



10th INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

Proposta de um índice de robustez para a contabilidade ambiental em emergia

BUENO, M. F. F. ^{a,b*}

a. Universidade Paulista, São Paulo

b. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Minas Gerais

**Maria de Fátima de Freitas Bueno, fatima.bueno@ifsuldeminas.edu.br*

Resumo

A robustez de um método científico deve ser investigada com a finalidade de identificar as principais variáveis ou fatores que influenciam seus resultados ou respostas. Um método é chamado robusto se não é sensível a desvios das suposições sobre as quais se baseia. Este estudo propõe uma equação capaz de avaliar a robustez da contabilidade ambiental em emergia, a fim de estabelecer parâmetros e identificar fatores que possam afetar os resultados obtidos ao utilizar o método. A contabilidade ambiental em emergia é utilizada para avaliar os recursos empregados na produção de um produto ou serviço. Trata-se de um método inovador, no entanto, ainda falta padronização dos procedimentos de avaliação. Utilizou-se no estudo uma equação para identificar a robustez de um conjunto de sistemas e o diagrama ternário em emergia para apresentação dos resultados. A aplicação da equação a um conjunto de sistemas mostrou resultados compatíveis com a dispersão dos mesmos no diagrama ternário. A área definida no diagrama pode indicar o intervalo provável onde futuros estudos terão seus valores inseridos. Isso se deve ao fato de que os fluxos de entrada necessários para a produção de um produto ou serviço direcionam um determinado sistema e são basicamente os mesmos para sistemas similares.

Palavras-chave: emergia, diagrama ternário, robustez, índice de robustez

1. Introdução

Este artigo reproduz parte de uma tese de doutorado, em construção, que estuda três premissas da contabilidade ambiental em emergia. O artigo está relacionado à robustez da metodologia (Giannetti et al, 2013) e utiliza o diagrama ternário (Giannetti et al, 2006) como ferramenta na avaliação de sistemas.

O ICH – International Conference on Harmonization (2005) e a U.S. Pharmacopeia (2008) definem robustez de um procedimento analítico como uma medida de sua capacidade em permanecer inalterada por pequenas, mas deliberadas, variações nos parâmetros processuais, fornecendo uma indicação de adequação e confiabilidade do método ou procedimento durante o uso normal. Em outras palavras, a robustez é a capacidade de um procedimento produzir resultados imparciais quando pequenas mudanças nas condições experimentais são feitas voluntariamente a fim de verificar como e se os resultados do método são afetados.

Os testes de robustez são importantes porque, às vezes, o analista precisa modificar um ou alguns parâmetros de um procedimento, e isso só pode ser feito se essas mudanças não afetarem a precisão do método considerando os resultados previamente otimizados (Ferreira et al, 2015).

No entanto, a robustez não é considerada como um parâmetro de validação porque normalmente é investigada durante o desenvolvimento e otimização do método. Porém, a avaliação da robustez durante o desenvolvimento é válida, pois os parâmetros que afetam o método podem ser facilmente identificados quando manipulados para propósitos de seletividade ou otimização (Swartz and Krull, 2006). Uma consequência da avaliação da robustez é o estabelecimento de parâmetros de adequação de um sistema para assegurar que a validade do procedimento analítico seja mantida sempre que utilizada (U.S.P, 2008). Dessa forma, o principal objetivo de qualquer estudo de robustez é identificar as principais variáveis ou fatores que influenciam o resultado ou a resposta, e a representação gráfica é a melhor forma destas informações serem visualizadas.

Entre os mecanismos existentes para avaliar a robustez, o diagrama ternário em emergia (Giannetti et al, 2006; Almeida et al, 2007) é capaz de revelar graficamente a região experimental onde imprecisões introduzidas pelo analista tem uma influência considerável sobre os resultados. Dessa forma, ele pode ajudar a avaliar a robustez do método quando resultados diferentes são comparados.

