy theory" OR "emergy evaluation" OR "emergy value" OR "emergy synthesis" OR "odum" OR sustainability OR sustainable OR ecological OR ecosystem
Emergy & LCA	+"emergy" "life cycle assessment" OR "lifecycle assessment"
Agriculture & LCA	agriculture OR livestock OR soy OR ethanol OR sugarcane +"life cycle assessment" -"lifecycle assessment"
Agriculture & Emergy	+"emergy" agriculture OR livestock OR soy OR ethanol OR sugarcane

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Para busca de “ACV”, o uso combinado da sigla com a expressão “ciclo de vida” foi eficiente em evitar falsos positivos e negativos, trazendo tanto artigos sobre “Análise de Ciclo de Vida” como “Avaliação de Ciclo de Vida”.

As aspas evitam resultados de grafia próxima (p.ex., “emergy” ⇔ “energy”). Maiúsculas e minúsculas não afetam a busca, mesmo no caso de uso de aspas. O operador “+” torna um termo obrigatório na busca, e o operador “-” exclui resultados com o termo.

O operador “OR” inclui uma lista de termos alternativos, isto é, exige da busca que traga resultados que contenham pelo menos um dos termos da lista. Estes termos foram necessários para eliminar falsos positivos, especialmente nas buscas por “Emergy”.

Quando combinados com “LCA”, os filtros adicionais para "Emergy" deixaram de ser necessários para reter falsos positivos e passaram a descartar uma quantidade maior de artigos relevantes, por isso foram retirados da expressão de busca.

Os falsos positivos se mostraram muito mais altos em publicações antigas, especialmente no caso de “emergy”. Analisando-se os falsos positivos encontrados percebeu-se que a maioria foi introduzida por conta do uso de reconhecimento ótico sobre artigos digitalizados, o que levou à

interpretação de “energy” como “emergy”, sugerindo que o erro inverso pode implicar em muitos falsos negativos. Para afastar esta incidência maior de erros em artigos antigos, o levantamento considerou para análise de tendências apenas aqueles publicados de 2001 a 2013. Buscas adicionais foram feitas acrescentando termos relacionados à agricultura. A necessidade de incluir as variantes “Life Cycle” e “Lifecycle” exigiu a realização de duas buscas para a mesma combinação de temas. Aqui o desafio com falsos positivos e falsos negativos foi maior, dadas as várias maneiras pela qual o tema “agricultura” pode surgir no texto. Por conta disso e da quantidade bem menor de resultados em português, não foram feitas buscas de termos em agricultura em artigos “ACV” (em português).

## 2.2 Resultados

Termos relacionados à agricultura sempre tiveram uma grande participação em artigos sobre “Emergy”, provavelmente por seu viés mais próximo da produção primária, participação sempre maior do que em artigos sobre “LCA”, que começou a ser aplicada em manufatura e processos industriais. Os resultados mostram um crescimento consistente da participação de termos de agricultura em artigos sobre “LCA”, indo de cerca de 25,5% em 2001 para 43,5% em 2013, com dados intermediários de agosto de 2014 apontando para mais de 50% de participação de termos de agricultura em artigos sobre “LCA”.

