

política de preços nacional (MUNASINGHE, 1990). Esse tipo de planejamento se tornou tão abrangente e tão interligado com outras prioridades político-econômicas nacionais que os processos PENI não foram implementados de maneira significativa e não resultaram em nenhuma diferença considerável em planejamento energético e decisões de investimento.

Embora o PIR, como descrito acima, seja mais abrangente que os planos tradicionais de oferta das companhias elétricas, ele está longe da limitação do grau de integração encontrado no PENI. Os conceitos do PIR são tão bem aplicáveis a nível nacional quanto em sistemas energéticos regionais ou municipais. Para pequenos países, o nível nacional e o sistema de companhia elétrica pode ser o mesmo, neste caso o PIR nacional faz sentido. Para grandes países, o PIR pode ser conduzido a nível nacional e/ou a nível local, mas muitas medidas deverão ser conduzidas através de estruturas relativamente descentralizadas. Embora o PIR possa e sempre faça uso de políticas de preços de energia, ele não é caracterizado tão-somente por isso.

#### LEITURAS SUGERIDAS:

- ANDERSON, D. "Energy-Efficiency and the Economics of Pollution Abatement", in *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 18, pp. 291-318, 1993.
- EPRI (Electric Power Research Institute). *Efficient Electricity Use. Estimates of Maximum Energy Savings*. EPRI/CU-6746, 1990.
- FISHERA, C. M. H. ROTHKOPF. "Market Failure and Energy Policy", in *Energy Policy*, pp. 397-406, August, 1989.
- MUNASINGHE, M. *Energy Analysis and Policy*, Butterworths, London, 1990.

## C A P Í T U L O • D O I S

### A ESTRUTURA TECNOLÓGICA DAS PROJEÇÕES E DOS CENÁRIOS DA DEMANDA DE ENERGIA

As projeções de demanda de energia elétrica e de carga possuem um papel importante no PIR, porque elas ajudam a avaliar a necessidade de novos recursos. Projeções feitas com grande nível de detalhe e baseadas em informação de qualidade ajudam a determinar quais programas de eficiência ou DSM devem ser adotados nos momentos apropriados e quais usos-finais e setores de consumo devem ser priorizados. É importante ressaltar que as projeções de demanda realizadas durante o processo do PIR são de fato projeções de serviços de energia que levam em consideração as bases tecnológicas que provêm serviços de energia (e.g. o tipo de equipamento a ser utilizado para fornecer iluminação, aquecimento de água, força motriz, etc) no ano projetado, assim como os fatores socio-econômicos (população, renda, hábitos, por exemplo) que determinam os níveis de serviços de energia solicitados (nível de iluminação e temperatura em ambientes climatizados, por exemplo).

As projeções determinam o potencial de recursos existentes de energia "conservada". Esse potencial, como será visto neste capítulo, é a diferença entre os totais de demanda de eletricidade do cenário denominado de cenário base (ou *tendencial*) e outro cenário que considera a adoção de medidas de eficiência energética. O cenário base é também chamado de *cenário de eficiência congelada* e pode representar simplesmente o crescimento de serviços de energia, ou também pode incluir ainda a introdução natural de tecnologias novas e mais eficientes por parte dos consumidores de energia, como será visto mais tarde neste capítulo.

10. No Capítulo 3 serão discutidas estratégias para viabilizar a implementação das medidas de eficiência e de DSM através de programas e outros mecanismos.

## 2.1 MODELOS DE ANÁLISE E PROJEÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA

Diversos métodos podem ser usados nas projeções de demanda de energia elétrica (GWh) e de carga (MW)<sup>1</sup> de uma companhia ou região. Os dois principais procedimentos em uso corrente pela maioria das agências de planejamento e companhias de eletricidade são essencialmente baseados nos modelos econométricos ou nos modelos denominados técnico-econômicos. Além das diferentes feições dentro do processo de planejamento de serviços de energia desses modelos, outra grande diferença é o nível de agregação dos dados de entrada. Os modelos econométricos são mais agregados e baseiam-se essencialmente para suas projeções, nos fatores preços de energia e renda (ou outro indicador da atividade econômica) e suas relações com a demanda de energia elétrica.

De uma maneira geral, os modelos econométricos auxiliam a atuação no mercado de energia através de políticas de preços, enquanto que os modelos técnico-econômicos possibilitam a elaboração de ações no mercado consumidor através de estímulos de diversas ordens a modificações tecnológicas (como será visto no Capítulo 3).

### 2.1.1 Modelos Econométricos

Os modelos econométricos têm a vantagem de requerer menos dados e de possuir boa base teórica estatística. Geralmente, eles são usados para se estudar uma classe completa e homogênea de consumidores e não levam em conta necessariamente a sua estrutura tecnológica e o uso-final da energia.