No entanto, as abordagens de contabilidade ambiental são bastante diferentes quando comparadas com as práticas de laboratório. Ao executar uma contabilidade ambiental, o analista desempenha um papel importante e tem forte influência ao lidar com a incerteza resultante de dados incompletos, limitações de precisão de medição ou informações disponíveis, extrapolações e interpolações, abordagens de alocação e assim por diante (Giannetti et al, 2013). Além disso, na contabilidade ambiental em emergia, em processos sob controle humano, um mesmo fluxo de energia ou produto pode ser obtido a partir de processos distintos e, por consequência, surgem muitos valores diferentes de acordo com o tempo específico, localização e desenvolvimento tecnológico (Ulgiati et al, 1995). Dessa forma, as variações típicas na contabilidade em emergia podem ocorrer de acordo com a disponibilidade de recursos necessários à produção; a tecnologia disponível; as escolhas do analista; as escalas temporal e espacial; a propagação de erros a partir de estudos anteriores.

O diagrama ternário em emergia é uma ferramenta capaz de apresentar as proporções de recursos utilizados em cada sistema e possibilita averiguar a robustez da metodologia em um sistema de produção. No entanto, existe a necessidade de normalizar critérios relacionados à contabilidade em emergia, a fim de evitar decisões subjetivas ou não sustentadas dos analistas que podem prejudicar a reprodução ou comparação da análise (Giannetti et al, 2013).

Embora a literatura apresente um número crescente de estudos que utilizam a contabilidade ambiental em emergia, não há um protocolo indicando as práticas a serem realizadas nem uma definição dos parâmetros a serem seguidos em uma avaliação. Desta forma, surgem questões como: A metodologia em emergia é robusta? De que forma essa robustez pode ser avaliada a fim de facilitar e padronizar a utilização da metodologia? Quais critérios devem ser seguidos em uma avaliação de emergia?

Assim, o objetivo do artigo é propor uma equação capaz de mensurar a robustez da contabilidade ambiental em emergia, a fim de estabelecer parâmetros para a avaliação e identificar fatores que possam afetar o resultado do método.

2. Materiais e Métodos

2.1 Contabilidade ambiental em emergia

A emergia solar é definida como a energia solar disponível, previamente utilizada, direta e indiretamente, para produzir um produto ou serviço (Odum, 1996). A contabilidade ambiental em emergia foi apresentada como forma de explicar o comportamento de sistemas auto-organizados, avaliando bens e serviços ambientais e analisando juntamente os sistemas ambientais e econômicos (Hau e Bakshi, 2004). Ela é capaz de identificar e mensurar todas as entradas de um sistema, pois transforma entradas de unidades distintas em uma unidade comum (sej – joule de emergia solar ou emjoule solar (Odum, 1996). O método leva em conta aspectos do uso de energia que não são

considerados em outros métodos de avaliação e uma vez que entradas e saídas são exibidas em uma mesma unidade de medida, elas podem ser comparadas (Brown e Ulgiati, 2002; Wang et al, 2014).

O valor da energia depende do fluxo de entrada e da energia utilizados nas diversas etapas necessárias para a obtenção do produto ou serviço e, por este motivo, variam de acordo com a matéria-prima selecionada, com o tipo de energia empregado na produção e com a eficiência do sistema produtivo (Giannetti et al, 2006). Além disso, variam, também, conforme a linha base utilizada pelo autor. Dessa forma, todos os valores de energia e fluxos de entrada do estudo foram ajustados para a linha base $15,83 \times 10^{24}$ sej/ano (Odum et al, 2000; Odum, 2000).

Os dados utilizados no estudo são provenientes de avaliações de sistemas de produção baseados na contabilidade ambiental em energia e foram organizados de forma a facilitar a sua interpretação. Produto, linha base, energia, fluxos de entrada e referência foram os dados usados no estudo.

2.2 Índice de robustez (IR)

Os fluxos de entrada necessários para manter um sistema de produção são divididos em duas categorias de recursos: recursos da natureza (I), compostos de recursos locais renováveis (R) e recursos locais não renováveis (N), e os recursos provenientes da economia (F), compostos por recursos pagos – materiais (M) e os serviços humanos (S). Os recursos renováveis (R) e os não renováveis (N) são fornecidos pelo meio ambiente e são gratuitos. Os fluxos R tem capacidade de renovação temporal e espacial igual ou mais rápida do que seu ciclo de consumo. Exemplos de fluxos R incluem a radiação solar, o vento, a chuva e assim por diante. O ciclo de consumo dos fluxos N excede seu ciclo de renovação. Exemplos de fluxos N incluem o solo, madeira, recursos minerais e assim por diante. Os recursos da economia (F) estão associados a materiais (M) e serviços (S) fornecidos pelo sistema econômico e a recursos de outras regiões fora dos limites do sistema em estudo. Exemplos de fluxos F incluem combustíveis, fertilizantes, serviços e assim por diante (Odum, 1996).

