

1 Conceitos sobre energia¹

Existe certa diversidade quanto à definição de energia na bibliografia sobre o tema. Por exemplo, Letcher e Williamson (2004) e Aubrecht (2004) conceituam energia como a capacidade de realizar trabalho. Porém, Aubrecht (2004) acrescenta que, na prática, energia é difícil de medir com um mecanismo, porém fácil de ser calculada. Nessas duas últimas definições não está citado o calor, que, além do trabalho, é outra forma de transferência de energia. Para Boustead e Hancock (1979), energia é definida como a habilidade para produzir trabalho e calor, porém não esclarece se a habilidade é uma questão quantitativa, qualitativa (exergia) ou temporal (potência) quanto ao seu fornecimento. Letcher e Williamson (2004) consideram que calor é a transferência de energia que resulta numa diferença de temperatura enquanto trabalho é a transferência de energia numa forma útil. O termo “útil” traz subjetividade à definição, pois, a utilidade de um sistema de arrefecimento diz respeito à troca de calor e não a exercer força para causar deslocamento. Numa forma generalizada, pode-se conceituar que energia é a capacidade de realizar mudanças, seja por meio da diferença de temperatura (calor) ou de localização espacial (deslocamento por energia cinética e/ou potencial).

A energia pode ser apresentada em diversas formas, a qual é fornecida por diversas fontes. Energia mecânica cinética (fontes: eólica, ondas do oceano), mecânica gravitacional (barragens de usinas hidrelétricas, marés), eletromagnética (eletricidade, insolação), química (pilhas, biomassa, combustíveis fósseis) e nuclear (fissão de átomos de urânio ou fusão de núcleos de hidrogênio). Algumas formas de energia podem ter mais utilidade que outras, e elas podem ser disponibilizadas em outras formas. Por exemplo, a energia de uma reação nuclear pode aquecer água (liberação de calor), gerando vapor que acionará uma turbina (energia cinética) que por sua vez produzirá energia elétrica (energia eletromagnética) para aquecer uma residência, onde pode ser transformada em calor (aquecedor), em energia mecânica cinética (liquidificador), em energia eletromagnética (iluminação) ou em energia mecânica gravitacional (elevadores) (LETCHER; WILLIAMSON, 2004; HINRICHS; KLEINBACH, 2009).

¹ Capítulo extraído de Romanelli, T. L. Incorporação de energia em sistemas de produção agrícola. Tese de Livre Docência, ESALQ/USP. Piracicaba, 2013. 109 p.

A energia fóssil apresenta energia química, sendo utilizada em larga escala dentro do processo produtivo da maioria dos setores da economia mundial, incluindo a agropecuária. Ela é considerada como fonte não renovável, sendo portanto limitada; encontra-se na natureza como energia primária na forma de petróleo e, após passar por processos de transformação e refino, é disponibilizada para a sociedade em diversas formas com fins energéticos, como óleo diesel, gasolina; ou não-energéticos como: fertilizantes nitrogenados, parafina, isopor, e vários produtos resultantes diretamente da fonte primária, e que por isso serão classificados como energia fóssil secundária direta (MACEDÔNIO; PICCHIONI, 1985). A consideração de uma fonte como renovável ou não, não deve ser feita pela sua origem e sim pela forma que seu uso é feito. Se o petróleo fosse utilizado anualmente na quantidade em que é formado no mesmo período, ele seria uma fonte renovável. Da mesma forma que se produzimos etanol de cana-de-açúcar, como taxa de erosão de solo superior à da sua gênese, será uma fonte não renovável (ROMANELLI, 2009a).

A termodinâmica é a ciência física que trata das transformações de energia térmica (calor) em energia mecânica e suas formas equivalentes (trabalho, outras formas de energia e auto-organização de sistemas complexos) e vice-versa. Todos os fenômenos e processos que ocorrem, tanto na Terra quanto no universo, pertencem ao escopo da termodinâmica. Embora seja relativamente fácil pesquisar a dinâmica de sistemas em equilíbrio e gerar um conjunto de leis descrevendo a tendência dos sistemas em direção ao equilíbrio por meio de processos reversíveis ideais (termodinâmica clássica), processos irreversíveis lidando com sistemas em não-equilíbrio (incluindo os processos de auto-organização da biosfera) não são completamente descritos dentro de um arcabouço teórico consistente, mas progressos significantes têm sido alcançados (termodinâmica de não-equilíbrio) (ULGIATI; BIANCIARDI, 2004).

