

Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras

Leonel Marques Farias¹

Miguel Afonso Sellitto²

Resumo

A energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou de transferir calor. Nas sociedades humanas, a energia teve origem na forma endossomática, ou seja, aquela que chega através de cadeias ecológicas. A fonte primária da energia dessas cadeias é o sol, ao iluminar, aquecer, transferir energia para as águas, formando nuvens e chuvas, e fornecer energia aos vegetais, através da fotossíntese. O objetivo deste artigo é apresentar uma breve revisão das formas de uso da energia pelo homem ao longo dos séculos, a partir da utilização direta das formas disponíveis na natureza para satisfação de suas necessidades, passando pela criação de dispositivos mecânicos capazes de converter e multiplicar estas forças em energia útil e apresentar algumas alternativas futuras de suprimento das demandas nas áreas de energia elétrica e transportes.

Palavras-chave: Energia. Fontes de energia. História da energia.

Abstract

Energy can be defined as the capacity to do work or transfer heat. In human societies, the energy originated in endossomatic form, ie, that which comes through ecological chains. The primary source of energy of those chains is the sun, that lights, heats, transfers energy to the water forming clouds and rains and provides energy to plants through photosynthesis. The aim of this paper is to present a brief review of the forms of energy use by man over the centuries, from the direct use of the forms found in nature to satisfy their needs, through the creation of mechanical devices able to convert and to multiply these strength in useful energy and to present some future alternatives of supply of the demands in the areas of electric power and transportation.

Keywords: Energy. Energy sources. History of energy.

1 Introdução

As necessidades energéticas do homem estão em constante evolução. Para satisfazer suas primeiras necessidades, que eram basicamente a alimentação, uma fonte de iluminação noturna e aquecimento, o homem apropriou-se do uso do fogo e desenvolveu a agricultura e a pecuária,

armazenando energia excedente nos animais e alimentos (FONSECA, 1972; HÉMERY; BEBIER; DELÉAGE, 1993). A partir de então, cada vez mais, pode dedicar-se a outras atividades para potencializar seu trabalho (TESSMER, 2002).

A diversificação do trabalho, visando à otimização das tarefas e ao aumento do nível de conforto demandou novas formas de utilização de

¹ Engenheiro em Energia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS. E-mail: leonel_mf@hotmail.com

² Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professor na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS. E-mail: miguel-sellitto@uergs.edu.br
Artigo recebido em 25/02/2011 e aceito em 25/4/11.

energia, que foram sendo descobertas e aprimoradas, através do desenvolvimento da matemática, da geometria e da engenharia, que proporcionaram a criação de dispositivos mecânicos complexos, empregados para o aproveitamento da energia contida nos ventos e no vapor (PIERRE, 2011). Segundo Amaral (2010), ainda na era do vapor surge o carvão mineral empregado na combustão direta para sua produção, sendo considerado o primeiro combustível fóssil usado em larga escala e o início de uma nova era, caracterizada pela revolução industrial, o surgimento do automóvel e a exploração do petróleo.

Juntamente com o petróleo, o domínio do fenômeno da eletricidade ampliou o número de usos finais de energia. A energia elétrica é uma forma de energia secundária, obtida a partir de diferentes fontes de energia primárias, capaz de entregar aos usuários finais energia através de extensas redes de distribuição. Ao longo das últimas décadas, a matriz energética de produção de energia elétrica tem-se diversificado de forma intensiva, como resposta ao aumento dos níveis de consumo (WALTER, 2010). Fatores como a disponibilidade de recursos, interesses comerciais, domínio de tecnologias e a preservação do meio ambiente levaram os países a diferentes escolhas para a composição de suas matrizes.

Este artigo tem por objetivo a apresentação das diversas formas de uso da energia pelo homem ao longo dos séculos, através de uma revisão histórica das fontes e processos de conversão utilizados. Também identifica alternativas disponíveis e promissoras para o suprimento nas áreas de energia elétrica e transportes. A técnica utilizada foi a pesquisa bibliográfica. O artigo está organizado da seguinte forma: as seções 2, 3 e 4 abordam o uso da energia em diferentes períodos: da pré-história à idade antiga, da antiguidade à idade média e da idade moderna à contemporânea, respectivamente. A seção 5 aborda as alternativas para o futuro: energia nuclear, eólica, biomassa e biocombustíveis. São apresentadas as tecnologias atuais e em estudo, vantagens e desvantagens de cada opção. A seção 6 contém as considerações finais.

