

Energia e eficiência da intensificação em sistemas agrícolas

Thiago L. Romanelli
Professor Titular
USP/ESALQ/LEB
romanelli@usp.br

1 Consumo de energia pela humanidade¹

Milhares de anos atrás, a demanda de energia humana era limitada pela própria energia propiciada pelo corpo e alimentada pela comida – carboidrato e gordura da dieta dos coletores-caçadores. Atualmente, a energia requerida para assegurar a sobrevivência e bem-estar de uma pessoa na sociedade moderna é centenas de vezes maior que na primitiva. Citando algumas poucas atividades vitais, a sociedade contemporânea depende de energia para: aquecer, refrigerar, transportar, iluminar e comunicar. (LETCHER; WILLIAMSON, 2004).

A dependência que a humanidade tem de fontes de energia não renováveis vem desde os primórdios, pois, segundo Barros (1996), a história da humanidade é a história da apropriação de energia. Sendo assim, o crescimento da população mundial e a passagem das sociedades extrativistas para o moderno mundo urbano só foram possíveis graças à crescente habilidade de aproveitamento de fontes de energia que eram até então desconhecidas.

A energia é uma das principais constituintes da sociedade moderna, sendo necessária para produzir bens a partir de recursos naturais e para fornecer serviços. O desenvolvimento econômico dessa sociedade é um processo complexo que compartilha um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. A modernização do ocidente, passando de uma sociedade rural para urbana, foi possível graças à utilização de tecnologia baseada em uma ampla série de avanços científicos os quais foram impulsionados por combustíveis fósseis (HINRICHS; KLEINBACH, 2009).

Ao longo do desenvolvimento do setor de produção, sob a ótica da utilização de energia, algumas inovações tecnológicas capazes de converter diferentes formas de energia em trabalho merecem destaques, como o motor eólico e a máquina a vapor. O motor eólico, conhecido como o moinho de água, foi inventado antes do século X, permitindo a substituição dos animais pela energia cinética da água em inúmeras tarefas; e a utilização da máquina a vapor para ampliar a extração de carvão mineral, que por sua vez, ampliava a fabricação de aço, matéria-prima para a fabricação de novas máquinas (MACEDÔNIO; PICCHIONI, 1985).

¹ Item retirado de ROMANELLI, T. L. Incorporação de energia em sistemas de produção agrícola. Piracicaba, 2013. 109 p. (Dissertação de Livre Docência – USP).

Do início da domesticação das culturas pela humanidade até a utilização de ferramentas no trabalho agrícola, o homem dispunha apenas de instrumentos endossomáticos (seu próprio corpo) para a realização das tarefas. Com o advento das ferramentas, o emprego de instrumentos exossomáticos foi aumentando continuamente, por meio do uso de enxadas, implementos, máquinas (Figura 1). O uso de instrumentos exossomáticos para a sobrevivência gera, segundo Georgescu-Roegen (1975), problemas diferentes aos das outras espécies, sendo denominados problemas bioeconômicos.

À medida que a humanidade se apropriou das fontes de energia fósseis (baixa entropia), o crescimento populacional se deu de forma semelhante ao da posse e uso de tais fontes (Figura 1). A área arável per capita por sua vez, sofreu declínio em proporções semelhantes (exponencial), levando a discussões sobre a produção de alimentos versus a de energia renovável de biomassa, visando diminuir a dependência das fontes fósseis.