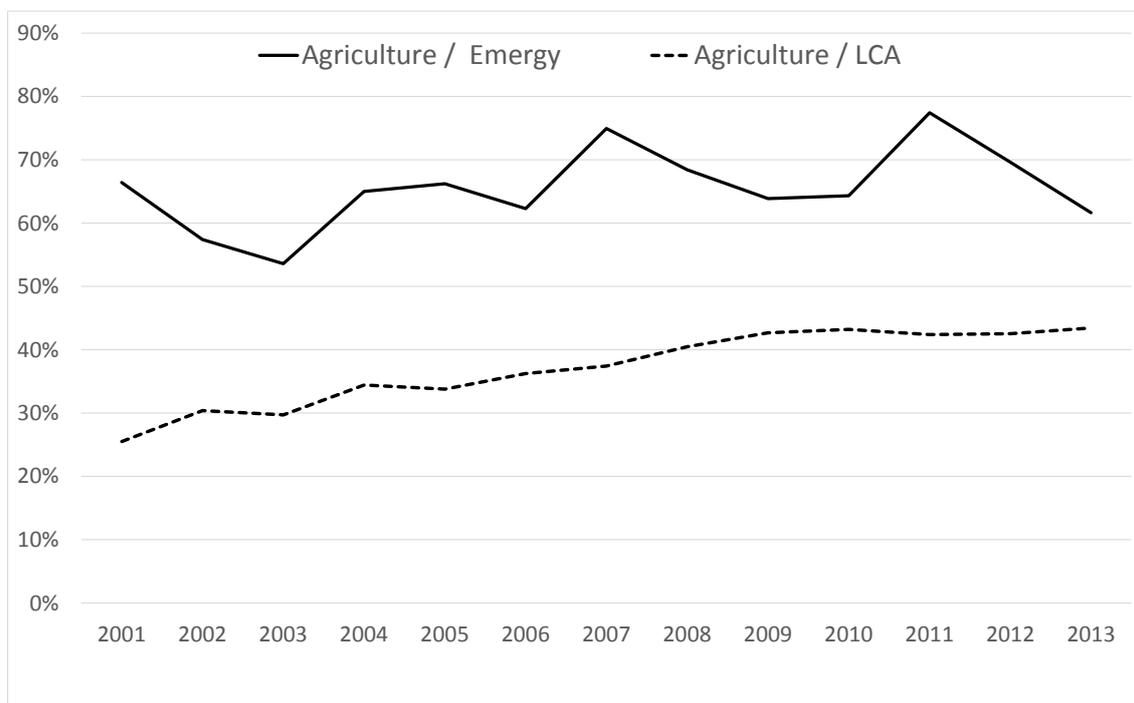
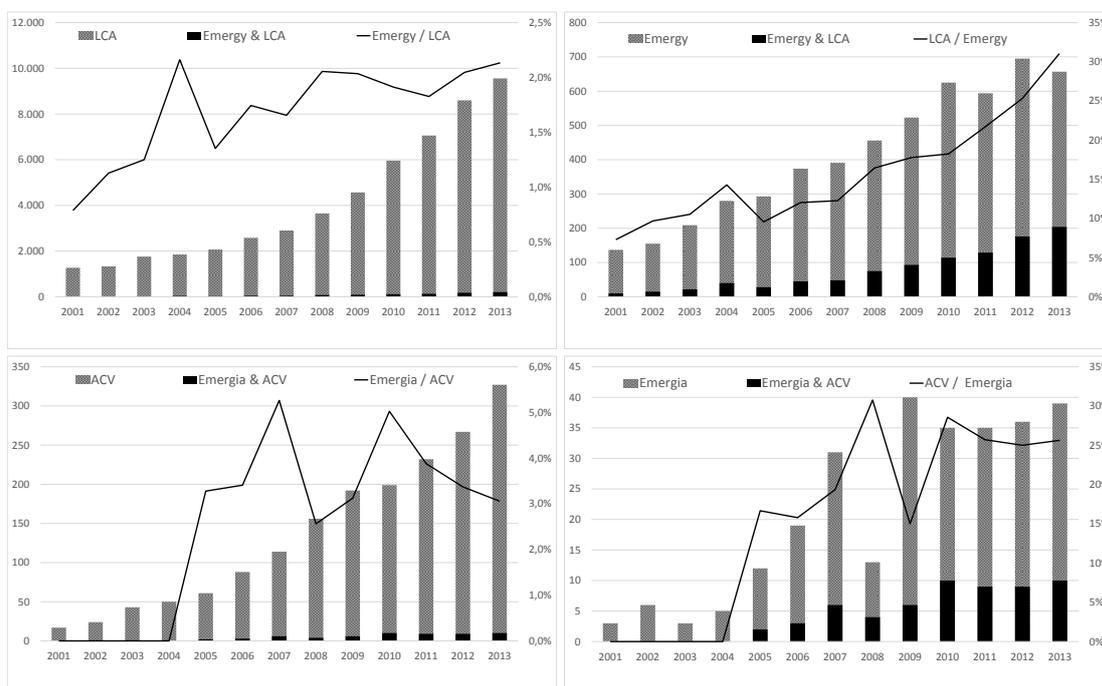


Gráfico 1: Uso de termos de agricultura em artigos “LCA” e “Emergy”

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)



Gráficos 2 a 5: Evolução da quantidade de artigos “ACV” e “Emergia” em inglês e português

Fonte: Elaborados pelo autor (2014)

Os resultados mostram também que artigos que unem ACV e emergia ainda são poucos, mas com forte tendência de crescimento: 214 em 2013, contra apenas 10 em 2001, nos dois idiomas. Houve um aumento geral de publicações sobre ACV (7,7 vezes) e sobre emergia (5 vezes), e da participação relativa do tema emergia em artigos sobre ACV (0,8% para 2,2%) e mais ainda da participação do tema ACV em artigos sobre emergia (de 7% para 30%).