Tipicamente o modelo econométrico procura representar o consumo de energia através de uma equação. Um dos tipos mais comuns de equação econométrica usada em estudos de energia é baseada na função de produção Cobb-Douglas, que expressa a demanda de energia em função de preços de energia e nível de atividade econômica:

$$E = \alpha Y^\alpha P^{-\beta} \quad [\text{Eq. 2.1}]$$

em que:  
 E é a demanda de energia,  
 Y = renda,  
 P = preço da energia,  
 $\alpha$  = elasticidade energia-renda,  
 $\beta$  = elasticidade energia-preço.

O modelo econométrico utiliza dados do passado para estimar estatisticamente (por meio de análise de regressão, por exemplo) os parâmetros  $\alpha$  (elasticidade energia-renda) e  $\beta$  (elasticidade energia-preço) da equação acima. Esses modelos foram amplamente usados nos estudos de projeções de demanda de energia até a década de 70 e até então eles representavam satisfatoriamente o comportamento da demanda de energia. Ainda hoje são ferramentas importantes para compreender a natureza agregada da demanda de energia e dois de seus determinantes – preço e renda. Atualmente considera-se que a estimativa das elasticidades de energia usando dados do passado é apenas uma indicação para o futuro. Desde a década de 70 existe uma crescente evidência mostrando que este relacionamento pode variar, sendo influenciado por mudanças na estrutura tecnológica da demanda de energia, no comportamento do consumidor, legislação, normas de uso de energia etc., fatores não necessariamente relacionados a preço ou renda. O choque de preços de petróleo mostrou também aos analistas de energia que alguns usos já se encontravam saturados em países industrializados e que novas informações deveriam ser incorporadas para explicar a evolução do consumo de energia.

Elasticidades de preço e renda indicam como a demanda por energia varia em função da mudança nos preços e renda nos modelos econométricos. A elasticidade da demanda de energia-renda é definida como:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\% \Delta E}{\% Y} \quad [\text{Eq. 2.2}]$$

em que:  
 E é a demanda por energia,  
 Y é a renda (PIB).

A elasticidade da demanda de energia-preço é definida de forma similar em relação ao preço pago pelos consumidores:

1. Frequentemente dedica-se especial atenção à projeção do "pico" máximo da demanda de eletricidade (ver Capítulo 1).

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\% \Delta E}{\% \Delta P} \quad [\text{Eq. 2.3}]$$

em que:  
E é a demanda de energia,  
P é o preço da energia.

O modelo econométrico é muito utilizado para fornecer uma referência à projeção do crescimento dos serviços de energia. Se a estrutura tecnológica da demanda de energia permanece constante (ou segue uma trajetória que pode ser extrapolada do passado), então o crescimento no consumo de energia projetado é idêntico ao crescimento nos serviços de energia. Esse tipo de projeção também é referido como um cenário de "eficiência congelada".

### 2.1.2 Modelos de Usos-finais

Os modelos de projeção de usos-finais (ou modelos técnico-econômicos), por outro lado, são muito mais detalhados, embora suas formulações analíticas possam ser bastante simples. Este procedimento se ajusta muito bem aos propósitos de projeções de eficiência energética porque é possível considerar explicitamente mudanças nos níveis de serviço e de tecnologia.

A demanda de energia para cada atividade é considerada como o produto de dois fatores: o *nível da atividade* (o serviço de energia) e a *intensidade de energia* (o uso de energia por unidade de serviço). Deve-se tomar cuidado com situações onde existe "demanda reprimida", isto é, quando o nível de consumo de energia não é realizado plenamente, por exemplo, quando consumidores não podem utilizar seus equipamentos por limitações de fornecimento (cortes de energia, rede elétrica subdimensionada).

Assim, no caso da iluminação o *nível de atividade* seria o número de lúmens-hora (quantidade de luz) necessários para as atividades de uma loja, que possui uma determinada área a ser iluminada durante o período comercial, e a *intensidade de energia* a quantidade de kWh necessários para prover cada lúmen-hora (o que depende da tecnologia e projeto de iluminação da loja).

Ao contrário do modelo econométrico, aqui é necessário classificar as diferentes atividades que formam a composição, ou a estrutura da demanda de energia em categorias homogêneas quanto às atividades econômicas e usos-finais de energia. É uma atividade que requer dados detalhados e inclusive novos levanta-

mentos e pesquisas de campo. Este tipo de análise é chamado de *bottom-up*, como foi visto no Capítulo 1.