Os fluxos de recursos permitem o cálculo de diferentes indicadores que podem ajudar a analisar ou monitorar um sistema de produção. Informações completas sobre os indicadores são encontradas em Odum, 1996.

O índice de robustez (IR) é uma proposta que pode assegurar que as avaliações de energia realizadas são suficientes e representativas, levando a uma padronização da metodologia. No entanto, deve-se considerar realmente os fluxos que fazem diferença no resultado e que geram os valores de energia. Este critério pode determinar o que influencia a contabilidade e quais práticas devem ser seguidas.

O índice de robustez proposto leva em conta os fluxos de entrada no sistema e é calculado com base na Eq. 1:

$$IR = 1 - \frac{1}{n} \left\{ \left[\left(\sum_{i=1}^n |dr| \right); \left(\sum_{i=1}^n |dn| \right); \left(\sum_{i=1}^n |df| \right) \right] \right\} \quad (1)$$

Onde:

$dr = |R_i - R_m|$; $dn = |N_i - N_m|$; $df = |F_i - F_m|$: representam a diferença absoluta entre a proporção de recursos R, N e F e a média das proporções R, N e F, respectivamente.

R_i , N_i e F_i indicam a proporção de recursos R, N e F, respectivamente, utilizada no sistema.

R_m , N_m e F_m correspondem à média das proporções R, N e F, respectivamente.

n = número total de amostras; i = cada uma das observações.

As diferenças dr , dn e df são calculadas em valores absolutos, caso contrário a soma terá como resultado o valor zero. A divisão por n é necessária, pois, deve-se levar em conta o número de amostras utilizadas no cálculo.

O índice de robustez gera resultados que variam de -0,33 a 1,0. Considerando que o valor 0 (zero) indica ausência de robustez e o valor 1 (um) a robustez máxima, é conveniente e útil definir uma escala de valores para interpretar a intensidade da robustez obtida no cálculo. A Tabela 1 sugere a escala e a interpretação para os resultados do índice.

Tabela 1. Interpretação do índice de robustez.

IR	Percentual	Interpretação	Descrição
[-0,33; -0,20[	[0,0; 0,1[	Robustez muito fraca	Indica que existe erro de valores em alguns dos sistemas ou os sistemas são totalmente diferentes e não podem ser avaliados em conjunto.
[-0,20; 0,20[	[0,1; 0,4[	Robustez fraca	Os sistemas são distintos ou necessitam substituir fluxos de entrada devido à escassez de recursos.
[0,20; 0,60[	[0,4; 0,7[	Robustez moderada	Os produtos são gerados por sistemas semelhantes, no entanto, os produtos podem ter sido obtidos a partir de processos distintos.
[0,60; 0,87[	[0,7; 0,9[	Robustez forte	Produtos e processos de produção são similares.
[0,87; 1,00]	[0,9; 1,0]	Robustez muito forte	Os produtos são gerados por sistemas semelhantes, indicando que os fluxos de entrada que direcionam a produção são os mesmos.

Os sistemas podem ser representados no diagrama ternário em emergia, que consiste em um triângulo equilátero com três variáveis associadas a porcentagens (Giannetti et al, 2006, 2007). Cada vértice do triângulo está associado a um fluxo: renovável (R), não renovável (N) e pago (F). Os lados do triângulo representam combinações binárias. A soma dos três fluxos (R, N e F) será sempre 100% e suas combinações são representadas por pontos no interior do triângulo. Desta forma, é possível representar três variáveis em duas dimensões. Informações completas sobre a ferramenta podem ser encontradas em Giannetti et al, 2006 e Almeida et al, 2007.

Os diagramas ternários são considerados ferramentas gráficas e não uma simples representação gráfica, pois oferecem não só a possibilidade de interpretar os dados, mas também a de utilização de suas propriedades (Giannetti et al, 2007).

A apresentação dos dados no diagrama ternário em emergia pode ser considerada um trabalho preliminar para se determinar a utilização de recursos pelo sistema ou pode ser utilizada para a visualização dos resultados.