À medida que os sistemas são movidos longe do equilíbrio eles farão uso de quaisquer meios disponíveis para resistir aos gradientes externamente aplicados a eles. Longe do equilíbrio, sistemas complexos e estáveis altamente ordenados podem surgir, desenvolver e crescer às custas de mais desordem a níveis mais amplos na hierarquia dos sistemas. Ecossistemas são sistemas termodinâmicos abertos, com um grande gradiente de energia imposto a eles pelo sol. Assim, Schneider e Kay (1994)

elaboraram a hipótese de que os ecossistemas desenvolvem estruturas e funções selecionadas para dissipar mais efetivamente os gradientes impostos, permitindo a sua existência contínua.

Os princípios que governam as conversões entre as diferentes formas de energia são as duas primeiras leis da termodinâmica.

A Primeira Lei da Termodinâmica (ou Princípio da Conservação da Energia) estabelece que a energia não pode ser criada ou destruída; mas pode ser alterada de uma forma para outra. A energia total existente em diversas formas é invariável (ULGIATI; BIANCIARDI, 2004). Çengel e Boles (2001) consideram o princípio da conservação da energia como uma das principais leis da natureza, pois ela estabelece que, durante uma interação, a energia pode mudar de forma, mas a quantidade total permanece constante, não podendo ser criada ou destruída. A primeira lei faz com que o termo geração de energia seja utilizado da forma incorreta, pois na realidade a energia é disponibilizada de uma forma em outra pelas fontes (ROMANELLI, 2009a).

A Segunda Lei da Termodinâmica ou Lei da Entropia reza sobre a irreversibilidade de todos os processos naturais e pode ser vista como uma medida de desordem ou da desorganização de um sistema. À medida que um sistema se torna desordenado, as posições das moléculas são cada vez mais imprevisíveis e a entropia aumenta. Assim, o conceito de entropia não é tão utilizado na vida cotidiana como o conceito da energia, embora seja aplicável a diversos aspectos da vida (ÇENGEL; BOLES, 2001). Essa lei remete à questão da qualidade da energia, pois as mesmas quantidades de energia de formas diferentes possuem diferentes potenciais para realizar trabalho. Ela ainda torna a renovabilidade improvável, pois se a cada transformação há perdas, um processo não poderia se repetir indefinidamente (ROMANELLI, 2009a).

Entropia, medida da degradação de energia e de recursos, é uma dos conceitos básicos de termodinâmica, amplamente utilizado em diversos ramos da ciência, de termodinâmica pura à aplicada, de teoria da informação à transmissão de tecnologia, de ecologia a economia. A entropia do universo não para de crescer, tendendo a um máximo no qual encontraremos um equilíbrio termodinâmico (ÇENGEL; BOLES, 2001). A palavra entropia é utilizada cotidianamente onde se assume um caráter menos restritivo, geralmente é associada à desordem, falta de organização, indefinição e degradação física e social. Por exemplo, a energia química contida nos combustíveis

fósseis possui um alto grau de ordenação, ou seja, uma grande disponibilidade de energia. O aumento da entropia significa que uma fração da energia fornecida ao sistema é transformada em calor degradado, não mais utilizável para propiciar qualquer futura evolução do processo. A energia realmente disponível é menor e, conseqüentemente, menos trabalho pode ser realizado (BIANCIARDI; ULGIATI, 2004).

2 Consumo de energia pela humanidade

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).

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.

