SÉRIE SUSTENTABILIDADE

JOSÉ GOLDEMBERG
COORDENADOR

4

Energia e Desenvolvimento Sustentável

JOSÉ GOLDEMBERG

Blucher

SÉRIE SUSTENTABILIDADE

Energia e Desenvolvimento Sustentável

Blucher

SÉRIE SUSTENTABILIDADE

JOSÉ GOLDEMBERG
Coordenador

Energia e Desenvolvimento Sustentável

VOLUME 4

JOSÉ GOLDEMBERG

Energia e Desenvolvimento Sustentável
© 2010 José Goldemberg
1ª reimpressão – 2012
Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil
Tel 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Goldemberg, José
Energia e desenvolvimento sustentável / José Goldemberg. – São Paulo: Blucher, 2010. – (Série sustentabilidade; v. 4 / José Goldemberg, coordenador)

ISBN 978-85-212-0570-8

1. Conservação de energia 2. Desenvolvimento sustentável 3. Impacto ambiental – Estudos 4. Meio ambiente 5. Recursos energéticos I. Título. II. Série.

10-12186 CDD-333.79

Índices para catálogo sistemático:
1. Energia e desenvolvimento sustentável: Economia 333.79

Apresentação

Prof. José Goldemberg
Coordenador

O conceito de desenvolvimento sustentável formulado pela Comissão Brundtland tem origem na década de 1970, no século passado, que se caracterizou por um grande pessimismo sobre o futuro da civilização como a conhecemos. Nessa época, o Clube de Roma – principalmente por meio do livro *The limits to growth* [*Os limites do crescimento*] – analisou as consequências do rápido crescimento da população mundial sobre os recursos naturais finitos, como havia sido feito em 1798, por Thomas Malthus, em relação à produção de alimentos. O argumento é o de que a população mundial, a industrialização, a poluição e o esgotamento dos recursos naturais aumentavam exponencialmente, enquanto a disponibilidade dos recursos aumentaria linearmente. As previsões do Clube de Roma pareciam ser confirmadas com a "crise do petróleo de 1973", em que o custo do produto aumentou cinco vezes, lançando o mundo em uma enorme crise financeira. Só mudanças drásticas no estilo de vida da população permitiriam evitar um colapso da civilização, segundo essas previsões.

A reação a essa visão pessimista veio da Organização das Nações Unidas que, em 1983, criou uma Comissão presidida pela Primeira Ministra da Noruega, Gro Brundtland, para analisar o problema. A solução proposta por essa Comissão em seu relatório final, datado de 1987, foi a de recomendar um padrão de uso de recursos naturais que atendesse às atuais necessidades da humanidade, preservando o meio ambien-

te, de modo que as futuras gerações poderiam também atender suas necessidades. Essa é uma visão mais otimista que a visão do Clube de Roma e foi entusiasticamente recebida.

Como consequência, a Convenção do Clima, a Convenção da Biodiversidade e a Agenda 21 foram adotadas no Rio de Janeiro, em 1992, com recomendações abrangentes sobre o novo tipo de desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, em particular, teve uma enorme influência no mundo em todas as áreas, reforçando o movimento ambientalista.

Nesse panorama histórico e em ressonância com o momento que atravessamos, a Editora Blucher, em 2009, convidou pesquisadores nacionais para preparar análises do impacto do conceito de desenvolvimento sustentável no Brasil, e idealizou a *Série Sustentabilidade*, assim distribuída:

1. População e Ambiente: desafios à sustentabilidade
   Daniel Joseph Hogan/Eduardo Marandola Jr./Ricardo Ojima
2. Segurança e Alimento
   Bernadette D. G. M. Franco/Silvia M. Franciscato Cozzolino
3. Espécies e Ecossistemas
   Fábio Olmos
4. Energia e Desenvolvimento Sustent M.
   José Goldemberg
5. O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil
   Vahan Agopyan/Vanderley ~~Moacyr~~ John
6. Metrópoles e o Desafio Urbano Frente ao Meio Ambiente
   Marcelo de Andrade Roméro/Gilda Collet Bruna
7. Sustentabilidade dos Oceanos
   Sônia Maria Flores Gianesella/Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa
8. Espaço
   José Carlos Neves Epiphanio/Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo/Luiz Augusto Toledo Machado
9. Antártica e as Mudanças Globais: um desafio para a humanidade
   Jefferson Cardia Simões/Carlos Alberto Eiras Garcia/Heitor Evangelista/Lúcia de Siqueira Campos/Maurício Magalhães Mata/Ulisses Franz Bremer
10. Energia Nuclear e Sustentabilidade
    Leonam dos Santos Guimarães/João Roberto Loureiro de Mattos

O objetivo da *Série Sustentabilidade* é analisar o que está sendo feito para evitar um crescimento populacional sem controle e uma industrialização predatória, em que a ênfase seja apenas o crescimento econômico, bem como o que pode ser feito para reduzir a poluição e os impactos ambientais em geral, aumentar a produção de alimentos sem destruir as florestas e evitar a exaustão dos recursos naturais por meio do uso de fontes de energia de outros produtos renováveis.

