

Expansão e racionalização do consumo de energia elétrica

PIETRO ERBER

Assistente da Diretoria de Planejamento e Engenharia da ELETROBRÁS. Engenheiro, foi chefe do Departamento de Mercado da ELETROBRÁS.

Este artigo enfoca as perspectivas de expansão do uso da energia elétrica, tendo em vista os fatores relevantes do crescimento de sua demanda, em particular os macroeconômicos e sociais. Procura também discutir as condições que poderão propiciar e os possíveis efeitos da substituição de derivados de petróleo e a conservação, bem como os possíveis efeitos dessas medidas sobre a demanda de energia elétrica. (*)

Histórico

A utilização da energia elétrica propagou-se, a partir do final do século passado, atingindo gradualmente a maioria das atividades da sociedade moderna.

Esse desenvolvimento das aplicações da eletricidade compreende duas áreas, caracterizadas pelas potências elétricas (e intensidades de corrente) envolvidas:

- a das grandes potências, requeridas quando se exige força motriz, calor ou efeitos específicos da eletricidade, como a eletrólise;

(*) O autor agradece as sugestões recebidas de Maria Teresa F. Serra, incorporadas ao presente texto.

- a das pequenas potências, como no caso das telecomunicações, da eletromedicina, da informática, etc.

Do ponto de vista energético, a primeira dessas categorias é que é significativa e a que será enfocada mais amplamente, a seguir.

A difusão do uso desse vetor energético deve-se, de um lado, à sua extrema versatilidade, tanto em termos da diversidade de suas fontes, quanto de uso final. Assim, de um lado, a energia elétrica apresenta, para o país, importante vantagem econômica e estratégica e, de outro, traz para o usuário vantagens como a controlabilidade, divisibilidade, poluição e armazenamento nulos, confiabilidade de suprimento e segurança na utilização relativamente elevadas, em relação às demais modalidades de energia.

Desde o início do processo de expansão de seu emprego, que iniciou há cerca de cem anos, a energia elétrica, assim como o petróleo, vem competindo, com sucesso, com outras modalidades de energia, principalmente a nível de uso final, em virtude de suas características, apontadas acima. Combustíveis tradicionais, tais como o carvão e a lenha, foram deslocados (da locomotiva, por exemplo), passando a ser utilizados na geração da própria energia elétrica, ou foram substituídos, mediante o emprego desse vetor, pela energia hidráulica, que até

então só era aproveitada quando situada junto ao ponto de utilização, sob forma de energia mecânica.

Além de substituições tais como as acima exemplificadas, a eletricidade substitui mão-de-obra com o uso de ampla gama de aparelhos eletrodomésticos cuja potência individual não é significativa em termos energéticos, para o país, mas que, pela sua multiplicidade representa parte ponderável da demanda global dessa energia. O mesmo se dá com os aparelhos de iluminação.

Finalmente, além da substituição de combustíveis e de mão-de-obra, a energia elétrica deve sua expansão a inovações tecnológicas que, aproveitando características específicas da eletricidade, viabilizaram a oferta de produtos e serviços totalmente novos.

Em 1983 o Brasil consumiu 141 TWh e produziu 162 TWh, os quais correspondem a 35% da energia colocada no mercado, equivalente a 134 milhões de toneladas de petróleo conforme (9). No Quadro 1, a seguir, compara-se a evolução do Brasil com outras regiões, no tocante à participação da energia elétrica no balanço energético global.

Observa-se que somente após a 2ª guerra mundial a energia elétrica adquiriu uma participação realmente significativa no balanço energético mundial. No Brasil, seja pela estrutura de produção, pela relativa vantagem oferecida pela

QUADRO 1

ENERGIA PRIMÁRIA TOTAL E % DESTINADA A PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

ESPECIFICAÇÃO	1928	1950	1960	1970	1980	1983	1990	2000
Energia Primária 10⁶tEP								
Países Industrializados	—	—	—	—	—	4.419	4.982	6.076
Países em Desenvolvimento	—	—	—	—	—	2.147	3.198	4.454
Brasil	—	15	28	60	140	152	210*	345*
Mundo	—	1.900	3.300	5.000	6.700	6.566	8.180	10.530
B/M (%)	—	0,8	0,9	1,1	2,1	2,3	2,6*	3,3*
% E.P. para Produção de Energia Elétrica								
Países Industrializados	—	13	21	26	29	32	37	40
Países em Desenvolvimento	—	11	15	19	15	19	21	27
Brasil	—	17	24	23	29	31	38*	41*
Mundo	6	13	18	23	25	28	32	36
B/M (%)	—	1,0	1,1	1,5	2,4	2,6	3,0*	3,7*

* Valores estimados pelo autor
Demais valores obtidos a partir de: (9), (5), (8) e SIESE/MME.

disponibilidade de fontes hidrelétricas ou por pequenas diferenças de critérios de conversão, a parcela de energia primária destinada a energia elétrica é semelhante à dos países industrializados, devendo alcançar 41% em menos de vinte anos. O Quadro 1 também indica que, em 33 anos, de 1950 a 1983, a participação do Brasil no balanço energético mundial triplicou e que o consumo de energia elétrica apresentou crescimento mais acelerado.