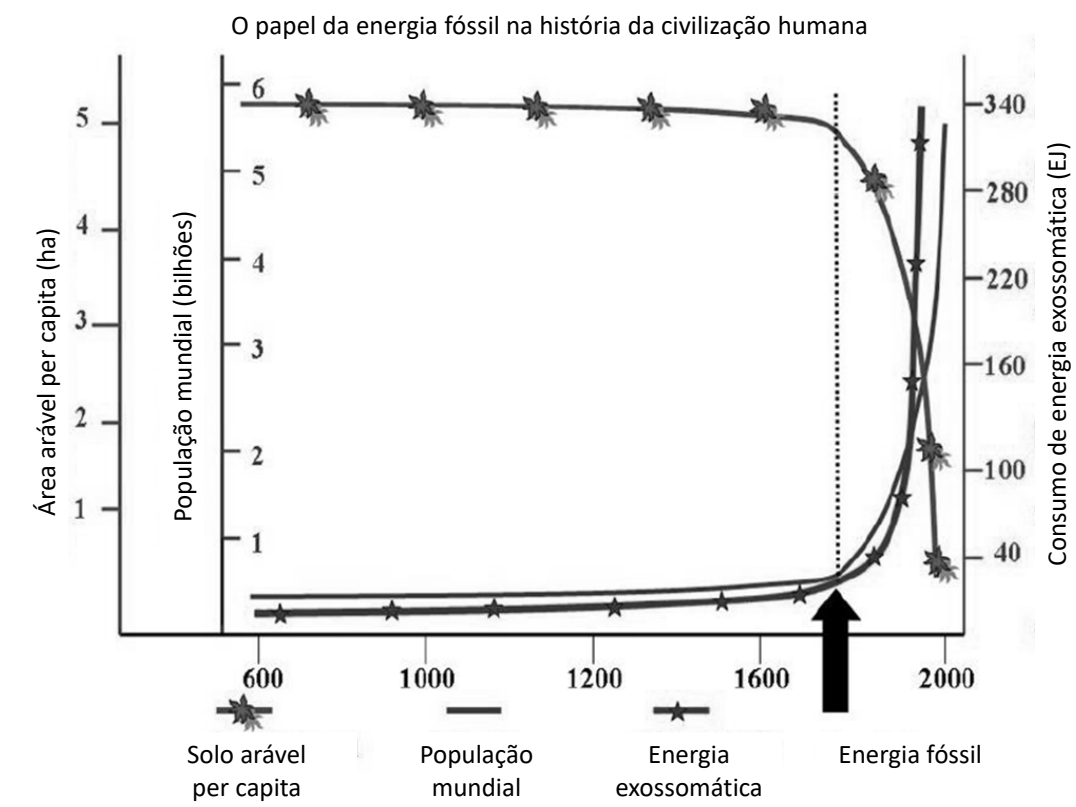


Figura 1 – População mundial, área arável per capita e consumo de energia exossomática. Adaptado de Giampietro e Ulgiati (2005).

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 $2,87 \text{ MJ dia}^{-1}$; o homem agrícola avançado (1400 a.C) $4,78 \text{ MJ dia}^{-1}$; o homem industrial (Inglaterra, 1875) $18,42 \text{ MJ dia}^{-1}$; e homem tecnológico (EUA, 1970) $55,02 \text{ MJ dia}^{-1}$. 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).

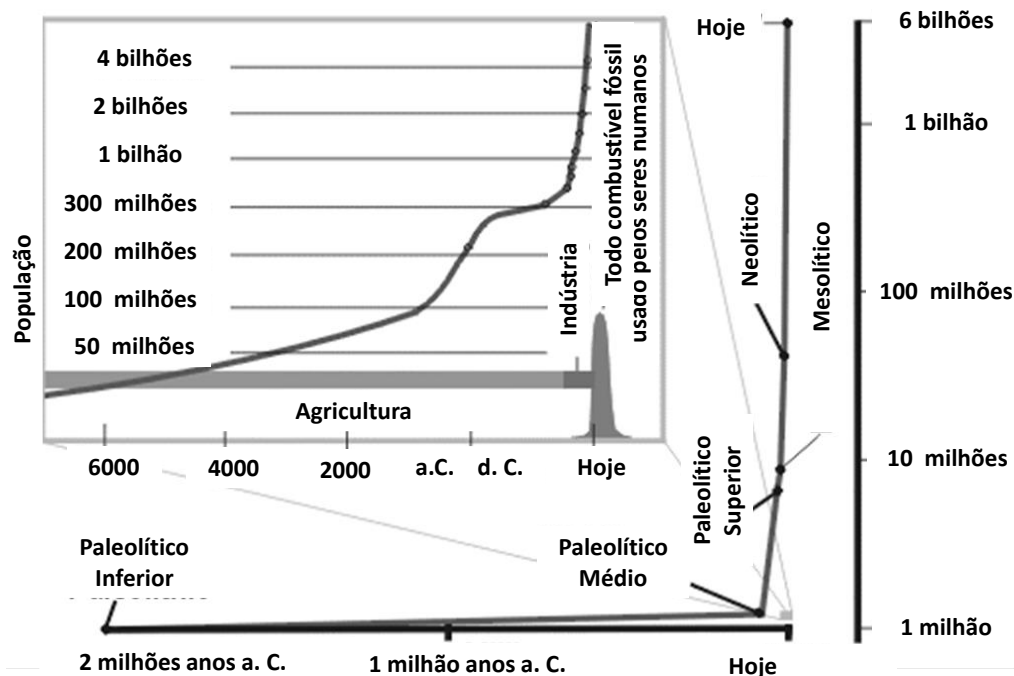


Figura 2 – Consumo de combustíveis fósseis ao longo da história da agricultura. Adaptado de Hall; Cleveland; Kaufmann (1992).