### 3. Seleção de Publicações para Estudo Detalhado

Esta seção apresenta o método usado e os resultados obtidos na seleção de 30 publicações científicas sobre ACV e Emergia que apresentassem comparações do resultado da aplicação das duas abordagens, ou que avaliassem propostas de integração entre elas. Dada a maior quantidade de publicações encontrada em inglês, decidiu-se selecionar apenas duas publicações em português.

#### 3.1 Método

O processo de seleção dos artigos teve as seguintes etapas:

- Foram analisados cada um dos resultados para o critério de busca “LCA & Emergia” encontrados para o ano de 2014, começando pelos considerados mais “relevantes” pelo mecanismo do Google Scholar;
- Para cada um dos artigos dos resultados, o resumo foi analisado e, quando necessário, o texto completo, para decidir se o artigo contribui para o objetivo.



## IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



- Se o artigo foi selecionado, cada uma das referências indicadas pelo artigo que tratassem deste mesmo tema foi também analisada segundo os mesmos critérios.

### 3.2 Resultados

Percebeu-se que os trabalhos sobre a integração são concentrados em poucos grupos de autores, que se revezam na autoria e coautoria de trabalhos sobre o tema. Embora a maioria dos artigos seja em inglês, os autores destes artigos são em sua maioria de origem europeia, havendo também autores asiáticos, originários do oriente médio e brasileiros.

Os 30 artigos foram produzidos por relativamente poucos autores: 64 autores e coautores, com 19 sendo o primeiro autor, um deles com 4 artigos e uma tese, e outro com 4 artigos. Dois foram autores ou coautores em 13 e 12 dos 30 artigos, quase sempre juntos no mesmo artigo.

Os 30 artigos selecionados são bem recentes, com trabalhos concentrados nos últimos anos: mais de 70% de 2012 para cá, não porque o método usado priorizou inicialmente artigos de 2014, pois mesmo as referências nestes artigos que interessavam ao objetivo eram também recentes. P.ex., a integração entre as duas abordagens suscitou uma tese de doutorado defendida no início deste ano (ARBAULT, 2014). Outro exemplo: o artigo mais antigo selecionado (2004), ao falar de “problemas e promessas da análise emergética”, mencionava que havia uma necessidade de “maior interação entre análise emergética e ACV”, pois as abordagens teriam muito o que aprender uma com a outra (HAU et. al., 2004).

As propostas de integração encontradas nos artigos selecionados podem ser divididas entre as que veem a abordagem ACV como uma forma de tornar a síntese emergética mais precisa, (por exemplo, pelo uso dos dados dos inventários de ACV disponíveis), ou que propõem que a energia seja mais um dos vários indicadores de impacto em uma decisão multicritério em ACV.

### 4. Conclusões, Limitações, Próximos Passos

Os resultados apresentados mostram um crescimento acelerado da influência da abordagem ACV em artigos científicos sobre agricultura e sobre síntese emergética. O uso de mecanismos de busca para localização de artigos científicos mostrou-se útil na identificação de tendências, mas exigiu cuidados na definição de critérios que reduzissem falsos positivos sem aumentar a taxa de falsos negativos. Como próximos passos, os 30 artigos selecionados serão analisados mais detalhadamente quanto ao conteúdo. É natural que isto venha a reduzir a quantidade de artigos considerada realmente relevante, mas esta lista inicial permitirá identificar outras, a partir da reavaliação das obras citadas ou que citam estes artigos.

### Referências

- ARBAULT, Damien. **Evaluation hybride énergie – analyse du cycle de vie**: développements méthodologiques et application à la production d'eau potable. Thèse de doctorat en Génie des Procédés et de l'Environnement. École Doctorale Mécanique, Énergétique, INSA, Toulouse, 2014.
- HAU, Jorge L., BAKSHI, Bhavik R. Short communication: Promise and problems of emergy analysis. **Ecological Modelling**, v. 178, p. 215-225, Outubro de 2004.
- ODUM, H.T. **Environmental accounting**: emergy and environmental decision making. John Wiley & Sons Inc., 1996.