Pode-se afirmar que a eletricidade foi fundamental para viabilizar a sociedade moderna tanto em termos da densidade de utilização de energia quanto pela dependência que essa sociedade apresenta em relação aos meios de comunicação que, por sua vez, requerem energia elétrica, embora em pequena monta, para seu funcionamento. Tão ou mais importante para essa sociedade, por dizer respeito a sua preservação, é o efeito positivo do uso crescente da energia elétrica sobre a eficiência energética global, seja pelas economias de escala que permite, seja pela elevada eficiência obtida em sua utilização final, pelo mercado.

Observa-se (8) que, de 1960 a 1975, o aumento da participação da energia elétrica no consumo global de energia dos países mais desenvolvidos foi significativa. Nesse mesmo período observa-se que as relações dos crescimentos das demandas global e de energia elétrica para os crescimentos da economia dos respectivos países (PIB) apresenta uma correlação inversa, ou seja, aqueles em que a energia elétrica teve maior crescimento apresentam, proporcionalmente, menores crescimentos dos requisitos globais de energia, denotando a substituição de um componente menos eficiente por outro, mais eficiente, nos balanços energéticos.

Perspectivas de evolução do consumo de energia elétrica.

A evolução da demanda de energia elétrica é função da interação dos seguintes fatores, dentre os mais relevantes:

- a evolução sócio-econômica, compreendendo o crescimento populacional, a urbanização e o desenvolvimento econômico, destacando-se aí a renda per capita e a distribuição da renda;
- a estrutura de produção, os processos tecnológicos, os hábitos de vida e condições ambientais;
- as possibilidades de substituição de outras modalidades de energia,

pela energia elétrica, onde intervem principalmente os custos unitários de utilização dessas energias e as eficiências com as quais são utilizadas;

- as perspectivas de conservação, em vista das tecnologias em uso e dos estímulos praticáveis, seja via preços, impostos, incentivos financeiros e outros meios destinados a induzir alterações tecnológicas.

Em países em vias de desenvolvimento, os fatores mais importantes do cres-

seguintes, a substituição de modalidades de energia empregadas com baixa eficiência (a lenha, principalmente), por outras, de maior eficiência, tais como derivados de petróleo e eletricidade, além da expansão do emprego desta pela modificação da estrutura do mercado, contribuirão significativamente para um maior crescimento da energia elétrica.

Na década de 80 a elevada elasticidade de energia global deve-se à relativa perda da importância do processo de

QUADRO 2

BRASIL					
Ano	Pop. Total		Pop. Urbana		Urbanização
	10 ⁶ hab.	%	10 ⁶ hab.	%	%
1970	94	-	52	-	56
1980	120	2,5	81	4,5	68
1990	152	2,4	116	3,7	76
2000	188	2,1	150	2,6	80
2010	224	1,8	186	2,2	83

cimento do consumo de energia elétrica são, provavelmente, o crescimento da população urbana, a evolução da produção industrial, ambos acompanhados por um processo secular de substituição de combustíveis por energia elétrica, que se diferencia daquele mais recente, induzido por alterações bruscas nas relações entre preços da energia elétrica e dos combustíveis.

A perspectiva de evolução da população brasileira, conforme (5), é a seguinte:

Estima-se que a economia brasileira, por sua vez, venha a crescer conforme indicado no Quadro 3 a seguir, segundo estudos adotados atualmente pelo Setor Elétrico para a previsão de sua demanda (5).

Avaliações do efeito da composição dessas variáveis, ou seja, resultados de estudos de previsão da demanda, também apresentados no Quadro 3, indicam que o consumo global de energia elétrica poderá expandir-se de 5 a 6 vezes entre 1980 e 2010. Nesse mesmo período os requisitos globais de energia primária poderão aumentar de 3 a 4 vezes.

No Quadro 3 observa-se que, exceto na década de 60, o crescimento dos requisitos de energia global foi menor do que dos de energia elétrica. Naquela década, o recente advento da indústria automobilística, e restrições remanescentes da oferta de energia elétrica foram fatores relevantes para acarretar um crescimento dos requisitos de eletricidade inferior ao da energia global. Nas décadas

substituição acima referido, à expansão da produção de álcool e produção de bagaço e ao crescimento da eletricidade que, embora modesto em termos históricos, apresenta elasticidade de 2, 3 em relação ao do PIB, sendo devido à expansão de indústrias grandes consumidoras de energia elétrica e ao aumento da taxa de atendimento ou seja, da parcela da população atendida. A partir da década de 80, a elevada e crescente participação da energia elétrica no balanço energético e o fato da mesma ainda ser predominantemente de origem hídrica (embora em proporções decrescentes perto do final do período em estudo) contribui para a baixa elasticidade indicada.