2 Uso da energia desde a pré-história à idade antiga

Segundo Hémery; Bebie e Deléage (1993), a cerca de 30.000 A.C., no período paleolítico superior (antiga idade da pedra superior),

o homem de Cro-Magnon era o principal conversor energético. Por possuir hábitos diurnos por natureza, desde os primórdios houve uma preocupação com a obtenção de uma forma de luz artificial – um uso final da energia, muito importante até hoje - e foi no domínio da produção do fogo nesse período, com o uso de um ramo de vegetal resinoso, que o homem deu seu primeiro passo para alcançar esse objetivo. A partir de então, o homem pode aquecer-se e realizar mais atividades no período após o pôr do sol (FONSECA, 1972). Por viver em grupos nômades, desenvolvendo apenas atividades de caça e coleta de alimentos, o homem desse período tinha um consumo energético baixo – 2000 a 3000 kcal por dia (contra cerca de 250.000kcal por dia do homem moderno), sendo capaz de transformar em energia mecânica útil apenas 20% (500-600 kcal) (GUIMARÃES; KUWABARA, 2011). Ainda assim, o rendimento do ser humano é o mais elevado do reino animal; como exemplo, o cavalo não ultrapassa 10% e os bovinos tem rendimento ainda menor (RIPPEL; RIPPEL; LIMA, 2003).

O desaparecimento das fontes alimentares e mudanças climáticas no sul da Europa provocaram a migração do homem de Cro-Magnon para o norte, dando início a revolução Neolítica. Esse período foi caracterizado pelo maior controle do meio ambiente, progresso técnico e crescimento demográfico. Além do conversor de energia humana, o homem apropriou-se da energia dos chamados conversores biológicos (alimentos e animais) com o desenvolvimento da agricultura e da pecuária, primeiras formas de armazenamento da energia excedente (HÉMERY; BEBIER; DELÉAGE, 1993). Para isso, o Homo Sapiens (10.000 A.C. a 5000 A.C.) desenvolveu a técnica de polimento da pedra e dedicou-se a outras atividades como a olaria, o artesanato e a cerâmica que potencializaram seu trabalho (TESSMER, 2002).

O aparecimento de grandes civilizações no mundo antigo (cerca de 4000 A.C.) representou um grande marco no aproveitamento energético. Esses povos apropriaram-se de solos férteis no oeste e sudoeste da Ásia e em vales aluviais como o Indu, Tigre, Eufrates e Nilo e utilizaram a energia dos conversores vegetais, ao desenvolver a técnica da cultura irrigada de cereais, sendo capazes de armazenar quantias, cada vez maiores, de energia na forma de alimentos. A civilização egípcia construiu bacias de retenção para estender as

terras inundáveis, a mesopotâmica desenvolveu carros de combate, carroças agrícolas, diques e canais para a navegação. Destaca-se, também, o uso de um grande número de escravos como força motriz nas sociedades egípcia e romana. Outro exemplo do avanço do uso da energia na antiguidade é a utilização do vento como conversor energético, através da navegação com barcos à vela no antigo império (HÉMERY; BEBIER; DELÉAGE, 1993).

3 Formas energéticas na antiguidade e idade média: o uso do vapor, da energia mecânica e da força dos ventos

Grandes transformações no uso da energia aconteceram com as primeiras descobertas de cientistas a partir da Idade Média. O desenvolvimento de áreas como a matemática, a geometria e a engenharia catalisaram o domínio e a transformação das formas de energia disponíveis na natureza. A obra de Arquimedes (287-212 A.C.) sintetiza os avanços desse período: o cientista criou alavancas e mecanismos para movimentar objetos muito pesados, além de ter descoberto o princípio da hidrostática. O uso de artefatos mecânicos tornaria possível a multiplicação da força extraída de todas as formas de energia conhecidas pelo homem (PIERRE, 2011).

Segundo Tercio (2002), o vento, uma forma de energia amplamente disponível na natureza, é considerado uma forma indireta de energia solar, resultante da movimentação do ar quente que sobe no equador e se desloca para as regiões polares, num movimento regular, em outras palavras, os ventos são efeitos permanentes da dinâmica do planeta. Embora o aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica seja recente, a chamada energia eólica já era aproveitada a pelo menos 3000 A.C.

Os ventos tiveram sua primeira utilização na navegação pelos egípcios, fenícios e romanos entre outros povos. Os egípcios utilizavam velas como auxílio para embarcações a remo, enquanto os fenícios já possuíam embarcações totalmente movidas à vela a 1000 A.C. Na Antiguidade, tanto na China como na Pérsia, de onde consta os registros mais antigos de máquinas desenvolvidas para o aproveitamento do vento com outros propósitos em 644 A.C. Nessas sociedades foram empregados moinhos de vento, objetivando a moagem de grãos e a irrigação, através do bombeamento de água (DUTRA, 2001). Essas

máquinas foram levadas à Europa no século XIII pelos que retornavam das cruzadas, onde tiveram a gama de aplicações ampliada. Foram empregadas nas indústrias têxteis, madeira e metalúrgica. Os holandeses em 1350 D.C. aprimoraram a eficiência do moinho ao colocar seu eixo de rotação na forma horizontal e com quatro pás, assim utilizaram o moinho para a árdua tarefa de drenagem de pântanos e lagos, além da fabricação de papel e extração de azeites (DUTRA, 2001).