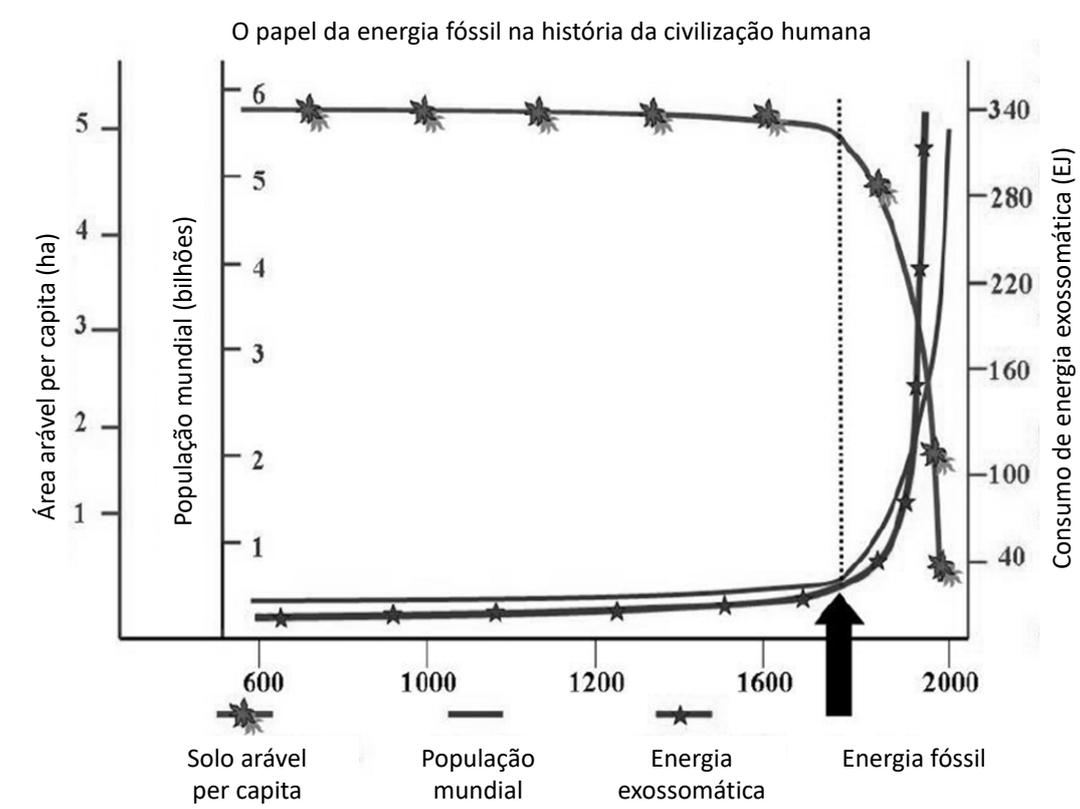


Figura 1 – População mundial, área arável per capita e consumo de energia exossomática. Adaptado de Giampietro e Ulgiati (2005).

Segundo Goldemberg (2004), a demanda per capita por energia avança à medida que a sociedade se desenvolve. Por exemplo: o homem primitivo (África, um milhão de anos atrás) consumia $0,48 \text{ MJ dia}^{-1}$; o homem caçador (Europa, 100 mil anos atrás) consumia $1,44 \text{ MJ dia}^{-1}$;

o homem agrícola primitivo (5000 a.C.) consumia 2,87 MJ dia⁻¹; o homem agrícola avançado (1400 a.C) 4,78 MJ dia⁻¹; o homem industrial (Inglaterra, 1875) 18,42 MJ dia⁻¹; e homem tecnológico (EUA, 1970) 55,02 MJ dia⁻¹. Esse aumento no consumo de energia foi possível graças ao uso de carvão como fonte de calor e trabalho durante a revolução industrial no século XIX, do uso de motores de combustão interna com enorme dependência do petróleo e seus derivados e da eletricidade oriunda de usinas hidrelétricas e de termoelétricas (Figura 2).

Debeir; Deléage e Hémerly (1993) relatam o comércio de escravos na Roma antiga, após a tomada de Tarento, onde 130 mil habitantes da cidade foram vendidos em 177 a.C.. O escravo é reduzido aqui a seu papel de máquina; como mão-de-obra, ao de mercadoria ordinária, e como consumidor, ao de gado estabulado. A mão-de-obra servil, capturada nas guerras, é que assegurou, cada vez mais, os trabalhos agrícolas. Nesse contexto, a escravidão era uma forma de apropriação de fonte de potência.

A dependência dos combustíveis fósseis na agricultura, tanto na produção de alimentos quanto na forma de insumos, é muito recente na sua história (HALL; CLEVELAND; KAUFMANN, 1992). A evolução do uso de combustíveis fósseis pode ser observada, desde os primórdios da agricultura (aproximadamente 7000 a.C.), bem como a explosão demográfica na Terra desde o princípio do período Paleolítico (Figura 2).