Este é um dos volumes da *Série Sustentabilidade*, resultado de esforços de uma equipe de renomados pesquisadores professores.

Referências bibliográficas

MATTHEWS, Donella H. et al. *The limits to growth*. New York: Universe Books, 1972.

WCED. *Our common future*. Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press, 1987.

Prefácio

Prof. José Goldemberg

Energia é um ingrediente essencial para a vida humana e se origina nos alimentos que ingerimos. A quantidade de energia necessária para tal fim é pequena – cerca de 2.000 quilocalorias por dia – que é aproximadamente a energia contida num copo de petróleo. A civilização moderna com todas as máquinas que foram criadas pelo homem aumentou por 100 esta quantidade.

Qual é a origem da energia usada pelo homem? A energia proveniente do Sol que atinge a Terra é 5.000 vezes maior que a soma das outras (energia gravitacional, geotérmica e nuclear) e vai continuar a sê-lo durante muito tempo: ela é permanente e renovável – enquanto o Sol brilhar – e não é poluente. É dela que surgiram as florestas e a biomassa em geral através da fotossíntese que eventualmente deu origem há centenas de milhões de anos atrás aos combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás natural. O seu uso é a causa da poluição e dos problemas ambientais que enfrentamos.

Apesar disto estas fontes de energia se mostraram muito práticas de serem usadas pelo homem. A densidade de energia contida nelas é muito grande: cerca de 10.000 quilocalorias por quilo. Em contraste, a energia solar é de baixa densidade: em cada metro quadrado na região do Equador, é possível coletar menos de 1.000 quilocalorias, por dia.

Por essa razão, apesar de ser tão atraente, a energia solar e todas as outras que derivam diretamente dela como ventos, calor, eletricidade e biomassa têm dificuldades em competir com as energias fósseis apesar dos problemas que elas geram. Energias renováveis representam hoje cerca de 10% do consumo mundial de energia.

Desenvolvimentos tecnológicos vão resolver este problema: espera-se que até meados do nosso século, energias renováveis passem a representar 50% de toda a energia consumida.

Discutiremos aqui os argumentos que justificam estas esperanças.

Conteúdo

1 O que é energia? 13

2 Energia e atividades humanas, 17

3 As fontes inesgotáveis de energia, 21

3.1 Energia solar, 22

3.2 Energia geotérmica, 24

3.3 Energia das marés, 24

4 Consumo atual de energia e tendências, 27

5 Os problemas do atual sistema energético, 33

5.1 Exaustão das reservas, 33

5.2 Segurança de abastecimento, 36

5.3 Impactos ambientais, 37

5.3.1 Poluição local, 39

5.3.2 Poluição regional, 41

5.3.3 Poluição global, 42

6 O caminho para um desenvolvimento sustentável, 47
6.1 O aumento da eficiência energética, 47
6.2 Energias renováveis, 51
6.3 As novas tecnologias, 53
6.4 Energia nuclear, 55

7 Energia para um desenvolvimento sustentável, 61

8 Conclusão, 65

Apêndice I
Biomassa, 67
Energia solar fotovoltaica, 72
Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), 75
Energia solar térmica, 76
Energia eólica, 80

Apêndice II
O programa de etanol no Brasil, 83

Apêndice III
Unidades de trabalho, energia e potência, 91

Referências bibliográficas, 93

1 O que é energia?

Energia (do grego *enérgeia*, atividade) é usualmente definida como a capacidade de realizar trabalho mecânico, deslocando, por exemplo, um objeto de uma posição para outra por meio da aplicação de uma força. Para os seres humanos, que vivem num planeta que atrai todos os corpos para o centro da Terra em virtude da força gravitacional, a energia é fundamental para nos movimentarmos. A própria ideia de movimento e, portanto, de energia é ligada intimamente ao que se entende como seres vivos.

Uma definição mais geral de energia é: **capacidade de produzir transformações num sistema**. Essa capacidade pode envolver transformações mecânicas ou transformações físicas, químicas e biológicas. A expansão de um gás (e sua capacidade de produzir trabalho), uma queda-d'água, a combustão de um hidrocarboneto como o petróleo, a geração de biogás na decomposição de matéria, o uso de uma corrente elétrica para fazer girar um motor são exemplos dessas transformações.

A energia pode se manifestar de diversas formas, entre as quais podemos mencionar:

- Energia de radiação.
- Energia química.
- Energia nuclear.