A Fig. 1 mostra exemplos utilizando sistemas hipotéticos para apresentar o resultado do índice de robustez calculado a partir da Eq. 1.

Os valores extremos do índice de robustez são observados na Fig. 1A e 1F. A Fig. 1A apresenta três sistemas com 0% de robustez, conforme Tabela 1. Os sistemas são completamente distintos, localizados nos vértices do triângulo, não sendo possível avaliá-los em conjunto. A Fig. 1F, ao contrário, mostra três sistemas com 100% de robustez. Os sistemas são praticamente idênticos, localizados no mesmo ponto do triângulo.

A Fig. 1B mostra combinações binárias nos três lados do triângulo e a Fig. 1C exibe um ajuste das Fig. 1A e 1B. Os pontos no interior da Fig. 1D estão próximos uns dos outros, apresentando uma robustez forte, 82%. Na Fig. 1E, os pontos estão dispersos e por isso, a robustez é moderada, 52%. A Fig. 1G apresenta sistemas com fração constante do recurso F. Na Fig. 1H, a relação entre os recursos N e F é constante. A robustez para ambos os casos é moderada, pois os pontos se apresentam dispersos em relação ao ponto médio.

Não é apropriado utilizar a Eq. 1 para calcular o índice de robustez de um número reduzido de sistemas. Quanto maior o número de sistemas, maior a confiabilidade do valor encontrado.

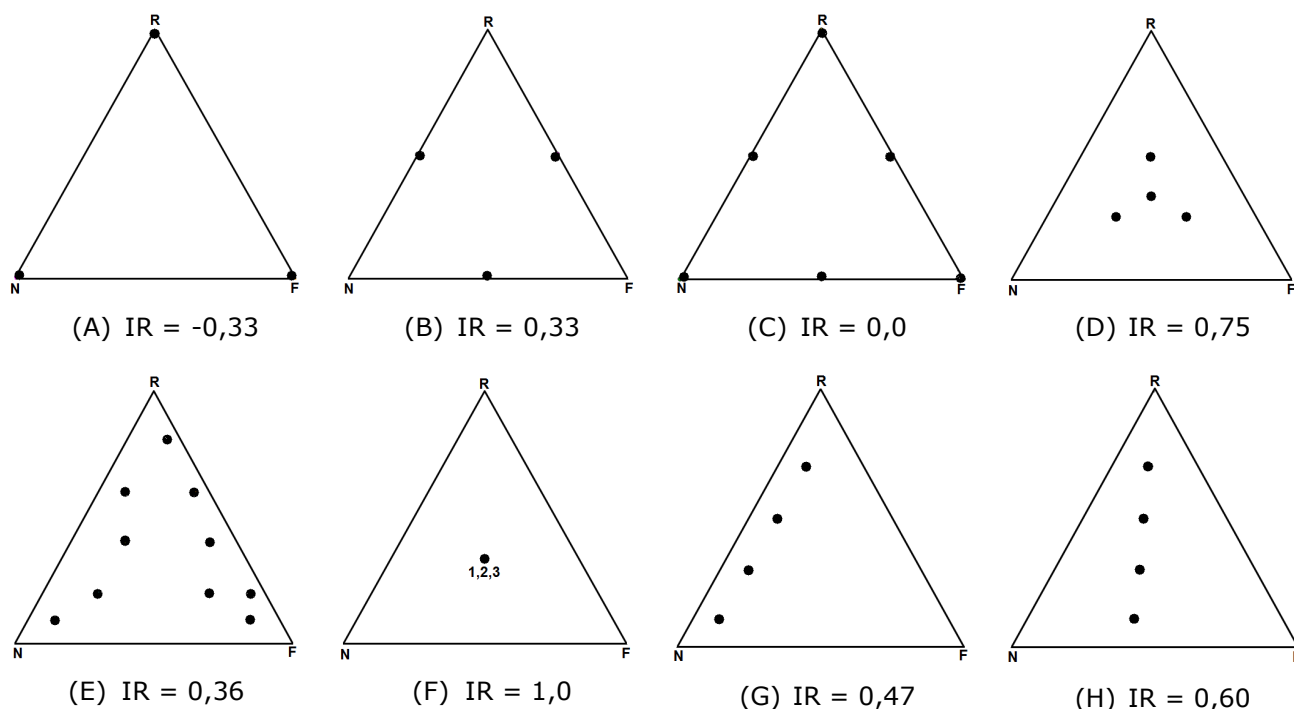


Fig. 1. Diagrama ternário apresentando o índice de robustez de sistemas hipotéticos.