O *nível de atividade* que implica em maiores necessidades de serviços de energia depende da população, da renda e da produção econômica. O *nível da intensidade energética* depende da eficiência energética, incluindo tanto aspectos operacionais quanto tecnológicos. A somatória dos produtos destes dois fatores sobre todos os serviços requeridos nos fornece a demanda total de energia.

$$\text{Uso de Energia} = E = \sum_{i=1}^{I=N} Q_i \cdot I_i \quad [\text{Eq. 2.4}]$$

em que:  
 $Q_i$  = Quantidade do serviço de energia  $i$ ,  
 $I_i$  = Intensidade do uso energético para cada serviço de energia  $i$ .

A intensidade  $I_i$  pode ser reduzida através de mudança tecnológica, sem afetar o nível dos serviços de energia (ou seja, mantendo o mesmo nível de iluminação de um ambiente, por exemplo), ou então diminuindo o uso (horas/dia) de um dado equipamento, reduzindo assim seu consumo de energia. Se esta redução é alcançada eliminando o uso desnecessário (ou desperdício), por exemplo através de tecnologia de controle melhorada, ela pode ser considerada uma melhoria de eficiência. Entretanto, se a redução decorre de uma redução de conforto (por exemplo: reduzir os níveis de iluminação ou temperatura de água para banho), então as economias resultantes deveriam realmente ser consideradas como uma redução no nível dos serviços de energia. Geralmente, a análise *bottom-up* no contexto do PIR supõe que tais reduções nos serviços de energia não ocorrem ou são feitas em todos os cenários e, então, não são tratadas como economia líquida de energia.

A quantidade de serviços de energia  $Q_i$  depende de diversos fatores, incluindo a população, a fração que usa o serviço do uso-final, e a extensão ou nível do uso de cada serviço.

$$Q_i = N_i \cdot P_i \cdot M_i \quad [\text{Eq. 2.5}]$$

em que:  
 $N_i$  = Número de consumidores eleitos por uso-final  $i$ ,  
 $P_i$  = Penetração (unidades/consumidor) do serviço do uso-final  $i$  (pode ser > 100%),  
 $M_i$  = Magnitude ou extensão do uso do serviço do uso-final  $i$ .

O parâmetro população  $N_i$  pode ser o número de residências, estabelecimentos comerciais, ou consumidores industriais. O requisito é que este valor concorde com a definição do denominador na variável penetração  $P_i$ . Esse valor é simplesmente a fração de consumidores que usam um dado uso-final elétrico (usos-finais usando outros combustíveis e gás devem ser tratados separadamente). Para usos-finais de resfriamento/aquecimento de ambiente e para construções comerciais em geral, o parâmetro penetração  $P_i$  relaciona a área construída onde o uso-final é aplicado, por exemplo.

Para eletrodomésticos, a penetração  $P_i$  representa o número ou fração de aparelhos por residência. Este parâmetro expressa a penetração de aparelhos tais como fogões elétricos, máquinas de lavar ou outros. Alguns aparelhos, como TVs e geladeiras, podem atingir um nível de saturação acima do qual não se espera aumentos.

O parâmetro  $M_i$  depende do uso-final. Para usos-finais industriais, ele pode ser um indicador da produção física de um dado produto. Para usos-finais comerciais  $M_i$  pode indicar a quantidade e nível do serviço requisitado, por exemplo a média de lúmens por metro quadrado de iluminação. Para eletrodomésticos  $M_i$  pode indicar a frequência do uso (horas de iluminação ou uso de televisão). Para usos-finais de resfriamento e aquecimento ambiente,  $M_i$  pode indicar a diferença de temperatura interna-externa (retirar), ponderada de acordo com o número de horas utilizado para esse uso-final.<sup>2</sup>

Portanto, o nível do serviço de energia depende da atividade econômica, da classe de consumidor considerada, de seus padrões de uso de energia e em alguns casos da informação da penetração dos serviços de energia incluídos naquela classe de consumidores. A intensidade do uso de energia  $I$  é o indicador da eficiência técnica para realizar uma unidade de serviço  $i$  de energia para aquela classe de consumidor. O exercício 1-2 apresenta o caso onde várias tecnologias de iluminação produzem quantidades equivalentes de serviço de energia – iluminação – com diferentes eficiências.

### 2.1.3 Dados e Estrutura dos Modelos “Uso-final”

A análise *bottom up* exige uma estimativa da estrutura de consumo segundo os usos-finais. Isto é importante para determinar quais são os usos mais re-

2. Este parâmetro é medido em graus-dia por metro quadrado de um espaço condicional e é medido separadamente para as estações de resfriamento e aquecimento.