- Energia térmica.
- Energia mecânica.
- Energia elétrica.
- Energia magnética.
- Energia elástica.

Todas essas formas de energia podem ser convertidas umas nas outras, e uma característica fundamental da energia é que ela é conservada nessas transformações, o que elimina a possibilidade de se construir um moto-contínuo, isto é, um equipamento que se mova indefinidamente sem que exista uma fonte de energia contínua para manter esse movimento. Ao longo dos séculos, inúmeras tentativas de construir um moto-contínuo fracassaram. Daí se originou o Princípio de Conservação de Energia ou Primeira Lei da Termodinâmica[1].

Como os diferentes campos da ciência se desenvolvem, até certo ponto, independentemente, as unidades de medida de energia são diferentes para energia mecânica, calor e eletricidade, mas existem fatores de conversão que permitem passar de uma delas para as outras:

- A energia mecânica é medida em joules.

  Joule é um trabalho realizado por uma força de 1 newton ao produzir um deslocamento de 1 metro (a força gravitacional que atua sobre 1 quilo é 9,8 newton).

- A energia térmica é medida em calorias.

  Caloria é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama de água em um grau centígrado (de 13,5 a 14,5 ºC).

  Experimentalmente, demonstrou-se que:

  1 caloria = 4,1855 joules

É muito conveniente definir, além de energia, outra grandeza que expressa a quantidade de energia produzida (ou dissipada, ou acumulada) por unidade de tempo. Essa grandeza é a Potência, definida como:

[1] O Princípio de Conservação de Energia, bem como outras leis de conservação, como do movimento angular, originam-se nos princípios de simetria do universo. Por exemplo, a Lei da Conservação do Movimento Angular decorre do fato que um dado sistema se comportar da mesma maneira, independentemente de como se orienta no espaço (simetria rotacional). A lei da conservação de energia decorre do fato de que os fenômenos físicos não distinguem momentos diferentes de tempo (simetria translacional).

O movimento perpétuo

Um *perpetum móbile* ("movimento perpétuo") é uma máquina que, uma vez posta em movimento, não para nunca (como um pêndulo ou um relógio) ou que produz trabalho externo sem retirar essa energia de qualquer fonte, ou seja, uma máquina que, em cada ciclo completo de sua operação, produz mais energia do que absorve.

A conservação de energia mecânica é uma decorrência das leis da mecânica. Antes de a conservação de energia ser descoberta por Newton, houve inúmeras tentativas frustradas de construir máquinas que produzissem trabalho sem a necessidade de uma fonte externa de energia. A Academia de Ciências de Paris, até meados do século XVIII, oferecia um prêmio a quem conseguisse fazer um moto-contínuo.

O interesse nessas máquinas não tinha nada de acadêmico no passado. Por volta do ano 400 d.C., moinhos e serrarias movidas por rodas acionadas por água corrente eram comuns na França e em outros países da Europa Ocidental. Na época da conquista normanda (século XII), havia 5.600 desses aparelhos operando em 3 mil comunidades inglesas. Como essas máquinas economizavam esforço humano, os habitantes das vilas que viviam longe dos rios tentaram inventar máquinas que não dependessem de água corrente.

$$P = \frac{Energia}{Tempo} \text{ (medida em watts)}$$

- A unidade de potência é o watt, que é a produção de 1 joule por segundo.

  A unidade elétrica de potência também é o watt (potência dissipada numa resistência em que a queda de voltagem é 1 volt quando a corrente é 1 ampère).

- A energia elétrica é medida em kilowatts-hora (kWh).

  O quilowatt-hora (kWh) é uma unidade de trabalho
  1 quilowatt-hora
  $= 1.000 \text{ watts} \times 3.600 \text{ segundos}$
  $= 3{,}6 \times 10^6 \text{ joules}$
  $= 0{,}86 \times 10^6 \text{ calorias} = 860 \text{ kcal}$

- A energia química é liberada na combustão, que é uma reação de "oxidação" em que oxigênio se combina com carbono

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 94{,}03 \text{ kcal}$$

A combustão de cada grama de carbono libera 7,8 kcal

1kg de petróleo = 10.000 kcal
1kg de proteína = 5.700 kcal
1kg de glicose = 4.100 kcal

A energia dos alimentos

Todos os alimentos contêm carbono e a maioria deles também hidrogênio.

Quando ingerimos carboidratos e os queimamos em nosso corpos, eles são convertidos em dióxido de carbono e água, liberando, dessa forma, energia, cuja fonte é a oxidação do carbono e do hidrogênio.

Lipídios, proteínas e glicose compõem a maior parte dos alimentos que comemos. Como são necessárias aproximadamente 2 mil kcal/dia para manter o ser humano adulto vivo, a quantidade aproximada de alimento necessário é de algumas centenas de gramas por dia.