A multiplicação da força disponível ao homem para a realização de trabalho já experimentada na utilização dos ventos aumentaria drasticamente com o aproveitamento do vapor, porém esse objetivo requeria a construção de máquinas mecânicas de grande complexidade na idade média e foi possível somente com a colaboração de muitos cientistas ao longo do século XIII. A história das primeiras máquinas a vapor teve início com o problema de alagamento das minas de carvão e ferro na Inglaterra que possuíam grandes rodas de água para içar baldes d'água, trabalho que equivalia a 500 cavalos. Denis Papin iniciou experiências com bombas a vapor, e Thomas Severy construiu a primeira máquina a vapor aproveitável em 1698, porém foi o modelo proposto por Thomas Newcomen, onde o cilindro foi separado da caldeira, que solucionou o problema das minas. Esse modelo ficou em operação por 75 anos. Ao se tornar inoperante diante da profundidade excessiva das minas, o talentoso James Watt foi capaz de aumentar drasticamente a eficiência da máquina. Com um alto aprimoramento mecânico no forjamento de cilindros retilíneos, a máquina a vapor de Watt de 20 CV foi posta em operação nas minas de carvão. A transformação do movimento alternado e linear do êmbolo da máquina em movimento giratório permitiu a criação de uma fonte universal de energia que passou a acionar navios, locomotivas, serrarias, cerâmicas, drenagens e outros tipos de atividades. Uma geração após Watt, o domínio do vapor conduzia a Inglaterra ao posto de primeira nação industrial do mundo (AMARAL, 2010).

4 Idade moderna e contemporânea: os combustíveis fósseis (carvão e petróleo) e a eletricidade

Amaral (2010) destaca que, com o início

da Revolução Industrial, se iniciou a era dos combustíveis de origem fóssil. O carvão mineral foi o primeiro desses combustíveis utilizado em grande escala, ao substituir a lenha e ser usado na combustão direta para a produção de vapor nas máquinas de Watt. Formado por troncos, raízes, galhos e folhas de árvores gigantes que cresceram há mais de 250 milhões de anos em pântanos rasos, essas partes vegetais, após morrerem, depositaram-se no fundo lodoso e ficaram encobertas. As condições de pressão da terra e o tempo transformaram o material acumulado em uma massa negra homogênea, as jazidas de carvão. Até 1961, o carvão era a principal fonte primária de energia no mundo, quando foi ultrapassado pelo petróleo. O ano de 1859 é considerado o marco zero da industrialização do petróleo, quando Edwin Drake descobriu petróleo a uma profundidade de 21 metros em Tutsville, nos EUA. Até então, o petróleo aproveitado era o que aflorava na superfície, o que era possível devido a sua característica de constante movimentação no subsolo, no caso de não encontrar formações rochosas. O petróleo é outro combustível fóssil, de provável origem de restos de vida aquática animal acumulados no fundo de oceanos primitivos e cobertos por sedimentos. A explosão do mercado automotivo com o surgimento do modelo Ford-T em 1908 fez com que, já em 1911, a venda de gasolina ultrapassasse a de querosene. O surgimento da indústria petroquímica em 1930 deu origem a vários outros subprodutos para produção de equipamentos, objetos, produtos, entre outros, tendo a gasolina como principal produto. Nas refinarias, são produzidos os seguintes derivados: gás liquefeito, gasolinas, naftas, óleo diesel, querosenes, óleos combustíveis, asfaltos, lubrificantes, solventes, parafinas, coque de petróleo e resíduos (AMARAL, 2010).

A polêmica causada pela previsão de ultrapassagem do pico de produção previsto por Hubbert, e as crises do petróleo em 1973 e 1978 desencadearam a reconsideração da política internacional em relação a esse produto; uma nova agenda foi aberta pelos países para discussão sobre fontes alternativas de energia. Conflitos no Oriente Médio, detentor das maiores reservas da fonte, intensificaram-se, assim como os impactos ambientais, causados pela exploração intensa, promovida pelas nações dependentes. As atividades de exploração podem contaminar o meio ambiente com gases tóxicos, vazamento

de solventes orgânicos, emissão de calor e afetar a fauna e a flora dos ecossistemas, ocasionando alguns dos maiores desastres ambientais já causados pela ação do homem.