TABELA 2-1:  
EXEMPLO DE INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA MODELOS “USO-FINAL”

CLASSE DE CONSUMIDOR	USO-FINAL	TECNOLOGIAS/MEDIDAS
Setor Industrial	Força Motriz	motor convencional, motor eficiente controle velocidade variável (VSD) + motor melhor dimensionamento dos motores e dos projetos
	Iluminação	incandescente fluorescente + reator eletromagnético fluorescente + reator eletrônico vapor de mercúrio, luminária reflexiva projeto de iluminação, iluminação natural
	Iluminação	incandescente, fluorescente compacta fluorescente (reator eletrônico, eletromagnético) instalações de bases, projeto de iluminação iluminação natural
Setor Residencial	Resfriamento	ventiladores, ar condicionado ventilação natural, resfriamento passivo
	Calentação	gás, elétrico, aquecimento central
	Refrigeração	refrigeradores eficientes
	Chuveiro	solar, gás
	Iluminação	incandescente fluorescente + reator eletromagnético fluorescente + reator eletrônico vapor de mercúrio, instalação de base reflexiva projeto de iluminação melhorada iluminação natural, sensores de ocupação ventiladores, ar condicionado ventilação natural, resfriamento passivo
Setor Comercial Serviços	Resfriamento	refrigeradores eficientes ventilação natural, resfriamento passivo
	Refrigeração	refrigeradores eficientes
	Chuveiro Calentação	aquecedores de água de bomba de calor, gás gás, elétrico, aquecimento central

levantes para a avaliação das oportunidades de aumento da eficiência de energia. A Tabela 2-1 ilustra o nível de informação necessária para alguns setores de consumo de eletricidade.

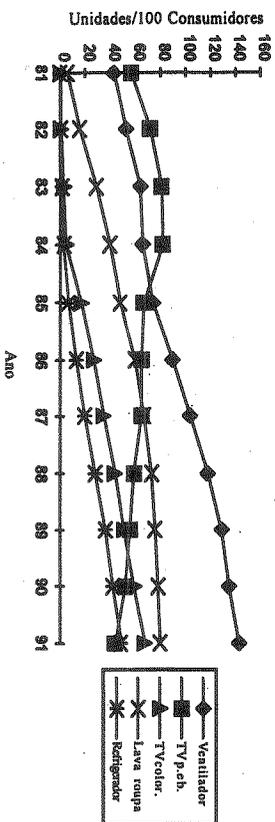
Nem sempre existem dados suficientes, ou de qualidade, para se caracterizar a estrutura de consumo segundo os usos-finais, e é aí que entra o trabalho do analista para realizar estimativas ou elaborar procedimentos de coleta de dados e medições. Avaliações baseadas em questionários e pesquisas de campo, análise de dados de faturamento, auditorias e medições energéticas, vendas de eletrodomésticos, são necessárias para a análise *bottom-up*. A Tabela 2-2 e a Figura 2-1 mostram um tipo de informação geralmente disponível para o setor residencial e que pode ser utilizada para se estimar a estrutura de uso-final de eletricidade para esse setor, como faremos mais adiante.

TABELA 2-2: COMPARAÇÃO INTERNACIONAL:  
PENETRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE USO-FINAL NO SETOR RESIDENCIAL

Cidade	Nº resid.	Ilum. Inc.	Ilum. Fluor.	TV p/b.	TV color.	Re. frigé.	Chuv. Elét.	Ar cond.	Lava roupa
Beijing ('90)	2416918	88	93	42	77	87	1	2	84
Manila ('90)	1520813	85	88	41	55	93			8
Pune ('90)	323194	86	84	40	38	40	41	2	20
Tailândia* ('90)	1446262	57	98			82	5	15	76
Nanning ('90)	286533					54		0	17
Hong Kong ('90)	1030928			2	98	98		51	89
Manaus ('92)	201000	98	60	30	84	84	10	23	13

\* Valores de média ponderada para Bangkok, Chiang Mai, e Ayuthaya.  
Fonte: SATHAYE et al. (1991), JANNUZZI et al. (1995)

FIGURA 2-1: EVOLUÇÃO DA POSSE DE ELETRODOMÉSTICOS NA CHINA - ÁREA URBANA (1981-1991)



Fonte: LIU (1993).

Dutt (DUTT, 1992) ilustra um método para estimativa de uso-final usando dados de vendas de lâmpadas no México. A Tabela 2-3 mostra as vendas por categoria de lâmpadas de 1985 a 1989. Cada lâmpada vendida substituiu tanto uma lâmpada que deixou de funcionar quanto pode ter sido colocada num novo ponto de luz ou proveniente de nova instalação. Uma vez que as vendas não mostram um rápido crescimento, podemos supor que a maioria delas substituiu outra existente e para o presente cálculo supomos que todas foram de substituição.