Também se prevê, no período em estudo, sensíveis esforços de conservação, seja de combustíveis, seja de eletricidade. Devido à expansão e à alteração da estrutura do mercado de energia elétrica previstas para os próximos anos, acredita-se que resultados decorrentes de um programa de conservação somente serão aparentes, influndo significativamente no crescimento global da demanda, por volta do ano 2000, conforme se depreende da redução da elasticidade na década de 90. Após 2000 a elasticidade aumentaria então ligeiramente, indicando uma expansão do papel da eletricidade, no balanço global, já não mais atenuada pelo efeito do processo de implantação de medidas de conservação como na década de 90. O crescimento tenderia a reassumir

QUADRO 3

BRASIL											
ANO	PIB		ENERGIA GLOBAL(1)			ENERG. ELÉTRICA(2)			EG/PIB	EE/PIB	EE/EG
	US\$ 10 ⁹	Δ%	10 ⁶ tEP	%	ε PIB	TWh	Δ%	ε PIB	tEP/10 ⁶ US\$	MWh/10 ⁶ US\$	%
1960	61	—	28	—	—	23	—	—	459	377	24
1970	110	6,1	60	7,9	1,30	47	7,4	1,21	545	427	23
1980	250	8,6	140	8,8	1,03	140	11,5	1,34	560	560	29
1990	336	3,0	210*	4,1	1,38	272	6,9	2,30	625	810	38
2000	603	6,0	345*	5,1	0,85	482	5,9	0,98	572	800	41
2010	936	4,5	500*	3,8	0,85	772*	4,8	1,07	535	825	45

NOTAS: PIB estimado admitindo taxas 1985/2010 conforme estudos do Setor Elétrico, tomando-se por base o valor da FGV para 1984. Demais valores históricos, da FGV. Valores em US\$ de 1980.

Energia Elétrica: valores históricos do SIESE/MME, valores 1990 e 2000 derivados de (5), valor de 2000 estimado pelo autor.

*Estimativa do autor.

Σ PIB é a elasticidade em relação ao PIB.

(1) Energia Primária

(2) Produzida (inclusive perdas).

sua "tendência natural", porém em nível inferior ao que seria verificado sem o esforço de conservação.

As previsões de demanda de energia global apresentadas no Quadro 3 são compatíveis com aquelas apresentadas

pela Conferência Mundial de Energia (4), conforme o Quadro 4, a seguir, que indica os valores médios deduzidos daqueles referentes aos dois cenários concebidos pela CME em seu estudo.

Os valores médios da elasticidade da energia global em relação ao PIB apresentados pelo IIASA (7), comparados no Quadro 5 com os previstos para o Brasil também indicam que estes são razoáveis, embora também sugiram que, na última década, tenham sido conservadores.

A participação da energia elétrica no balanço energético brasileiro também aumenta, de forma semelhante a outras regiões, conforme o Quadro 1. Em 2000 essa participação já supera os 40% do balanço global, marca essa já alcançada pela Suécia, Noruega e Islândia em 1973. Entretanto, as elasticidades de seu crescimento em relação ao PIB são relativamente baixas, tendo em vista que, além da conservação, de efeito negativo sobre o crescimento, há significativo potencial de substituição a ser levado em conta, bem como a possível expansão do papel

QUADRO 4

Energia Global/PIB (1)				
ANO	América Latina tEP/10 ⁶ US\$	Europa Ocidental tEP/10 ⁶ US\$	América do Norte tEP/10 ⁶ US\$	Mundo tEP/10 ⁶ US\$
1978	737	472	870	791
2000	604	393	663	647
2020	504	353	606	579

(1) Usos energéticos, exclusivamente.

QUADRO 5

Elasticidade da Energia Global em relação ao PIB			
ESPECIFICAÇÃO	1950/1975	1975/2000	2000/2030
Mundo	0,99	0,69	0,92
América do Norte	1,03	0,39	0,78
América Latina	1,28	1,05	0,98
Brasil	1,15	0,97	0,85 (2000/2010)

QUADRO 6

ENERGIA ELÉTRICA E PIB										
ANO	AM. NORTE		EUR. OCID.		AM. LATINA		MUNDO		BRASIL	
	MWh/10 ⁶ US\$	ε	MWh/10 ⁶ US\$	ε	MWh/10 ⁶ US\$	ε	MWh/10 ⁶ US\$	ε	MWh/10 ⁶ US\$	ε
1960	691	—	—	—	466	—	620	—	377	—
1978	1.103	1,83	617	—	620	1,24	855	1,37	540	1,31
2000	1.191	1,16	607	0,97	876	1,31	940	1,14	800	1,38

do país como supridor internacional de bens que requerem grandes quantidades de energia elétrica para sua produção. O quadro 6 indica as elasticidades da demanda de energia elétrica em relação ao PIB e os valores da relação EE/PIB, até 2000, para o Brasil e outras regiões.