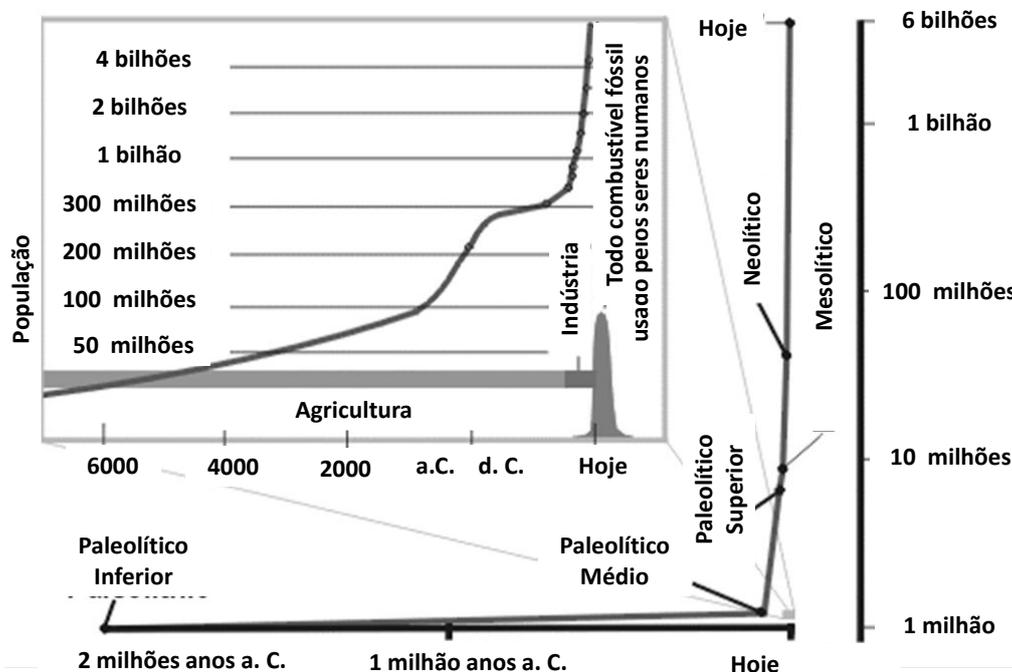


Figura 2 – Consumo de combustíveis fósseis ao longo da história da agricultura. Adaptado de Hall; Cleveland; Kaufmann (1992).

Em 1914, no início da Primeira Guerra Mundial, a matriz energética da sociedade capitalista era composta por petróleo, carvão e eletricidade. Teve início então a primeira crise energética mundial devido ao monopólio dessas fontes de energia. Os governos e grupos privados iniciaram a busca de soluções alternativas, capazes de tornar seus países menos dependentes das poucas fontes disponíveis, as quais na realidade se concentravam em apenas uma: o petróleo (MACEDÔNIO; PICCHIONI, 1985).

Em 1923, a pesquisa brasileira tem início, com veículos movidos a combustíveis de fontes alternativas, registra-se experiências conduzidas pela Estação Experimental de Combustível e Minérios, com um veículo Ford movido a álcool etílico hidratado 70%. Em agosto de 1925, o veículo percorreu 230 km em uma corrida no Circuito da Gávea, no Rio de Janeiro, na primeira prova automobilística realizada pelo Automóvel Clube do Brasil. Ao percorrer 100 km foram consumidos 20 litros. (ARQUIVO INT/MCT apud MARCOLIN, 2008).

A partir da década de 1970, com o aumento dos preços do petróleo e o declínio das reservas conhecidas, associados ao uso intensificado dessas fontes, tornou-se vital a procura de novas fontes e a reformulação dos sistemas de produção dependentes dessa matéria-prima (IGUE, 1980). O mundo experimentou, mais uma vez, uma crise mundial do petróleo, a partir de 1973, começando com o embargo do petróleo. O racionamento de combustíveis e os invernos rigorosos com racionamento de gás natural, na década de 1970, ainda são lembrados pela população. Essa situação foi revivida com a Revolução Iraniana de 1979 e a Guerra do Golfo Pérsico de 1991 (HINRICHS; KLEINBACH, 2009).

Durante as décadas de 1990 e 2000, o consumo global de energia aumentou 25%, sendo 15% apenas nos Estados Unidos. Nas próximas duas décadas (2010 e 2020), estima-se que o consumo de energia irá aumentar em torno de 100% nos países em desenvolvimento (HINRICHS; KLEINBACH, 2009).