3. Resultados

A partir da equação proposta (Eq. 1) e do diagrama ternário em energia foram realizados estudos a fim de se determinar um índice que informe sobre a robustez de um conjunto de sistemas.

A Tabela 2 apresenta os dados e os resultados de cálculos para a definição do IR do conjunto de dados da produção de eletricidade a partir de recursos não renováveis.

Tabela 2. Dados de eletricidade produzida a partir de recursos não renováveis para definição do índice de robustez (IR).

Nota	Item	R	N	F	Em	Ri	Ni	Fi	dr	dn	df	Ref.
1	Carvão	1,29E+20	9,40E+21	9,07E+19	9,62E+21	0,01	0,98	0,01	0,03	0,15	0,11	1
2	Carvão	0,00E+00	6,38E+14	1,70E+14	8,08E+14	0,00	0,79	0,21	0,04	0,04	0,09	2
3	Carvão	6,18E+20	5,12E+21	8,95E+20	6,64E+21	0,09	0,77	0,13	0,05	0,06	0,01	3
4	Linhita	0,00E+00	4,69E+14	1,24E+14	5,93E+14	0,00	0,79	0,21	0,04	0,04	0,09	2
5	Linhita	0,00E+00	5,54E+21	2,02E+20	5,75E+21	0,00	0,96	0,04	0,04	0,13	0,09	2
6	Metano	4,57E+19	4,50E+20	5,51E+19	5,51E+20	0,08	0,82	0,10	0,04	0,01	0,02	3
7	Petróleo	0,00E+00	6,75E+14	1,36E+14	8,11E+14	0,00	0,83	0,17	0,04	0,00	0,04	2
8	Petróleo	5,24E+20	5,58E+21	1,38E+21	7,48E+21	0,07	0,75	0,18	0,03	0,09	0,06	3
9	Petróleo	2,34E+22	1,30E+23	9,88E+21	1,63E+23	0,14	0,80	0,06	0,10	0,04	0,06	4
10	Média					0,04	0,83	0,12				
11	Soma								0,42	0,56	0,58	

Ref.: 1. Wang et al, 2005; 2. Brown et al, 1995; 3. Brown e Ulgiati, 2002; 4. Brown et al, 2012.

A Tabela 2 apresenta a base para a produção de eletricidade (coluna 2) com seus respectivos recursos de entrada (R, N e F) e energia (colunas 3, 4, 5 e 6). As colunas 7, 8 e 9 apresentam, respectivamente, as proporções de recursos R, N e F utilizados em cada sistema. A linha 10 mostra as

médias de cada recurso. As colunas 10, 11 e 12 exibem os resultados das diferenças absolutas entre a proporção do recurso e sua média. A linha 11 mostra a soma das diferenças de cada recurso. A coluna 13 exibe a referência para os dados.

$$IR = 1 - \frac{1}{9} \left\{ \sum (0,42; 0,56; 0,58) \right\} = 0,83 (0,87)$$

O grupo de sistemas da Tabela 2 apresentou IR igual a 0,83, indicando 87% de robustez, conforme a Tabela 1. Esse valor caracteriza uma robustez forte. O resultado é facilmente observado quando se utiliza o diagrama ternário em emergia (Fig. 2a), que mostra os componentes do grupo localizados próximos uns dos outros.

Os sistemas da Tabela 2 foram avaliados em tempo e espaço distintos, portanto, utilizando tecnologias atualizadas e métodos de avaliação mais refinados com o passar do tempo. Os sistemas 2, 4, 5 e 7 apresentam dados superficiais na avaliação. Possivelmente, o trabalho mostra os fluxos principais do processo de produção. As avaliações dos sistemas 3, 6 e 8 apresentam os fluxos de forma detalhada e muito bem divididos. O sistema 1 traz um detalhamento muito minucioso na sua avaliação e o sistema 9 apresenta os fluxos divididos em etapas no processo de produção. Embora os autores tenham utilizado diferentes fluxos para a produção de eletricidade, os sistemas apresentam um índice de robustez alto, confirmando que mesmo com variações diversas a proporção de recursos utilizados é semelhante.