Tais parâmetros das previsões dos requisitos brasileiros de energia elétrica, comparados aos de outras regiões, no quadro 6, permitem considerar que essas previsões são razoáveis, senão conservadoras, para o final do período estudado.

Racionalização energética — substituição e conservação

A racionalização energética envolve tanto a substituição quanto a conservação, mediante as quais procura-se minimizar o custo da energia a ser utilizada, como um todo, pelo país.

A produção de bens e serviços requer, de um modo geral, a mobilização de mão-de-obra e matérias primas, dentre as quais a energia (elétrica ou de combustíveis); instalações e, portanto, capital e tecnologia; e ainda a gestão desses fatores de produção, que pode afetar, significativamente, os resultados ou seja, a eficiência do processo.

A variação do custo de um ou mais fatores de produção, num processo, pode vir a requerer alterações na combinação desses fatores, no sentido de compensar aquela variação. Essa alteração pode se limitar à gestão, sem alteração das instalações e tecnologia, procurando-se operar o sistema existente com maior eficiência, menor desperdício de matéria prima, menor índice de refugo, etc. Pode também envolver alterações tecnológicas, com alterações mais ou menos amplas dos processos envolvidos, alterando coeficientes tecnológicos e/ou as matérias primas empregadas. Pode, finalmente, determinar mudança de nível de produção, em busca de novo ponto de equilíbrio entre receita e despesa.

A formulação de políticas de racionalização energética poderá contemplar medidas genéricas tais como preços e divulgação de tecnologia, bem como atuar diretamente junto aos consumidores mais expressivos, tendo em vista a concentração do uso da energia, seja a nível residencial, devida à concentração de renda, seja a nível da indústria e serviços onde, em 1980, apenas 200 estabelecimentos eram responsáveis por 39% do consumo nacional de óleo combustível, sendo semelhante a distribuição da-

quele de energia elétrica. Essa concentração propicia a obtenção de resultados expressivos, em prazos relativamente curtos.

Substituição de combustíveis por energia elétrica

A substituição de combustíveis por energia elétrica ou outra modalidade de energia pode ser julgada, a nível macro, com base nas prioridades da política econômica do país, tais como o equilíbrio do balanço de pagamentos, a redução da inflação e da dependência externa, particularmente na área energética, e no desenvolvimento tecnológico, procurando-se aumentar a participação de recursos nacionais e renováveis na oferta de energia do país.

Pode ser avaliada do ponto de vista do consumidor, que, no curto prazo, pelo menos, julga o tipo de fonte energética que lhe convém usar com base nos preços desta e nos demais insumos de seus processos de produção e em fatores tais como a garantia de suprimento, a facilidade de substituição de um insumo energético por outro, sua facilidade de estocagem, a qualidade do produto final, etc. A médio e longo prazo, sua escolha poderá estar integrada numa política de maximização de lucros que contemple uma mudança do processo de produção mediante o emprego de outra tecnologia. Esta mudança será considerada sobretudo pelas condições de financiamento, além das diferenças de custos operacionais.

Apresenta-se, a seguir, algumas considerações de ordem econômica e técnica sobre a substituição em questão, enfocando seu principal campo de aplicação, que é a substituição do óleo combustível. A maior parte das substituições que envolvem os demais derivados, por serem empregados principalmente em meios de transporte (gasolina e óleo diesel) e para aquecimento e cocção (GLP), ou requerem investimentos iniciais muito pesados ou não são economicamente, ou mesmo tecnicamente, viáveis.

Vantagens e limitações da substituição do óleo combustível pela energia elétrica

Dentre as vantagens que o emprego da energia elétrica oferece, em relação aos combustíveis, destacam-se a flexibilidade e facilidade de controle das operações, o fato de não contribuir para a poluição ambiental, propiciar melhor qualidade dos produtos e menor

índice de perdas de material e energia. Neste sentido a eletricidade apresenta eficiências elevadas na medida em que seu dispêndio pode, em muitos casos, concentrar-se no espaço ou material efetivamente requerido, reduzindo assim, significativamente, seu desperdício. Permite também eliminar áreas e instalações de estocagem de combustíveis e, finalmente, na maioria das regiões atendidas pelos sistemas interligados, oferece elevada garantia de suprimento.

Parte significativa (cerca de 80%) do óleo combustível ora utilizado na indústria é tecnicamente substituível por energia elétrica: cerca de 70% é utilizado em caldeiras e fornos de aquecimento indireto, enquanto 30% é utilizado em processos diversos (fornos de aquecimento direto, força motriz). Entretanto, em virtude das características técnicas dos processos e/ou das tecnologias disponíveis, a eletricidade não pode substituir os combustíveis em processos como a fabricação do cimento e outros (que somam cerca de 20%), em que esses fornecem, além do calor, a atmosfera redutora necessária ao processamento dos materiais envolvidos.