Este procedimento dá um limite superior para o consumo de energia através de lâmpadas. Para aparelhos de vida útil mais longa e que estão au-

mentando suas vendas anuais, tais como freezers e ar condicionados, o estoque existente deve ser maior que aquele indicado pela média de vendas anuais e isso deverá ser refletido nas estimativas de estoque de equipamentos em uso que consomem eletricidade. Em tais casos, portanto, o uso de energia anual seria subestimado por este modelo simples proposto pela equação abaixo (Eq. 2-6).

TABELA 2-3: VENDAS DE LÂMPADAS (MILHÕES DE UNIDADES) NO MÉXICO

Tipo de lâmp.	1985	1986	1987	1988	1989	Média
Incandescente até 100W	140	118,5	147	121,5	138	133
150-1500 W	2,9	2,3	2,2	1,7	2,0	2,22
Fluorescente						
20 & 40 W	3,8	3,3	3,8	3,5	3,7	3,62
39, 55&75W	9,7	9,1	11,3	9,7	11,6	10,28
Outros	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,34
Total	14,8	13,8	16,5	14,5	16,6	15,24

Fonte: DUTT (1992).

Assumindo-se que cada lâmpada substituiu outra que queimou ao final de sua vida útil (VU horas)<sup>3</sup> e conhecido o número total de lâmpadas vendidas em um ano temos para aquele tipo de lâmpada:

$$\text{Uso de energia anual} = (\text{vendas de lâmp./ano}) \times (\text{média pot. lâmp.}) \times (\text{vida lâmp.}) \quad [\text{Eq. 2-6}]$$

Para dados de vendas de lâmpadas consideramos a venda anual média durante 1985-89, como mostra a última coluna da Tabela 2-3 e informações adicionais dos fabricantes com relação à magnitude das vendas de acordo com a potência da lâmpada. Os dados de vendas, a vida relativa da lâmpada e o consumo de energia anual implícita estão (para o México) na Tabela 2-4.

Note que a Tabela 2-4 não inclui o consumo de energia dos reatores das lâmpadas fluorescentes. Supondo que os reatores adicionam 20% ao consumo das lâmpadas fluorescentes, o consumo total de energia utilizada seria o mostrado na Tabela 2-5.

TABELA 2-4: ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA PARA OS PRINCIPAIS TIPOS DE LÂMPADAS, MÉXICO (85-89)

Tipo de lâmpada e potência (W) Incandescente	Vida (horas)	Vendas médias anuais (1000s)	Consumo de eletricidade (TWh/ano)
25	1000	8650	0,166
40	1000	13300	0,332
60	1000	39800	2,384
75	1000	18980	1,486
100	1000	53200	5,320
100-1500 (média 200)	1000	2200	0,440
Subtotal			10,348
Fluorescente			
20, 40 (média 30)	12000	3620	1,303
35, 55, 75 (média 56,33)	12000	10280	6,949
Outros (média30)	12000	1340	0,482
Subtotal			8,734

Fonte: DUTT (1992).

TABELA 2-5: CONSUMO DE ELETRICIDADE POR TIPO DE LÂMPADA, INCLUINDO REATORES, NO MÉXICO (85-89)

Tipo de lâmpada	Consumo (TWh/ano)	Incandescente	Fluorescente
		10,348	10,481

Fonte: DUTT (1992).

## Exercício 2-1

Ilustrou-se acima o método do cálculo do consumo de energia para lâmpadas usando dados de vendas para o México segundo DUTT (1992). Será que esse método é válido igualmente para as lâmpadas incandescentes e fluorescentes com vidas úteis tão diferentes? A Tabela 2-6 abaixo mostra vendas de dois eletrodomésticos, de 1985 a 1989, no Brasil. Estime o consumo de energia correspondente a partir dos dados de vendas (supondo a vida do refrigerador = 35.000 horas e a vida do ar condicionado = 2.400 horas, e a potência média do refrigerador = 210 W e a potência média do ar condicionado = 1.415 W). Considere que o ar condicionado seja utilizado 1.200 horas/ano e o refrigerador 3.500 horas/ano e que no ano de 1985 os estoques de refrigeradores e aparelhos de ar condicionado eram respectivamente de  $22 \times 10^6$  e  $1 \times 10^6$  unidades.

TABELA 2-6: VENDAS EQUIPAMENTOS (MILHARES DE UNIDADES) NO BRASIL, 1985-89

Uso-final	1985	1986	1987	1988	1989	Média
Refrigerador	1689	1963	1907	1651	1931	1828
Ar condicionado	265	397	475	424	481	408

Fonte: COPPE/UFRJ e ELETROBRÁS (1991).

É confiável uma estimativa de consumo de energia baseada nos dados de vendas dos equipamentos? Faça uma lista das possíveis fontes de erros e incertezas. Compare estes resultados com o exemplo de uso de energia em iluminação acima.