Os sistemas 2, 4, 5 e 7 possuem valores dos recursos R igual a 0 (zero). Isso pode acrescentar incerteza ao resultado. Assim, os sistemas foram retirados do grupo e novamente foi calculado o índice de robustez.

$$IR = 1 - \frac{1}{5} \left\{ \sum (0,16; 0,31; 0,25) \right\} = 0,86 (0,90)$$

O novo cálculo mostrou que o IR foi minimamente alterado para um valor maior de robustez. A proporção de recursos R nestes sistemas não é significativa e considerando que possuam uma pequena quantidade destes recursos na produção a tendência seria os pontos permanecerem na mesma posição ou caminharem em direção aos outros sistemas, tornando o conjunto ainda mais homogêneo. A análise não levou em conta qualquer diferença no processo de produção entre os sistemas.

As Fig. 2a e 2b exibem o diagrama com os sistemas da Tabela 2 inseridos em seu interior. Os pontos aparecem agrupados próximos ao vértice dos recursos não renováveis em uma região bem definida.

A Tabela 3 mostra os dados utilizados e os resultados de cálculo do IR para um conjunto de dados de sistemas de produção pecuária.

Tabela 3. Dados da produção pecuária para definição do índice de robustez (IR).

Nota	Item	R	N	F	Em	Ri	Ni	Fi	dr	dn	df	Ref.
1	Jacaré	8,90E+14	0,00E+00	9,10E+17	9,11E+17	0,00	0,00	1,00	0,18	0,00	0,18	1
2	Frango	2,66E+15	5,40E+13	6,50E+15	9,22E+15	0,29	0,01	0,71	0,11	0,00	0,11	2
3	Frango	1,16E+16	4,81E+14	6,03E+16	7,24E+16	0,16	0,01	0,83	0,02	0,00	0,01	2
4	Tilápia	4,13E+15	0,00E+00	9,05E+16	9,46E+16	0,04	0,00	0,96	0,13	0,00	0,14	3
5	Tilápia	2,05E+15	0,00E+00	1,80E+17	1,82E+17	0,01	0,00	0,99	0,17	0,00	0,17	4
6	Camarão	8,25E+20	0,00E+00	1,80E+21	2,63E+21	0,31	0,00	0,69	0,14	0,00	0,13	5
7	Camarão	8,25E+20	0,00E+00	1,11E+21	1,93E+21	0,43	0,00	0,57	0,25	0,00	0,25	5
	Média					0,18	0,00	0,82				
	Soma								0,99	0,02	0,99	

Ref.: 1. Brandt-Williams, 2002; 2. Castellini et al, 2006; 3. Brown et al, 1992; 4. Garcia et al, 2014; 5. Odum e Arding, 1991.

$$IR = 1 - \frac{1}{9} \left\{ \sum (0,99; 0,02; 0,99) \right\} = 0,71 (0,79)$$

O IR mostrou o valor 0,71 como resultado, que de acordo com a Tabela 1, representa uma robustez forte (79%). A representação dos sistemas na Fig. 2c é praticamente binária, pois os valores de recursos N são muito pequenos ou nulos, fazendo com que os pontos se sobreponham à linha RF.

Os sistemas da Tabela 3 são distintos e os autores levam em conta diversos fatores, no entanto, no estudo foram considerados do mesmo grupo por pertencerem a uma categoria própria.