Em geral, a energia elétrica é utilizada com eficiência elevada, enquanto os combustíveis apresentam eficiências muito variadas mas sempre mais baixas do que a da energia elétrica. Por outro lado, a eletricidade, particularmente a de origem hidráulica, é um produto eminentemente capital-intensivo. Por isso, somente a partir de determinadas relações entre custos unitários da eletricidade e dos combustíveis, associadas a diferenças de rendimento dos processos, é que se tornam nítidas as vantagens da substituição desses combustíveis pela energia elétrica.

Convém ressaltar que esses dois parâmetros, preços e rendimentos, não são suficientes para avaliar a direção do mercado de energia no tocante a essas substituições, pois outras vantagens da energia elétrica, mencionadas acima e de difícil mensuração e tradução em termos de preços, especialmente a longo prazo, poderão suplantar eventuais diferenças de custo, pelo menos do ponto de vista dos consumidores.

Além disso, é importante distinguir entre a substituição em instalações existentes, que apresenta geralmente menor flexibilidade e custos de adaptação elevados, daquela em que se considere, quando da implantação das instalações, utilizar energia elétrica onde tradicional-

mente se utilizava óleo, permitindo explorar mais facilmente as vantagens da energia elétrica, adequando processos e o próprio "lay-out" daquelas instalações.

Por fim, cabe lembrar também que, em alguns casos, outras fontes como o gás natural, o carvão, a lenha e outros derivados da biomassa constituem soluções mais econômicas do que a energia elétrica na substituição do óleo combustível.

Fatores técnico-econômicos mais relevantes na substituição

Dado que 1 tonelada de óleo combustível tem poder calorífico(9) de 10.400 Mcal e 1 MWh equivale a 860 Mcal, se ambos fossem utilizados com a mesma eficiência, seriam necessários 12,1 MWh para substituir 1 tonelada de óleo. Entretanto, como a energia elétrica é utilizada com eficiências maiores do que o óleo, as relações de substituição situam-se mais freqüentemente entre 10 MWh/t e 3 MWh/t, podendo inclusive alcançar valores inferiores a este último, embora raramente envolvendo quantidades significativas de energia. Considerando um custo para o país de US\$ 30/MWh para a energia elétrica entregue ao consumidor industrial, esta seria competitiva com o óleo que custasse de US\$ 300/t a US\$ 90/t, respectivamente. Portanto, com base exclusivamente nesses custos, o ponto de equilíbrio, para os valores atualmente atribuídos ao óleo combustível, situa-se no entorno de 6 a 7 MWh/t.

Entretanto, há outros fatores que usualmente influenciam a decisão de realizar essa substituição, dentre os quais a redução da poluição ambiental, causada pela queima do óleo. Esse benefício é função da localização do consumidor, sendo particularmente importante em áreas densamente povoadas ou onde já ocorre elevado grau de poluição. A avaliação desse benefício é complexa, mas pode-se apresentar uma estimativa, baseada no custo de reduzi-la, da ordem de US\$ 40/t de óleo substituído (3).

A substituição, como a de fornos a óleo por fornos elétricos pode acarretar melhoria na qualidade dos produtos, principalmente quando esta é sensível aos efluentes da combustão. O valor deste benefício, bem como o de reduções na perda de matéria prima varia caso a caso. Tais vantagens, entretanto, ocorrem quando há uma mudança essencial de processo, o que não acontece quan-

do a substituição se restringe, por exemplo, ao sistema de produção de vapor, a menos que os efluentes da queima do óleo afetem os produtos.

A redução de consumo de derivados de petróleo não apenas beneficia o país, como reduz as despesas de transporte. Assim, em princípio, quanto mais afastado dos pontos de suprimento, mais vantagens apresenta um consumidor de energia que realize a substituição, principalmente quando a modalidade de transporte requerida seja grande consumidora de óleo combustível.

Há, por outro lado, que se considerar dois custos importantes associados à substituição: o da adaptação do consumidor e o das instalações do setor elétrico necessárias para atendê-lo.

O investimento do consumidor varia significativamente de até menos de US\$ 50/kW até mais de US\$ 500/kW de carga requerida. No extremo inferior estão geralmente as instalações de caldeiras, quando a capacidade da subestação do consumidor é suficiente para atendê-la. As substituições que apresentam maiores eficiências (e geralmente menores potências) tendem a se situar no extremo superior daquela faixa, como os fornos de indução. Esses custos mais elevados são geralmente compensados pelo ganho de eficiência: uma substituição que requeira 3 MWh/t, quando o custo do óleo competitivo com a eletricidade a US\$ 30/MWh é de US\$ 90/t, sem computar outros custos, ainda seria competitiva com o óleo a cerca de US\$ 130/t, caso o custo de adaptação fosse de US\$ 500/kW, incorporando-se ao custo operacional os custos usuais de capital, supondo-se ainda a utilização do equipamento durante 5000 horas por ano.