## Exercício 2-2

Supondo os valores de consumo anual por aparelhos listados na Tabela 2-7, estime o uso de eletricidade anual para a iluminação, TV, uso de refrigerador, chuveiro, ar condicionado e máquina de lavar, para as cidades listadas na Tabela 2-2. Compare a estrutura de consumo dessas cidades e discuta as possíveis fontes de erro neste procedimento. Quais os usos-finais mais importantes?

TABELA 2-7: CONSUMO ANUAL POR APARELHO E POR RESIDÊNCIA EM MANAUS

Uso-final	(kWh/ano)
Iluminação Incandescente	110
Iluminação Fluorescente	50
TV	174
Refrigerador	763
Chuveiro Elétrico	431
Ar condicionado	1115
Lavadora de roupas	265

Fonte: JANNUZZI et al. (1995). Nota: os dados de iluminação referem-se ao total anual consumido por residência.

## Exercício 2-3

A estrutura de uso-final de eletricidade pode variar significativamente através de países e de regiões. A Tabela 2-8 ilustra a classificação de consumo de eletricidade pelos principais setores e usos-finais.

TABELA 2-8: A ESTRUTURA DE CONSUMO DE ELETRICIDADE SEGUNDO USOS-FINAIS EM ALGUNS PAÍSES

Uso-final	Índia	Taiwan	Chile	Canadá	Argentina	Brasil
Ind. Min. Agr.						
Mot&Bombas	80	73	85	85	75	49
Iluminação	6	3	7	10	7	2
Refrigeração	2		3		3	
Aquec. Processo	2		3		3	10
Aquec. Direto		11				32
Eletroquímico	8		2			7
Outros	2	13		5		
Total	100	100	100	100	100	100
Residencial						
Refrigeração	13	21	25		29	32
Iluminação	28	21	30		30	23
Chuveiro			3			26
Ar cond. &	11	5	1		2	3
Evap./resfriar						
Televisão	4	9	8		8	8
Cozimento		17	3			1
Ferro			8		8	
Calentação			7		3	
Calentação-Ventiladores	34		5		5	
Lava roupas			5		7	
Outros	10	26	5		8	7
Total	100	100	100	100	100	100
Comercial						
Iluminação	60	31	50	38	53	44
Motores			10	30	10	
Refrigeração		47	12	9	12	17
Equipamento			8	7	10	8
Calentação			8	14	3	
Chuveiro			2	2		
Ar condicionado	32		5		7	20
Outros	8	22	5		5	11
Total	100	100	100	100	100	100

Fonte: VALDES-ARRIETA (1993), DUTT & TANIDES (1993).

Se você necessitasse fazer um único programa de eficiência de energia para o setor industrial dos países listados na Tabela 2-8, com quais usos-finais você trabalharia? Por quê?

## Exercício 2-4

Considere ainda a Tabela 2-8. Caso você necessitasse fazer um programa específico de eficiência energética para cada um desses países, que usos-finais por setores escolheria?

## 2.2 PROJEÇÕES DA DEMANDA DE ENERGIA

A seguir são apresentados alguns exemplos ilustrativos de equações usadas para projetar a demanda de energia em uso-final. As equações apresentadas podem ser alteradas de acordo com a disponibilidade de dados e a finalidade do planejamento dos serviços de energia.

Os modelos de usos-finais fazem projeções para cada uso-final considerado, usando como variáveis de entrada as informações sobre o nível do serviço de energia exigido e a eficiência técnica (ou intensidade de energia) necessária para realizar uma unidade daquele serviço. Por exemplo, suponha que se queira projetar a quantidade de MWh anual necessária para iluminação em edifícios de escritórios. Tem-se a área total a ser iluminada em um dado nível (por exemplo, 400 lux), o que representa o nível de serviço. Como um parâmetro de eficiência técnica tem-se a quantidade anual de eletricidade por unidade de área consumida (kWh/m<sup>2</sup>). O que necessitamos é projetar a quantidade futura de metros quadrados e o fator de eficiência: a quantidade de kWh necessária para fornecer o nível requerido de iluminação. Geralmente o fator intensidade energética varia com diferentes cenários, enquanto a projeção da área construída (o serviço de energia ou nível de atividade) é constante em todos eles (ver Seção 2.3).

Algumas vezes o método de projeção combina modelos de usos-finais e econômétricos. Eles incluem, portanto, a relação econométrica entre o nível de atividade de um setor com o resto da economia e ainda permitem uma consideração explícita das melhorias tecnológicas para cada uso-final. No exemplo dado acima, a projeção da área construída para edifícios pode ser representada por uma expressão econométrica a partir do PIB do setor comercial. A projeção é, então, feita em dois estágios: primeiro a projeção da área construída que está relacionada com a evolução do PIB através da elasticidade  $\gamma$  (Equação 2-7) e a seguir a projeção da energia requerida (Equação 2-9).