A primeira aplicação da eletricidade se deu no campo das comunicações, com o telégrafo e o telefone elétricos. Em 1882, Thomas Edison construiu as primeiras usinas geradoras em corrente contínua, para o atendimento de sistemas de iluminação. Em 1886, foi feita a primeira transmissão de energia elétrica em corrente alternada por George Westinghouse; o uso da corrente alternada e dos sistemas polifásicos desenvolvidos por Nikola Tesla, em conjunto com o transformador eficiente de Willian Stanley, proporcionaram a transmissão a grandes distâncias e o uso doméstico da energia elétrica. Sua facilidade de transporte e de conversão direta, em qualquer outro tipo de energia, conferiram a energia elétrica o posto de principal insumo da presente era. Sua importância pode ser comprovada pelo fato dos países mais industrializados duplicarem seu consumo de energia elétrica a cada dez anos. Atualmente, a produção de eletricidade é responsável por aproximadamente um terço do consumo de energia primária mundial (WALTER, 2010).

5 O futuro: energia nuclear, alternativas eólicas, biomassas, biocombustíveis

A energia nuclear é conhecida desde a década de 40 e figura como fonte primária da matriz energética mundial desde os anos 60. O rápido crescimento dos investimentos na construção dessas usinas em todo o mundo na década de 70 foi abalado pelos acidentes de Three Mile Island e Chernobyl. Desde então, novos investimentos foram praticamente paralisados pelos países e essa forma de aproveitamento energético tem sido alvo de oposição dos ambientalistas (ANEEL, 2009a). O recente acidente nuclear na usina de Fukushima no Japão reativou a discussão da comunidade internacional sobre a segurança das usinas nucleares em operação e em fase de construção.

Apesar de ocupar a penúltima posição entre as principais fontes de geração de energia elétrica no mundo, em 2006, de acordo com a *International Energy Agency* (IEA), representou 14,8% da produção total. No ranking global das fontes primárias de energia, possui 6,2% de participação (727,94 Mtep - Milhões de

toneladas equivalentes de petróleo). As reservas do minério de urânio encontrado em estado natural nas rochas da crosta terrestre totalizam 4,6 milhões de toneladas em 14 países, entre eles o Brasil na 7ª posição com 278,7 mil toneladas em reservas conhecidas. O minério possui venda controlada pelos governos nacionais e pela IEA. A parcela proveniente das jazidas correspondeu a apenas 54% da energia nuclear produzida no mundo, o restante é proveniente de fontes secundárias como o reprocessamento do urânio já utilizado. De acordo com a IEA, os três maiores consumidores são os Estados Unidos (104 reatores), a França (59 reatores) e o Japão (55 reatores) (ANEEL, 2009a).

A energia nuclear é utilizada através do processo de fissão nuclear, onde há a divisão do núcleo de um átomo pesado como o urânio-235, em dois menores, quando atingido por um nêutron. Há o desencadeamento de uma reação em cadeia, na medida em que dois a três nêutrons são resultantes da absorção do nêutron que causou a fissão e irão fissionar outros núcleos de urânio-235, até consumir todo o material físsil. Nos reatores nucleares a reação em cadeia é controlada através do emprego do cádmio em barras metálicas que absorvem nêutrons naturalmente, formando isótopos. As chamadas barras de controle de cádmio movimentam-se para dentro e fora dos tubos guias da estrutura do elemento combustível, onde estão as varetas de combustível, montadas em feixes, de forma a controlar a capacidade de geração térmica do reator.

Na central térmica nuclear de reator, a água pressurizada (*Pressurized Water Reactor - PWR*) é o tipo mais utilizado atualmente, inclusive nas usinas de Angra I e II. É composta basicamente por um vaso de contenção que abriga o circuito primário, pressurizador, gerador de vapor e o vaso de pressão que, por sua vez, abriga o núcleo do reator. Fora do vaso de contenção encontram-se a turbina, o gerador elétrico e o circuito secundário com o condensador e bombas de refrigeração. No circuito primário, circula a água que tem contato direto com o núcleo do reator em um circuito fechado. Essa água aquece a corrente de água do circuito secundário que passa pelo gerador de vapor e turbina que aciona o gerador elétrico. Na sequência, é condensada e bombeada novamente para o gerador de vapor. Os dois sistemas de refrigeração são independentes, o que confere segurança ao

sistema. No caso de vazamento do combustível das varetas, o material não tem contato com o circuito secundário, diferentemente do reator de Chernobyl, onde a água que circulava dentro do núcleo do reator era a mesma que acionava a turbina (CNEN, 2010). Nos reatores de água fervente (*Boiling Water Reactor – BWR*), como os existentes na usina de Fukushima, a água ferve no núcleo do reator e o vapor passa diretamente para os turbo-geradores. Nos reatores BWR, existe um circuito único, sem geradores de vapor, o que constitui uma desvantagem em relação aos do tipo PWR que, no caso de falta de alimentação elétrica da usina, ainda contariam como um grande volume de água dos circuitos independentes e dos geradores de vapor, permitindo o resfriamento do reator de forma natural até o restabelecimento da energia, sem a necessidade de utilizar bombas de refrigeração acionadas por energia elétrica.