Os investimentos e demais custos para o setor elétrico variam segundo a localização geográfica, o porto da carga e seu regime horosazonal de operação. Para um dado nível de tensão, os custos médios de suprimento variam numa relação de 100 para 78, aproximadamente, para uma carga que opere durante cerca de 5000 horas por ano, isto é, com fator de carga de 57%, que é usual, dependendo apenas da forma de sua variação horária. Uma carga que apresente sensível redução nas horas em que a demanda do sistema é maior não estará afetando a adequação dos sistemas de suprimento, não contribuindo, portanto, para tornar necessária sua expansão. Entretanto, uma carga que apresente solicitação no horário de ponta contribui para a neces-

sidade de investir na capacidade de ponta das usinas e naquela dos sistemas de transmissão e distribuição, além de receber energia no momento em que o nível de perdas é mais elevado, contribuindo assim para aumentar o custo de seu suprimento.

Num sistema elétrico cuja base energética é predominantemente hidráulica, ocorrem períodos cuja freqüência e duração é aleatória, em que a disponibilidade de energia é superior àquela garantida e que, portanto, pode ser fornecida a custo da ordem de US\$ 10/MWh, muito inferior ao daquela. Assim, substituições temporárias, cuja demanda de energia seja interruptível, poderão aproveitar esta modalidade de suprimento, compensando a pequena vantagem na variação de eficiência por uma vantagem em termos do custo da eletricidade, como nos sistemas bi-energéticos. A geração de vapor, um dos maiores consumidores de calor, é uma das aplicações adequadas a essa energia.

Caracterizam-se assim as substituições como temporárias (ou interruptíveis) e permanentes, variando ambas também conforme maior ou menor demanda da nova carga no horário de maior demanda do sistema.

De um modo geral, são os seguintes os processos industriais mediante os quais pode-se substituir combustíveis por energia elétrica, nos quais esta atua, principalmente, pela produção de calor (feito Joule), radiação, força motriz e ionização:

- Aquecimento indireto por resistências (fornos e secadores)
- Aquecimento direto por resistências (resistências de imersão)
- Aquecimento por passagem direta da corrente elétrica (substâncias condutoras)
- Aquecimento por indução (feito Joule devido a correntes eletromagneticamente induzidas)
- Secagem por bomba de calor (reaproveitamento da energia contida no vapor d'água de corrente do processo)
- Recompressão mecânica do vapor (destilação e concentração)
- Separação de líquidos por membranas (substituição de energia térmica por mecânica)
- Radiações infravermelhas (altas densidades e pequena inércia) e ultravioletas (efeitos fotoquímicos substituem o calor)

- Altas e hiperfrequências (aquecimento induzido na massa de maus condutores de calor)
- Plasmas térmicos (temperaturas extremamente elevadas — cerca de 10.000°C — para processos de fusão, solda, etc.)

Dentre os equipamentos baseados nessas aplicações da eletricidade, os mais importantes, do ponto de vista de sua contribuição para a demanda global de energia são as caldeiras elétricas, cujas potências são de centenas de kW a dezenas de MW, e os fornos de resistência e indução, com potências menores, de dezenas de kW a cerca de uma dezena de MW. Futuramente, os plasmas térmicos poderão ter um papel tão ou mais relevante que as caldeiras, pois exigem potências da ordem de até várias dezenas de MW e apresentam ganhos de rendimentos superiores àqueles obtidos na substituição de caldeiras a óleo por elétricas, além de outras vantagens inerentes aos processos nos quais são empregados. Para as caldeiras e fornos elétricos, são os seguintes os dados característicos.

Caldeiras: em função da capacidade (toneladas de vapor por hora) desejada, utilizam-se caldeiras a resistência ou de eletrodo submerso, supridas em baixa tensão, para produções até cerca de 3 t/h, ou caldeiras supridas em alta tensão, de eletrodo submerso ou jateado, para produções elevadas (até 20 t/h ou superiores). Grosso modo, são requeridos 0,7 MW de potência elétrica por t/h de capacidade de produção da caldeira.

O investimento varia de US\$ 40 a US\$ 15/MW, para a caldeira, mais US\$ 5 a US\$ 40/kW, nas instalações do consumidor, inclusive sua subestação abastecedora.

Fornos: para fusão de metais pode-se utilizar fornos de indução (de cadinho ou a canal), sendo que as potências se situam usualmente na faixa de 50 kW a 1.000 kW em maiores, apresentando consumos da ordem de 300 kWh/t a 500 kWh/t, em função do metal do forno, a custos de investimento de US\$ 600/kW a US\$ 150/kW, inversamente proporcionais à potência requerida, e acrescentando custos de instalação, que variam de US\$ 45 a US\$ 140/kW. Pode-se também empregar fornos de resistência, cujo custo unitário varia de US\$ 100 a US\$ 300/kW, sendo os custos de instalação semelhantes àqueles para os fornos de indução, porém limitados, normalmente, a potências mais baixas. Os fornos de resistência também são usados

para materiais não metálicos, como produtos cerâmicos.

A nível doméstico e de serviços, o uso mais amplo da energia elétrica, além do condicionamento ambiental, depende da economicidade de seu uso para aquecimento d'água e cocção, o que, entre outros fatores, depende dos custos de suprimento e da possibilidade de exercer tais utilizações em horários específicos, fora daquele da ponta da carga.