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).

Na composição da matriz energética, o Brasil é um país peculiar em termos de utilização de fontes renováveis de energia. Em 2011, 44,1% de energia consumida foi a partir de fontes renováveis (Figura 3), enquanto a média mundial foi de 13,3% e nos países da OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) foi apenas de 8,0% (EPE, 2012).

A segurança energética é um dos principais desafios deste século. Assim, o aumento da população mundial e do consumo per capita, associados ao problema da mudança do clima, necessitam de ações coordenadas e sustentáveis, em seus aspectos ambientais, sociais e econômicos (MAPA, 2009).

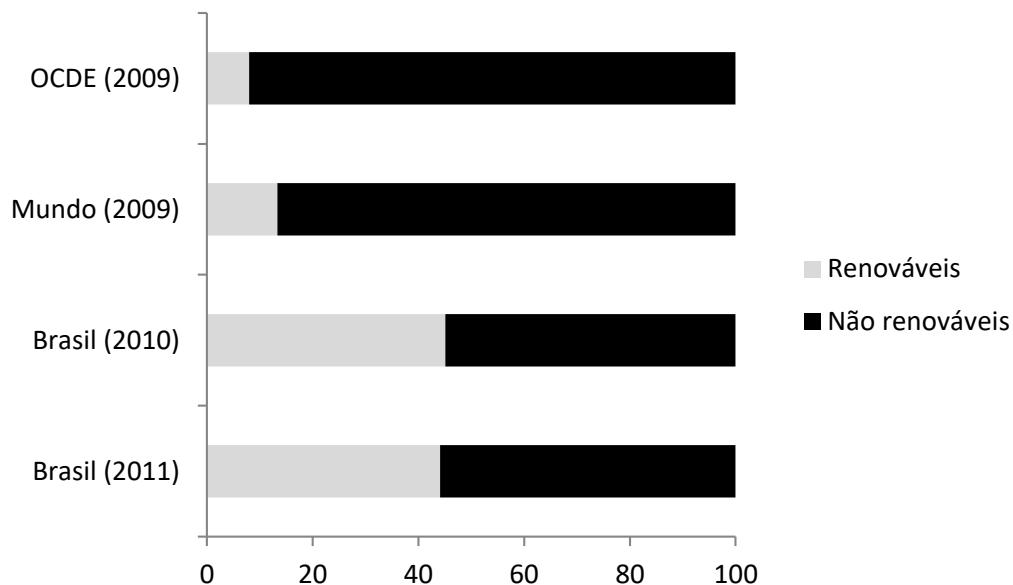


Figura 3 – Comparação do consumo de energia de fontes renováveis (Adaptado de EPE, 2012)

No último século, não houve nenhuma grande revolução tecnológica que possibilitasse o aproveitamento de uma nova fonte de energia. Por isso as fontes não-renováveis tradicionais (principalmente o petróleo), seguem como a base da matriz energética da economia moderna, justificando a preocupação quanto a sustentabilidade do crescimento econômico.

No Brasil, desde 2007, a energia hidráulica perdeu o primeiro lugar na oferta de energia dentre as fontes renováveis de energia (Figura 4), tendo os produtos oriundo da cana-de-açúcar (etanol + cogeração) assumido o papel de principal fonte renovável e segunda maior no geral (petróleo e seus derivados permanecem na liderança). Os produtos da cana-de-açúcar, considerados na matriz energética, são o etanol (anidro e hidratado) e o bagaço, utilizado na cogeração de eletricidade (ROMANELLI, 2009b).

Essa oferta de fontes renováveis de energia faz com que o Brasil conquiste uma posição de destaque e se torne referência mundial, por sua estratégia consolidada em agroenergia.