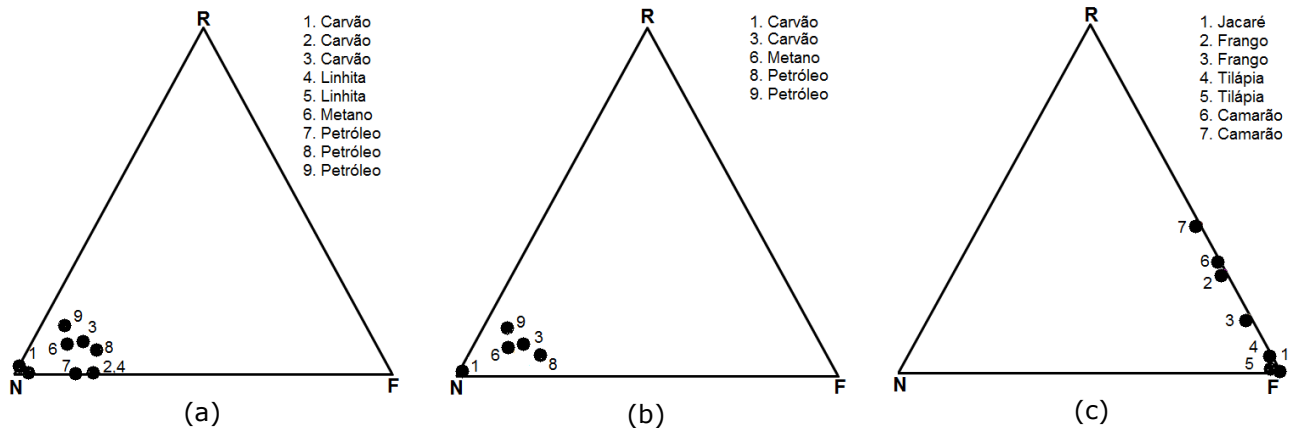


Fig. 1. Diagrama ternário em energia dos sistemas de produção. 2a. eletricidade não renovável, com todos os sistemas da Tabela 3; 2b. eletricidade não renovável, sem os sistemas que possuem R = 0; 2c. pecuária.

O diagrama ternário exibiu os pontos correspondentes aos sistemas, facilitando a observação da dispersão do conjunto de dados. Mesmo com variações que influenciam os valores resultantes de um sistema de produção, pode-se definir uma área de domínio no diagrama para um grupo de sistemas. Esta área pode determinar o intervalo onde futuros estudos se posicionarão.

Desta forma, o diagrama ternário se apresenta como uma poderosa ferramenta que permite uma rápida e eficiente interpretação dos resultados, fornecendo informações importantes para pesquisadores e tomadores de decisão (Giannetti et al, 2013).

4. Conclusões

A metodologia em energia é uma proposta inovadora que admite vários critérios de desenvolvimento, no entanto, ainda não possui uma padronização para seus procedimentos de avaliação

O analista tem a liberdade de mudar fluxos, fazer combinações, usar dados estatísticos, do projeto ou de campo, arredondar valores, usar critérios subjetivos que muitas vezes não estão documentados. A medida que avaliações são realizadas, novos valores surgem. Alguns valores são iguais aos existentes, outros muito próximos e poucos são diferentes, porém, facilmente justificáveis. Dessa forma, verifica-se que não há um modelo a se seguir, porém, é imprescindível conhecer os fatores que influenciam uma resposta, definir intervalos a ser utilizados, o número de experimentos onde os valores não mudam. Desta forma pode-se encontrar a robustez da metodologia.

O estudo mostrou que a metodologia em energia é robusta mesmo com diferenças no processo de produção. Os sistemas estudados apresentaram valores muito próximos para a proporção de recursos. Os valores diferentes são situações particulares que podem ser explicadas. Deve-se considerar os fluxos de entradas que realmente fazem diferença no resultado. Alguns valores que direcionam o sistema e que geram os valores finais são basicamente os mesmos. A robustez da metodologia mostra que os valores existentes são representativos e colocam a energia com um protocolo de boas práticas.

O estudo, também, apresentou uma proposta de equação capaz de avaliar a robustez da metodologia em emergia e possibilitou a representação gráfica dos recursos utilizados em alguns sistemas de produção. A interpretação dos resultados e a comparação entre sistemas tornou-se mais rápida e mais fácil com a aplicação do diagrama ternário em emergia. Assim, o diagrama ternário facilitou a compreensão dos sistemas quanto à utilização de recursos e apresentou os pontos referentes aos sistemas em regiões bem definidas, com algumas exceções claramente justificadas.

Sugere-se que seja realizada uma avaliação bem documentada, que possa servir de subsídio para futuros estudos. Isso garante que os valores existentes possam ser utilizados com segurança, evitando que sejam obtidos resultados já calculados.

Agradecimentos

O autor agradece a Vice-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Paulista (UNIP) pelo apoio financeiro e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais. Também agradece à CAPES-PROSUP pela bolsa de estudos concedida ao autor.