Finalmente cabe indicar, conforme (2), que, para o nível de consumo e estrutura de usos de 1980, em que o valor global dos requisitos de energia foi de 140 milhões de tEP, o óleo combustível constituindo 12% desse total, a parcela economicamente viável de substituição era de 2,1 milhões de tEP, requerendo 14,3 milhões de MWh. Ainda com referência ao ano de 1980, o potencial de substituição indicado representa 12% do consumo global verificado naquele ano. As substituições permanentes apresentam um potencial significativo, para a economia do país e para a racionalização de seu balanço energético. Parte dessa substituição foi alcançada com base em tarifas especiais e financiamentos para adaptação de equipamentos. Por outro lado, inovações tecnológicas, mais do que reduções importantes nos custos da energia elétrica (que são improváveis) poderão acarretar, a longo prazo, importantes acréscimos do potencial de substituição, destacando-se o plasma, seja pelas potências requeridas seja pela amplitude de seu campo de aplicação.

Conservação

A conservação de energia ou redução da quantidade de energia originalmente empregada, sem prejuízo da quantidade e qualidade do produto ao qual se destina, envolve, além de medidas econômicas, tecnológicas e gerenciais, uma mudança de atitude frente a bens escassos como a energia e equivale a uma fonte de energia renovável, imediatamente acessível, freqüentemente a custos inferiores àqueles requeridos para expandir a oferta de uma fonte equivalente. A prática da conservação é, assim, essencial para a preservação das fontes primárias de energia e de outros recursos, acarretando economias globais singificativas.

Dentre as aplicações da energia elétrica, encontram-se inúmeras e variadas oportunidades para conservação,

destacando-se a iluminação pública e de interiores, os refrigeradores, o acionamento eletromecânico, a reciclagem de recursos energéticos secundários da indústria, o projeto e os materiais empregados na construção civil, processos de aquecimento e eletroquímicos, melhorias nos processos de gestão dos sistemas produtivos, etc.

Conforme o campo de aplicação, a conservação pode proporcionar, economicamente, reduções do consumo superiores à metade de seu valor original, como na substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes de alta eficiência. Refrigeradores apresentam possibilidades de redução de seu consumo para cerca da metade. Em diversos processos industriais, o controle de acionamento eletromecânico e melhorias nas condições de isolamento térmico permitem significativas economias.

Entretanto, não apenas a disponibilidade dos meios — equipamentos, tecnologia, recursos financeiros — é necessária. É preciso que os preços da energia sejam representativos de seu custo para a sociedade, para que esta seja adequadamente orientada por tais preços, em seu comportamento. É necessária uma atitude, que pode ser institucionalmente promovida e tornar-se um componente cultural, no sentido de priorizar a conservação. Esse elemento é importante, mormente face à tendência dos consumidores privados de escolherem seus equipamentos em função do custo inicial dos mesmos. Até mesmo em sociedades mais ricas e que vêm sendo orientadas em relação à conservação, a "taxa de desconto implícita" (6) do sobrepreço de equipamentos, atribuível ao ganho de eficiência, apresenta valores significativamente mais elevados do que a taxa de juros do mercado, exceto para compradores de rendas mais elevadas, provavelmente menos afetados pela economia proporcionada pela conservação do que pelo seu conteúdo sócio-cultural.

A divulgação de meios necessários e a criação de uma mentalidade sensível à conservação, como a aplicação de selos de eficiência a equipamentos tais como refrigeradores, são, portanto, essenciais a esse componente da racionalização do uso da energia.

Finalmente, a quantificação de seu potencial e, principalmente, a previsão de que parcela desse potencial será realizada é extremamente difícil, por depender de grande número de variáveis e de decisões, de diversas naturezas. Em-

bora alguns resultados possam ser obtidos a curto prazo, sem investimentos significativos, medidas de conseqüências mais amplas apresentam inércia considerável. A exemplo de outros países, seria razoável admitir, num prazo da ordem de 15 anos, reduções dos requisitos globais de energia elétrica, em relação àqueles que ocorreriam se as medidas de conservação não fossem adotadas, da ordem de 10% a 20%, bem inferiores, todavia, ao provável valor potencial de conservação.

Considerações finais

Cabe por fim, comentar, ainda que sucintamente, a importância dos preços para a expansão da demanda de energia elétrica. Dada a complexidade das tarifas (e seus complementos), a variação de cada um de seus componentes, bem como a da estrutura tarifária, afeta diferentemente os diferentes segmentos do mercado de energia elétrica.

Restringindo esta discussão às variações do nível tarifário médio, a resposta da demanda, ou elasticidade-preço do mercado, pode ser avaliado a curto e a longo prazo: a curto prazo os consumidores podem colocar em prática alguma medida simples de conservação, repassar os custos a seu mercado ou alterar o nível de produção, caso a demanda de seu produto seja modificada; a longo prazo, entretanto, podem surgir modificações nas instalações e estrutura do consumidor, com alterações mais profundas do mercado.