2 Eficiência da intensificação agrícola

Os sistemas de produção agrícolas podem ser considerados sistemas industriais a céu aberto, que além de utilizarem insumos industriais, também são dependentes da contribuição ambiental, que propicia a fotossíntese e consequente produção de biomassa. Essa visão desonera a produção agrícola da usual consideração que se trata de um sistema que mimetiza a natureza. A crescente população mundial e a demanda por alimentos, fibras e bioenergia da limitada área agricultável leva a uma necessidade por maior produtividade. Assim, a produção agrícola adota avanços tecnológicos para atender as citadas demandas com recursos naturais

limitados. Por isso, é primordial avaliar as alternativas de manejo, não somente pelo aspecto econômico, mas também social e ambiental.

Em geral, a maior adoção de insumos para o aumento de produtividade demanda maior quantidade de energia incorporada nos sistemas de produção, que é suprido principalmente pelo uso de energia fóssil, tendo em vista a maior utilização de insumos como fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos.

Ao se analisar a evolução no consumo de insumos agrícolas e na produtividade das principais culturas do Brasil, desde a Revolução Verde, é notória a diferença de magnitude dos valores, sendo muito inferior o bônus da intensificação – Produtividade que a demanda de recursos para atingi-la - insumos (Tabela 1).

Existe a necessidade de melhorar a eficiência no consumo energético para minimizar o impacto negativo ao ambiente, pois, em grande parte, o uso de combustíveis fósseis causa a emissão de gases de efeito estufa, além de representarem uma parte significativa do custo de produção. Os sistemas agrícolas são entidades econômicas, termodinâmicas e físicas, sujeitas simultaneamente às restrições em todos esses aspectos, demandando uma abordagem sistêmica para o planejamento e avaliação das operações agrícolas.

Tabela 1 – Consumo de insumos e aumento de produtividade desde a Revolução Verde no Brasil.
Fonte: FAO (2018).

Insumo	Aumento no consumo (%)	Período
N	7829,6	1961-2016
P ₂ O ₅	3349,5	1961-2016
K ₂ O	7999,3	1961-2016
Inseticida	289,7	1990-2015
Herbicida	861,4	1990-2015
Fungicida	685,9	1990-2015
Tratores	994,5	1961-2006
Área agricultável	87,7	1961-2015

Cultura	Aumento na Produtividade (%)	Período
Feijão	49,7	1961-2016
Milho	226,8	1961-2016
Arroz	221,6	1961-2016
Soja	157,8	1961-2016
Cana-de-açúcar	73,0	1961-2016

Em termos físicos, os sistemas de produção de biomassa são unidades de transformação de energia, capazes de convertê-la de uma forma primária em outra secundária, a partir de entradas. No processo de transformação de energia (por exemplo: solar na fotossíntese, fóssil incorporada em fertilizantes, óleo diesel consumido pelas máquinas agrícolas etc.) haverá

perdas devido à ineficiência inerente de sistema (lixiviação, deriva, volatilização etc.), cujas “perdas” estão de acordo com a segunda lei da termodinâmica (entropia). A entropia significa a irreversibilidade dos processos e a indisponibilidade de energia útil.

Referências do item 2

- FAO. FAOSTAT DATA. 2017. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Accessed 08 May 2018.
- GIAMPIETRO, M.; ULGIATI, S. Integrated assessment of large-scale biofuel production. *Critical Reviews In Plant Sciences*. v.24, p. 1-20, 2005.
- PIMENTEL, D.; PATZEK, T.W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood: biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, New York, v. 14, n. 1, p. 65-76, mar. 2005.
- ROMANELLI, T.L. Physical and environmental approaches for energy sources. In: D'ARCE, M.A.B.R.; VIEIRA, T.M.F.S., ROMANELLI, T. L (Org.). **Agroenergy and Sustainability**. São Paulo: EDUSP, v. 1, p. 17-33, 2009.
- ROMANELLI, T.L.; MILAN, M. 2010a. Material flow determination through agricultural machinery management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 375-383, jul./ago. 2010.
- VEIGA, J.P.S., ROMANELLI, T.L., GIMENEZ, L.M., BUSATO, P., MILAN, M. Energy embodiment in Brazilian agriculture: an overview of 23 crops. **Scientia Agricola** v. 72, 471-477, 2015.