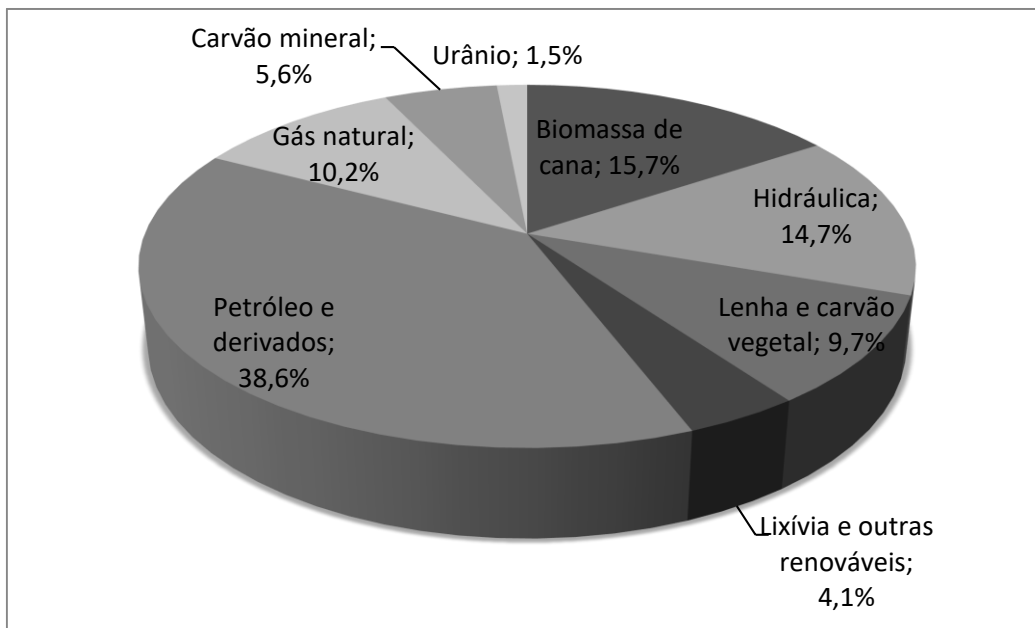


Figura 4 – Matriz energética do Brasil, ano base 2011 (EPE, 2012).

A busca por fontes de biocombustíveis na agricultura tem levantado questões sobre a produção de alimento versus a de energia. Assim, as fontes de biocombustíveis devem apresentar alta eficiência em suprir energia de forma a ocupar menos área e atender a demanda (STOEGLEHNER; NARODOSLAWSKY, 2009; YANG; ZHOU; LIU, 2009). Embora existam estudos abordando aspectos econômicos e ambientais de fontes de biomassa e de bioenergia (RANIUSA et al., 2005; DIAZ-BALTEIRO; RODRIGUEZ, 2006), há informação limitada sobre a abordagem energética e material. Embora existam estudos abordando aspectos econômicos e ambientais de fontes de biomassa e de bioenergia (RANIUSA et al., 2005; DIAZ-BALTEIRO; RODRIGUEZ, 2006), há informação limitada sobre a abordagem energética e material.

Um dos maiores e mais discutidos problemas globais é a queima de combustíveis fósseis, que proporciona o aquecimento da atmosfera da Terra. Se o aumento da industrialização e urbanização liberarem mais aquecimento para a atmosfera, a temperatura do planeta aumentará (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979). Além disso, o esgotamento das reservas mundiais de combustíveis fósseis, como o urânio e outros materiais, traz preocupação, pois é considerado um problema para a sustentação econômica do modelo de produção e consumo atual. O uso de recursos também é um desafio ao paradigma da sustentabilidade ambiental, que é a hipótese de um modelo

social e produtivo que não prejudique as oportunidades de sobrevivência e bem-estar das gerações futuras. Assim, torna-se importante desenvolver e utilizar recursos (materiais e energia) renováveis (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AUBRECHT, G.J. Conservation of Energy, Overview. In: **Encyclopedia of Energy**, Cleveland, C.J. (ed.), New York: Elsevier, p. 673-686, 2004.

BARROS, A.L.M. Desenvolvimento e energia: notas provisórias da apostila da disciplina LES 666 - Desenvolvimento Econômico e Social. Piracicaba: ESALQ, LES, 18 p., 1996.

BEAR, D. M. et al. **The Dawn of Human Matrilineal Diversity**. The American Journal of Human Genetics, Boston, n.82, p.1130–1140, 2008.