Por exemplo:

$$\text{Área} = a \cdot P/B^y \quad [\text{Eq. 2-7}]$$

em que:  
 $a, y$  = coeficientes,  
 Área = a área do piso  
 construída (m<sup>2</sup>).

Simplificando, se considerarmos somente o uso de energia para iluminação, a quantidade de serviço de energia será:

$$Q_{\text{luz}} = \text{Área} \times M_{\text{luz}} \quad [\text{Eq. 2-8}]$$

em que  $M_{\text{luz}}$  = horas de uso de  
 iluminação para um dado nível de  
 iluminação

Para o caso de energia em iluminação ( $E_{\text{luz}}$ ) será:

$$E_{\text{luz}} = \text{Área} \times M_{\text{luz}} \times I_{\text{luz}} \quad [\text{Eq. 2-9}]$$

em que  $I_{\text{luz}}$  = intensidade de  
 energia (W/m<sup>2</sup>)

### 2.2.1 Setor Residencial

O uso total de energia residencial é a soma da energia demandada por serviços residenciais tais como iluminação, calefação / resfriamento, refrigeração, televisão, chuveiro etc.

$$E_R = \sum_{i=1}^{i=n} E_R^i \quad [\text{Eq. 2-10}]$$

em que  $i$  = uso-final específico  
 (iluminação, calefação/resfriamento  
 etc.)

Cada uso-final específico pode ter uma expressão segundo a [Eq. 2-4]:

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i \cdot I_i \quad [\text{Eq. 2-11}]$$

Para o setor residencial a Eq. 2-5 ficaria:

$$E_R^i = N_i \cdot P_i \cdot M_i \cdot I_i \quad [\text{Eq. 2-12}]$$

em que:  
 $N_i$  é o número total de residên-  
 cias com uso-final  $i$ ,  
 $P_i$  = é o nível de penetração dos  
 aparelhos por uso-final  $i$ ,  
 $M_i$  = é o número de horas, graus-  
 dia ou frequência do uso por ser-  
 viço de energia,  $i$ ,  
 $I_i$  = é a intensidade do uso-final  $i$ .

Nesta equação está expresso o nível de serviços de energia ( $Q$ ) exigido dado pelo produto de  $N$  por  $P$  e  $M$ . De acordo com esta formulação, é neces-  
 sário projetar os níveis de  $N$  e  $P$  e então manter  $M$  e  $I$  para o cenário de efici-  
 ência congelada ou diminuir-los, assumindo a implementação de medidas de  
 eficiência.

Uma vez que os requisitos de serviços de energia residencial variam atra-  
 vés das classes de renda (ANNUNZI, 1989), a Eq.(2.11) pode ser aplicada  
 para cada classe de renda e a demanda total de energia residencial é dada por:

$$E_R = \sum_{i,j=1}^{n,m} E_R^{i,j} \quad [\text{Eq. 2-13}]$$

em que:  
 $i$  = uso-final,  
 $j$  = classe de renda.

### 2.2.2 Setor de Comércio e Serviços

As atividades comerciais e de serviços ocorrem essencialmente em edifi-  
 cações, e assim é útil desagregar a demanda de energia por tipos de edifícios e  
 medir a *intensidade energética* de uso-final em termos de kWh/m<sup>2</sup>. A definição  
 de área (em m<sup>2</sup>) deve ser consistente e deve conciliar valores estatístico/comer-  
 ciais com valores técnico/arquitetônicos para diferentes contabilidades de áreas  
 de armazenamento e de corredores, por exemplo.

$$E_C = \sum_{i,j=1}^{n,m} E_C^{i,j} \quad [\text{Eq. 2-14}]$$

em que:  
 $i$  = uso-final,  
 $j$  = setor (tipo de construção).

Redefiniremos a Eq. 2-4 para maior conveniência (a ser usada com os dados apresentados no Exercício 2-7).

$$\text{Uso de Energia} = E = \sum_{i=1}^{I_{ii}} Q_i \cdot I_i$$

$I_i$  = é definido como a média de watts do uso-final  $i$  instalada por metro quadrado. Note que tipos diferentes de construções ou áreas para usos específicos podem ter diferentes níveis de serviços de energia (e. g. lux) e assim diferentes intensidades. Aqui, o nível de serviços de energia  $Q_i$  é identificado como:

$$Q_i = A_i \cdot P_i \cdot M_i$$

[Eq. 2-15]

em que:

$A_i$  = é a área total do setor  $j$  (ou tipo de construção  $j$ ),

$P_i$  = é a percentagem da área de superfície total servida pelo uso-final  $i$ ;

$M_i$  = é o número de horas, dias ou frequência do uso por serviço de energia  $i$ .