As avaliações da elasticidade-preço, disponíveis no Brasil, para as várias categorias de consumo de eletricidade, apresentam valores bastantes diferentes e referem-se a situações nem sempre aconselháveis àquelas esperadas no futuro. De um modo geral, embora haja consenso quanto à importância dos preços, há controvérsia e incerteza quanto ao valor do efeito de sua variação(1). Tal incerteza fundamenta-se na possível dependência da elasticidade-preço de diversos fatores, tais como a estrutura do mercado, o nível inicial dos preços, a taxa de inflação, os preços das energias concorrentes, etc.

Conseqüentemente, à avaliação do efeito da variação dos preços por métodos estatísticos, calcada sobre uma situação verificada, mas passada e complexa, pode-se contrapor uma avaliação analítica, que procure avaliar independente e concomitantemente efeitos de variações de preços tais como conserva-

ção, substituição e variação de nível de demanda dos produtos.

Acredita-se que, no Brasil, onde o mercado de produtos industrializados é bastante fechado e, no setor residencial, é elevada a concentração de renda e mais, onde o nível de inflação é elevado e, como no resto do mundo, a eletricidade constitui um componente minoritário da maioria dos produtos finais, variações usuais do valor real dos preços não afetará significativamente a demanda, a menos que seja alcançado, para algum processo, o limiar de competição com outra modalidade de energia ou de emprego de outra tecnologia, ainda elétrica, ou, para produtos de exportação, que não podem repassar a seus mercados significativas variações de custo final, seja alcançado o nível de custo que os coloca fora do mercado.

Assim, a elasticidade-preço seria representada por uma curva de comportamento altamente irregular, que apresentaria patamares de valores muito baixos, intercalados de saltos, a cada novo limiar de substituição ou competição internacional alcançado, sendo o valor desses saltos função da importância do mercado envolvido por aquele limiar.

Para finalizar, cabe observar que aos níveis atuais de preços das diversas modalidades de energia e mesmo admitindo uma elevação daquelas da energia elétrica, não se acredita que a evolução do mercado global venha ser profundamente alterada pelos processos de conservação e substituição, dado que os efeitos, dos mesmos, em certa medida, tendem a se compensar.

Por outro lado, como não se prevê redução de custos de suprimento de energia elétrica e, portanto, dos preços aos quais é ofertada, o fator realmente importante para a expansão da demanda de energia elétrica é a evolução da natureza e do porte do mercado, trazidos pela elasticidade-renda e pelo crescimento do PIB. Para ilustrar essa colocação, observa-se que, para um crescimento do PIB a 6% a.a. e elasticidades de 1,67 ou 1,33, que conduzem a crescimentos da demanda de 10% ou 8% a.a., os requisitos globais ao final de vinte anos variam de 44%. Dado o custo e outras limitações para expandir a oferta de energia elétrica, muitas economias procuram "desvincular" seu crescimento econômico da demanda de energia, o que é parcialmente factível, a nível de algumas regiões, na medida em que possam retendenciar seu perfil produtivo.

Tal alteração freqüentemente envolve a transferência de indústrias de elevado consumo de energia elétrica para outras regiões, o que sugere importante limitação desse processo, com relação a países em vias de desenvolvimento, em virtude das alternativas de trocas internacionais com que estes países contam.

BIBLIOGRAFIA

1. Brandão, P. V., A. G. Busse e A. C. de Queiroz, Elasticidade-Renda, Elasticidade-Preço Pura e Cruzada, e Elasticidades de Outros Fatores que influem na Demanda de Eletricidade. ELETROBRÁS/DEME, Nota Técnica 25, 1984.
2. Busse, A. G., M. T. F. Serra e P. Erber, Substituição de Óleo Combustível por Energia Elétrica e ELETROBRÁS/DEME, Nota Técnica 20, 1982.
3. Erber, P., Substituição de Derivados de Petróleo por Energia Elétrica, Metodologia para Análise Econômica, abril de 1985.
4. Frisch, J. R., Énergie 2000-2020: Equilibre Mondial et Tensions Régionales. 12^e Congrès de la Conférence Mondiale de l'Énergie, New Delhi, Sept. 1983.
5. GCPS/CTEM — Mercado de Energia Elétrica 1984/2005, Brasil e Regiões Elétricas, Relatório Executivo, janeiro de 1985.
6. Goldemberg, J. e R. H. Williams, The Economics of Energy Conservation in Developing Countries: The Consumer versus the Societal Perspective. Draft, April 1985.
7. Häfele, W. Energy in a Finite World, A Global Systems Analysis. Cabridge, Man: Ballinger, 1981.
8. International Atomic Energy Agency, Energy and Nuclear Power Planning in Developing Countries. Technical Report Series no. 245, Vienna, 1985.
9. Ministério das Minas e Energia, Balanço Energético Nacional, 1984.