Atualmente, a maioria das usinas utiliza o ciclo do combustível nuclear aberto (*once-through fuel cycle*). Um cenário futuro, onde haja aumento no preço do urânio, deve levar a adoção do ciclo do combustível fechado (*recycling*), onde é possível recuperar o urânio e o plutônio, que dará origem a um novo combustível de óxido misto dos dois elementos. Esse ciclo também apresenta a vantagem de dificultar a produção de armas nucleares sem a produção dos elementos de forma separada (SILVA, 2007).

Embora seja considerada uma fonte limpa, a energia nuclear é classificada como não renovável. Caracteriza-se pela emissão de baixos volumes de gás carbônico (CO₂) e demais gases contribuintes para o efeito estufa. De longe, o maior problema continua sendo os rejeitos radioativos gerados pelas usinas. Impactos socioambientais são provocados ao longo de toda a cadeia produtiva do urânio, permeada pela radioatividade. Basicamente, os dejetos são classificados de baixa, média e alta atividade. Enquanto para os dois primeiros há o processamento e a estocagem, os de alta atividade (combustível nuclear) são provisoriamente estocados em piscinas de resfriamento, cheias de água. Na sequência, parte deles é misturada a outros materiais e solidificada na forma de barras de vidro para facilitar o transporte e a estocagem (ANEEL, 2009a).

Um fator que contribui para a diminuição dos investimentos em energia nuclear é o alto custo de instalação e manutenção das

instalações, que requerem tecnologia de ponta e profissionais capacitados para operação das usinas. A utilização de créditos de emissão de carbono, a partir dos projetos de novas usinas, pode ajudar a tornar a energia nuclear mais competitiva perante as outras fontes. Outros usos dessa energia devem torná-la mais atrativa economicamente como a produção de hidrogênio, a dessalinização da água do mar e o aquecimento industrial (SILVA, 2007).

Segundo ANEEL (2009a), a incerteza do futuro da energia nuclear revela-se na projeção de diversos cenários feitos por diversos países, entre eles o Brasil: de recuo na potência instalada, à forte recuperação. Entre os fatores determinantes do rumo da tecnologia nuclear estão: a competitividade do custo de geração, disponibilidade de urânio, aumento da segurança, eficiência e vida útil das usinas (atualmente é de 30 anos), transferência de tecnologias entre as nações e a aceitação pela sociedade.

A abundância dos combustíveis fósseis após a 2ª Guerra Mundial e a competitividade das usinas hidrelétricas e termelétricas até o início da década de 70, contribuíram para a estagnação das pesquisas do uso do vento para produção de energia elétrica. As sucessivas crises do petróleo e a conseqüente variação do preço do barril desencadearam uma série de ações pelos governos e agências internacionais que visaram a diversificação das fontes de energia. A partir de então, o desenvolvimento de turbinas eólicas de grande porte experimentou vertiginoso crescimento, com o desenvolvimento de soluções *onshore* e *offshore* – as primeiras turbinas comerciais tinham potências entre 10 e 50 kW - kilowatts, enquanto a potência média das turbinas instaladas na Alemanha em 2002 foi de 1,4 MW - Megawatts (DUTRA, 2001). Atualmente, existem cerca de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo e estima-se em 2020 12% de geração a partir do vento, com uma capacidade instalada de mais de 1200 GW - Gigawatts (ANEEL, 2009b). Aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra é convertida para energia cinética dos ventos, dando origem a um potencial bruto mundial estimado em 500.000 TWh - Terawatts-hora - por ano, dos quais apenas 53.000 TWh são aproveitáveis, o que equivale a quatro vezes o consumo mundial de eletricidade (TERCIOTE, 2002).

A tecnologia eólica atual, predominante,

caracteriza-se pelo uso de turbinas eólicas de eixo horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não flexível. Uma ampla gama de equipamentos e tecnologias está disponível para o uso em diferentes aplicações e locais. Destacam-se tecnologias como o controle do ângulo de passo (*pitch*) das pás para o controle da potência máxima gerada e o uso de acionamento direto, com geradores síncronos. As turbinas classificam-se quanto ao porte em pequenas (potência nominal inferior a 500 kW), médias (potência entre 500 kW e 1000 kW) e grandes (potência maior que 1 MW) (ANEEL, 2009b). As pás começam a girar com ventos a partir de 3 m/s sendo possível seu aproveitamento com uma velocidade de até 8 m/s. O fator de capacidade (FC) é um parâmetro importante, característico desses sistemas, dado pela razão entre a energia produzida durante um período e a energia nominal, produzida integralmente no mesmo período. Esse é um importante critério para determinação da viabilidade técnica dos projetos eólicos. Segundo Tercote (2002), a eficiência média dos sistemas eólicos é dada conforme a tabela 1.