BIANCIARDI, C.; ULGIATI, S. Entropy. In: **Encyclopedia of Energy**, Cleveland, C.J. (ed.), New York: Elsevier, p. 459-470, 2004.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. **Handbook of industrial energy analysis**, Chichester: Ellis Horwood Publishers England, 422 p., 1979.

ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. **Termodinâmica** (trad. RODRIGUES, E.; FERREIRA, J.P.). Lisboa: McGraw-Hill, 1009 p., 2001.

DEBEIR, J.C.; DELÉAGE, J.P.; HÉMERY, D. **Uma história da energia**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 447 p., 1993.

DIAZ-BALTEIRO, L., RODRIGUEZ, L.C.E. Optimal rotations on Eucalyptus plantations including carbon sequestration a comparison of results in Brazil and Spain. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam: Elsevier, v. 229, n. 1-3, p. 247-258., 2006.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional. 2012**. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2012.aspx>>. Acessado em: 07 maio 2013.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy and economic myth. **Southern Economic Journal**, Chapel Hill, v. 41, n. 3, p. 347-381, jan. 1975.

GIAMPIETRO, M.; ULGIATI, S. Integrated assessment of large-scale biofuel production. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton: Taylor & Francis, v. 24, p. 365-384, 2005.

GOLDEMBERG, J. Development and Energy, Overview. In: **Encyclopedia of Energy**,

HALL, C.A.S.; CLEVELAND, C.J.; KAUFMANN, R. Energy and resource quality. Colorado: University Press, 577 p., 1992.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente** (trad. VICHI, F.M.; MELLO, L.F.). São Paulo: Cengage Learning, 3ª ed., 708 p., 2009.

IGUE, K. Energia e agricultura. In: IAPAR. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina: IAPAR, v. 3, cap. 9, p. 217-228, 1980.

KLEIN, H.S. A demografia do tráfico atlântico de escravos para o Brasil. **Estudos Econômicos**, v. 17, n. 2, p. 129-149, 1987.

LETCHER, T.M.; WILLIAMSON, A. Forms and Measurement of Energy. In: **Encyclopedia of Energy**, Cleveland, C.J. (ed.), New York: Elsevier, p. 739-748, 2004.

MACEDÔNIO, A.C.; PICCHIONI, S.A. Metodologia para cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, Depto. de Economia Rural, 95 p., 1985.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 368 p., 2002.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário estatístico da agroenergia. 2009. Brasília: MAPA, 160 p., 2009.

MARCOLIN, N. Era quase aguardente. 2008. Disponível em: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3468&bd=1&pg=1&lg>. Acesso em: 05 agosto 2011.

MOZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: UNESP, 2010. 568p.

RANIUSA, T.; EKVALLB, H.; JONSSONA, M.; BOSTDEBT, G. Cost-efficiency of measures to increase the amount of coarse woody debris in managed Norway spruce forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam: Elsevier, v. 206, p. 119-133, 2005.

ROMANELLI, T.L. **Consumo de óleo diesel na agricultura**: operações de preparo de solo, plantio e colheita. Piracicaba: Autor, v. 1, 81 p., 2008.

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, 2009a.

ROMANELLI, T.L. Sustentabilidade energética da cana-de-açúcar In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Autores, 2ª ed., v. 1, p. 304-312, 2009b.

SCHNEIDER, E.D.; KAY, J.J. Life as a manifestation of the second law of thermodynamics. **Mathematical and Computer Modelling**, Oxford: Pergamon Press, v. 19, n. 6-8, p. 25-48, 1994.

STOEGLEHNER, G.; NARODOSLAWSKY, M. How sustainable are biofuels? Answers and further questions arising from an ecological footprint perspective. **Bioresource Technology**, Essex: Elsevier, v. 100, n. 16, p. 3825-3830, ago. 2009.

ULGIATI, S.; BIANCIARDI, C. Laws of Thermodynamics In: **Encyclopedia of Energy**, Cleveland, C.J. (ed.), New York: Elsevier, p. 107-123, 2004.

YANG, H.; ZHOU, Y.; LIU, J. Land and water requirements of biofuel and implications for food supply and the environment in China. **Energy Policy: the political, economics, planning and social aspects of energy**, Surrey: Butterworth Scientific, v. 37, n. 5, p. 1876-1885, 2009.