5. Referências bibliográficas

Almeida, C.M.V.B, Barrella, F.A., Giannetti, B.F., 2007. Emergetic ternary diagrams: five examples for application in environmental accounting for decision-making. *Journal of Cleaner Production*. 15, 63-74.

Brandt-Williams, S.L., 2002. Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Folio #4. Emergy of Florida agriculture. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida.

Brown, M.T., Green, T.P., Gonzalez, A., Venegas, J., 1992. Emergy analysis perspectives, public policy option, and development guidelines for the Coastal Zone of Nayarit, Mexico. Center for Wetlands and Water Resources, University of Florida, Gainesville, Florida. v.1, 215 p; v.2, 145 p.

Brown, M.T., Odum, H.T., McGrane, G., Woithe, R.D., Lopez, S., Bastianoni, S., 1995. Emergy evaluation of energy policies for Florida. Report to the Florida energy office. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.

Brown, M.T., Ulgiati, S., 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production*. 10, 321–334.

Brown, M.T., Raugei, M., Ulgiati, S., 2012. On boundaries and 'investments' in emergy synthesis and LCA: a case study on thermal vs. photovoltaic electricity. *Ecological Indicators*. 15, 227-235.

Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., Brunetti, M., 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114: 343-350.

Ferreira, S.L.C., Caires, A.O., Borges, T. da S., Lima, A.M.D.S., Silva, L.O.B., dos Santos, W.N.L., 2017. Robustness evaluation in analytical methods optimized using experimental designs. *Microchemical Journal*. 131, 163–169.

Garcia, F., Kimpara, J.M., Valenti, W.C., Ambrosio, L.A., 2014. Emergy assessment of tilapia Cage farming in a hydroelectric reservoir. *Ecological Engineering*. 68: 72-79.

Giannetti, B.F., Barrella, F.A., Almeida, C.M.V.B., 2006. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting. *Journal of Cleaner Production*. 14, 201-210.

- Giannetti, B.F., Barrella, F.A., Bonilla, S.H., Almeida, C.M.V.B., 2007. Aplicações do diagrama emergético triangular na tomada de decisão ecoeficiente. *Produção*. 17(2), 246-262.
- Giannetti, B.F., Almeida, C.M.V.B., Agostinho, F., Bonilla, S.H., Ulgiati, S., 2013. Primary evidences on the robustness of environmental accounting from emergy. *Journal of Environmental Accounting and Management*. 1(2), 203-212.
- Hau, J.L., Bakshi, B.R., 2004. Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling*. 178, 215-225.
- International Conference on Harmonization (ICH) Guideline, 2005. Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2 (R1). 2005, 17p. http://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline.pdf. Acessado em: 20/05/2016.
- Odum, H.T., Arding, J.E., 1991. Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador. Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Working Paper prepared for Coastal Resources Center, University of Rhode Island, Narragansett, RI.
- Odum, H.T., 1996. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision-making. New York: Wiley, 370 p.
- Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S., 2000. Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Folio #1. Introduction and global budget. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences, University of Florida. Gainesville.
- Odum, H.T., 2000. Handbook of emergy evaluation. A compendium of data for emergy computation issued in a series of folios. Folio #2. Emergy of global processes. Center for Environmental Policy. Environmental Engineering Sciences, University of Florida. Gainesville.
- Swartz, M.E., Krull, I., 2006. Method Validation and Robustness. *LCGC North America*. 24(5), 480–490.
- Ulgiati, S., Brown, M.T., Bastianoni, S., Marchettini, N., 1995. Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources. *Ecological Engineering*. 5, 519-531.
- U.S. Pharmacopeia, 2008-2010. USP 37, General Information. Chapter 1225, Validation of Compendial Procedures. http://uspbpep.com/usp31/v31261/usp31nf26s1_c1225.asp. Acessado em 20/02/2016.
- Wang, L., Zhang, J., Ni, W., 2005. Emergy evaluation of Eco-Industrial Park with Power Plant. *Ecological Modelling*. 189, 233-240.
- Wang, X., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Wu, X., Xiong, J., 2014. Efficiency and sustainability analysis of biogas and electricity production from a large-scale biogas project in China: an emergy evaluation based on LCA. *Journal of Cleaner Production*. 65, 234-245.