Estágios de conversão	Conversão
Rotor	40%
Transmissão	95%
Gerador	95%
Rajadas de vento e orientação da turbina	95%
Média geral	34,3%

Tabela 1- Eficiência média dos sistemas eólicos
Fonte: Tercote, (2002).

A energia eólica aplica-se a mercados de energia diversificados. Pequenas centrais são capazes de atender sistemas isolados em localidades distantes dos centros urbanos, onde ainda não há o acesso universal à energia elétrica, enquanto as grandes centrais podem conectar-se ao Sistema Interligado Nacional - SIN. Um fator interessante no contexto nacional é a possibilidade de complementaridade entre a geração hidrelétrica e a eólica, dada a alta disponibilidade dos ventos na região nordeste, no mesmo período em que há escassez do recurso hídrico (ANEEL, 2009b).

Além da complementaridade ao sistema

hidrelétrico nacional, destacam-se os pequenos impactos ambientais dessas centrais. Com o aumento do número de parques eólicos, cresce a preocupação com o ruído, gerado a populações vizinhas, ruído que é provocado basicamente pelos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos. Turbinas de múltiplas pás produzem mais barulho que as de hélices de alta velocidade. Grandes concentrações de aerogeradores geram impactos visuais, porém as instalações das usinas eólicas atraem turistas que movimentam a economia. A interferência na rota de aves da região tem sido avaliada em cada empreendimento, sendo que muitos parques tiveram a localização de seus aerogeradores alterada para a criação de corredores de passagem para as aves. O material utilizado na fabricação das pás podem ocasionar eventuais interferências eletromagnéticas, causando perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados (ANEEL, 2009b).

Dá-se o nome de biomassa às fontes orgânicas que são usadas para produzir energia, usando plantas que, através da fotossíntese, capturam energia solar para transformação em energia química. Estima-se que cerca de 2,4 bilhões de pessoas utilizam a biomassa tradicional, pois não têm acesso aos combustíveis modernos. Essa forma de aproveitamento energético, que tinha como principal uso final, a energia térmica, destaca-se como origem de combustíveis líquidos (etanol) e na utilização para geração de energia elétrica. No Brasil, a participação da biomassa na matriz de geração elétrica é de aproximadamente 3%. Dos 10 TWh provenientes da fonte produzidos em 1999, 4,1 TWh foram provenientes da co-geração na indústria de cana-de-açúcar, 2,9 TWh na indústria de papel e celulose e 3 TWh em diversas unidades, utilizando resíduos agrícolas (CGEE, 2001).

Um dos aspectos da biomassa é sua baixa densidade espacial, o que exige coleta e transporte para concentração do insumo utilizado. Visando minimizar o custo de transporte necessário, busca-se priorizar a utilização de resíduos de outros usos de biomassa, como é feito no caso do bagaço de cana, palha de arroz, restos em serrarias e casca de árvores na indústria de celulose, resíduos de biomassa que possam ser transportados a baixo custo e, em último caso, plantações específicas para a produção de energia. Estudos demonstram que há grande potencial de expansão das plantações

energéticas sem que haja conflitos com a produção de alimentos (CGEE, 2001).

O processo de conversão em energia elétrica pode ser feito com ciclos a vapor ou, ainda, com o uso de gaseificadores, onde a biomassa é transformada em um gás combustível de composição variada. A primeira etapa é a secagem ou retirada de umidade. Na etapa de pirólise ou carbonização formam-se gases, vapor d'água, vapor de alcatrão e carvão. Finalmente, na gaseificação, é liberada a energia necessária ao processo, pela combustão parcial dos produtos da pirólise (CGEE, 2001).

Os tipos de biomassa e as quantidades disponíveis definem a tecnologia a ser empregada. Para a geração em pequena escala (menor que 1MW), pode-se utilizar sistemas a vapor (embora com baixa eficiência) ou gaseificadores acoplados a motores diesel ou Otto; os gaseificadores são empregados em menor escala. Para a geração em média escala (dezenas de MW), aplica-se ciclos a vapor, com o uso de tecnologias comerciais e consolidadas no atendimento de usinas de cana e celulose no Brasil e no mundo. A geração em média/grande escala está na fase de estudos e espera-se gerar energia a custos equivalentes aos dos ciclos a vapor, mas com maior eficiência. As usinas de biomassa possuem fator de capacidade entre 25% e 80%, sendo os menores valores correspondentes à operação sazonal (CGEE, 2001).

A possibilidade de co-geração em indústrias que necessitam de energia térmica na forma de vapor de baixa/média pressão para seus processos, como a da cana e a da celulose, é um dos atrativos do uso da biomassa, assim como o uso em conjunto com combustíveis complementares com vista à geração de energia pela planta durante todo o ano (FCMC, 2010). Essa atratividade revela-se no fato das maiores potências instaladas de empreendimentos termelétricos no Brasil proverem dos combustíveis bagaço de cana da indústria sucro-alcooleira (391,15 MW) e licor negro da indústria do papel e celulose (310,18 MW). As usinas sucro-alcooleiras chegam a produzir entre 20 e 30 kWh – kilowatts-hora - por tonelada de cana moída. A aposta na biomassa para produção de energia, depende de alguns fatores como a prioridade do seu uso para outros fins, das tecnologias disponíveis para conversão e do uso de fertilizantes. O crescimento das culturas causaria impactos desconhecidos sobre a disponibilidade de água e impactos no solo como a perda de nutrientes e a erosão (CGEE, 2001).

As plantações energéticas também se expandem para o atendimento da crescente demanda por biocombustíveis, cuja produção alcançou 1% do consumo mundial total de combustível para transporte por estrada em 2005, sendo o Brasil e os Estados Unidos os principais fornecedores mundiais, com quase 80%. Para o aumento de 7%, esperado na procura de combustíveis para transportes de estrada, a produção de biocombustíveis deve crescer a uma taxa de 8,3% ao ano (WBCSD, 2010).

Segundo WBCSD (2010), os biocombustíveis são os combustíveis líquidos, sólidos ou gasosos derivados da biomassa, quer sejam de organismos vivos, quer através de seus processos metabólicos. A primeira geração de biocombustíveis engloba os derivados de matérias-primas, pela sua constituição em açúcar, amido e óleo, passíveis de serem convertidos por hidrólise/fermentação e prensagem/esterificação. Podem ser misturados com gasolina ou diesel, na forma simples ou quase pura. São exemplos da primeira geração, as culturas amiláceas, como o milho, o trigo e a cevada. A segunda geração trata dos produzidos pela biomassa lenho-celulósica de plantas herbáceas e perenes, através de tecnologias de hidrólise/fermentação, gaseificação ou pirólise. Ainda em fase de pesquisa, o uso de matérias-primas da celulose, que crescem com menores quantidades de fertilizante e água em solos de baixa qualidade proporcionarão custos significativamente mais baixos em comparação às culturas de cereais e sementes. Estima-se que a segunda geração estará disponível no mercado antes de 2030.

O etanol é considerado o carro-chefe do aumento projetado da utilização de biocombustíveis no mundo. Diferentemente da cultura do milho, a cana-de-açúcar possibilita sua utilização para a geração da energia elétrica da própria usina, o que resulta em um balanço extremamente positivo das emissões de dióxido de carbono e outros gases. O balanço das emissões leva em conta o carbono sequestrado no crescimento das matérias-primas e também a eficiência da combustão nos motores dos veículos. No Brasil, desde 1931, há um decreto que obriga a mistura de álcool na gasolina aqui comercializada. A criação do Programa Nacional do Álcool – PróAlcool – foi o maior programa comercial de uso de biomassa, para fins energéticos, no

mundo. Após um período de estagnação, o etanol retomou sua grande participação no mercado com a consolidação da tecnologia dos carros *flex-fuel* (PETROBRAS, 2006).

As vantagens dos biocombustíveis contemplam benefícios sócio-ambientais. Entre eles estão a fixação do homem no campo e a redução das emissões de CO₂ e particulados. Entre as desvantagens estão a alta disponibilidade de água necessária para irrigação dos combustíveis de primeira geração ou consumida na evaporação dos de segunda geração, além da competição com a produção de alimentos e os subempregos criados nas colheitas, principalmente em países do terceiro mundo. O desenvolvimento de subprodutos pelas biorrefinarias de segunda geração e a conseqüente menor taxa de utilização do solo para plantações são fatores que tornarão os biocombustíveis mais competitivos frente aos combustíveis fósseis (WBCSD, 2010).

6 Considerações finais

A partir da busca do homem por formas de energia que pudessem facilitar suas atividades e não só satisfazer suas necessidades alimentares, o desenvolvimento da mecânica e da química e a compreensão dos fenômenos relacionados à eletricidade, principal forma de energia consumida pela humanidade atualmente, representaram os passos mais significativos para o aproveitamento das fontes energéticas.

A composição da nova matriz energética no futuro dependerá de muitos fatores, que são de difícil previsão. Indiscutivelmente, haverá grande diversificação das fontes de geração de energia elétrica, para que não exista dependência exclusiva de uma única fonte e para o aumento da confiabilidade dos sistemas. Um exemplo viável na matriz brasileira é a exploração de recursos naturais como os aproveitamentos hidroenergéticos e os ventos em complementaridade nos períodos de secas.

A energia nuclear continuará sendo amplamente utilizada pelos países desenvolvidos que requerem altas e crescentes demandas energéticas e que não possuem configurações favoráveis para o emprego de energias renováveis, tais como, a pouca disponibilidade de terras para inundação ou produção de culturas agroenergéticas e a falta de ventos. Os constantes aprimoramentos nas tecnologias

das usinas nucleares garantem a segurança na operação dos reatores em atividade e tornam o maior desafio da energia nuclear o destino do lixo radioativo. Também colabora para o fortalecimento da energia nuclear o fato dos acordos de fornecimento de energia entre países serem cada vez mais raros, dado o desejo de autossuficiência energética, manifestado por todas nações.

No setor de transportes, ocorrerá uma lenta transição dos combustíveis fósseis para os biocombustíveis, apesar dos problemas sociais relacionados ao seu cultivo e à polêmica da destinação de crescentes áreas de plantio exclusivas, para fins de aproveitamento energético. Países em desenvolvimento, como o Brasil e seus programas de fomento na área, já demonstraram a viabilidade da produção em larga escala do etanol e biodiesel. O próximo passo será a adaptação das próximas gerações das frotas veiculares dos países desenvolvidos.

A principal tendência será a conciliação dos interesses comerciais e o respeito ao meio ambiente, através do controle e da mitigação da poluição gerada. Na produção de energia, seja por meio de acordos internacionais ou pela pressão dos governos e da sociedade, novos empreendimentos terão de operar de forma transparente e eficiente. O aumento da eficiência energética dos processos e equipamentos e a promoção do consumo racional também serão peças-chave para a manutenção de um cenário sustentável do uso da energia.

Referências

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas - Energia Nuclear**. Brasília, 2009a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap8.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas - Energia Eólica**. Brasília, 2009b. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-Energia_Eolica(3).pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2011.

AMARAL, Danilo. **História da Mecânica - O motor a vapor**. UFPB, 2010. Disponível em: <http://www.demec.ufmg.br/port/d_online/diario/Ema078/historia%20do%20motor%20a%20vapor.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2011.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos.

Geração de energia elétrica a partir da biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2011.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Apostila educativa. Energia Nuclear**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.cnem.gov.br/ensino/apostilas/energia.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2011.

DUTRA, Ricardo Marques. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/teses_mestrado/200102_dutra_r_m_ms.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2011.

FCMC – Fórum Capixaba de Mudanças Climáticas e uso Racional da Água. **Biomassa**. Vitória, 2010. Disponível em: <<http://www.fcmc.es.gov.br/download/Biomassa.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2011.

FONSECA, Rômulo Soares. **Iluminação Elétrica**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1972.

GUIMARÃES, Orliney Maciel; KUWABARA, Izaura Hiroko. **Calorias: a energia contida nos alimentos**. UFPR – Universidade Federal do Paraná, 2011. Departamento de Química. Disponível em: <<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/pdf/experimento8.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2011.

HÉMERY, Daniel; BEBIER, Jean Claude; DELÉAGE, Jean-Paul. **Uma História da Energia**. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 1993.

PETROBRAS. **Biocombustíveis. 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado**. 2006. Disponível em: <http://www.ecoclima.org.br/br/Informacoes%20Tecnicas/Cartilha_Biocombustiveis.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2011.

PIERRE, Tatiana Dillenburg Saint'. **Arquimedes**. Disponível em: <http://web.ccead.pucrio.br/condigital/mvsl/linha%20tempo/Arquimedes/pdf_LT/LT_arquimedes.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2011.

RIPPEL, Ricardo; RIPPEL, Valderice Cecília Limberger; LIMA, Jandir Ferrera de. As inter-relações da energia, com os padrões de consumo e de sustentabilidade dos recursos ambientais. **Revista do Grupo de Pesquisa em Agronegócio e Desenvolvimento Regional (GEPEC)** da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste. Cascavel, v. 7, n. 1, Cascavel: 2003. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/download/299/216>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

SILVA, Antonio Teixeira. O futuro da energia nuclear. **Revista USP**, São Paulo, n.76, p. 34-43, dez./fev. 2007-2008. Disponível em: <<http://www.revistasusp.sibi.usp.br/pdf/revusp/n76/04.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2011.

TERCIOTE, Ricardo. **Eficiência energética de um sistema eólico isolado**. UNICAMP, Campinas: 2002. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0100.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0100.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2011.

TESSMER, Hélio. **Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem**. Novo Hamburgo, 2002. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0131010716090416.pdf>>. Acesso em 16 fev. 2011.

WALTER, Osvaldo Luiz. **História de eletricidade**. Mogi Mirim, 2010. Disponível em: <<http://www.univasf.edu.br/~edmar.nascimento/iee/1HistoriaEletricidade.pdf>>. Acesso em 21 fev. 2011.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. **Biocombustíveis. Resumo temático. Energia e clima**. Lisboa, 2010. Disponível em: <<http://www.wbcsd.org/web/publications/Biofuels-Portuguese.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2011.