Maior atividade econômica futura influenciará a taxa de crescimento da área construída dos setores comercial e de serviços (por exemplo, maior uso do ar condicionado e o número de horas que os aparelhos serão usados) ou seja, haverá um aumento do nível de serviços. Nesta equação uma melhoria técnica (menor intensidade energética) é representada por uma diminuição do número de watts utilizados por metro quadrado.

### 2.2.3 Setor Industrial

De modo análogo o setor industrial deve ser desagregado em ramos industriais homogêneos e cada um deles nos usos-finais mais importantes.

$$E_c = \sum_{ij=1}^{n \cdot m} E_c^{ij}$$

[Eq. 2-16]

em que:

$i$  = uso-final,

$j$  = setor industrial.

Na Eq. 2-5 a quantidade dos serviços de energia  $Q_i$  será dada por:

$$Q_i = N_i \cdot P_i \cdot M_i$$

[Eq. 2-17]

em que:

$N_i$  = é o número total do sub-setor industrial  $j$ ;

$P_i$  = é o nível de penetração do aparelho por uso-final  $i$ ;

$M_i$  = é o número de toneladas do produto  $j$  requerendo o serviço de energia do uso-final  $i$ .

A intensidade de energia  $I_i$ , no caso do setor industrial, pode ser definida como a quantidade de energia por tonelada (ou outro indicador físico) do produto  $j$ , requerendo o serviço de energia  $i$ .

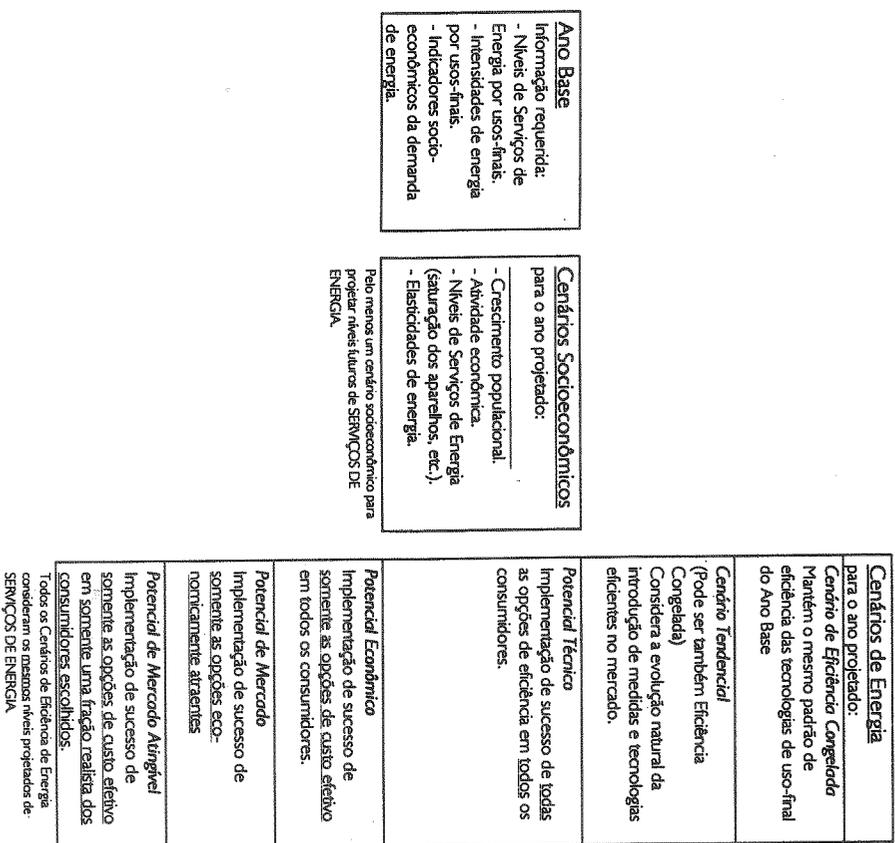
### 2.3 ESTRUTURA E TIPOS DE CENÁRIOS DE PROJEÇÕES

Análise de cenários<sup>4</sup> é utilizada para comparar as possibilidades de atender um dado nível de serviços de energia. Os modelos de usos-finais (*bottom-up*) não são modelos completos, como foi dito anteriormente, por isso é necessário se apoiar em informações da estrutura e crescimento econômico, ou seja, num modelo macroeconômico *top-down* para projetar a demanda de serviços de energia. Frequentemente, começa-se com um cenário socioeconômico que fornece projeções de população, de estrutura e de crescimento econômico para um país ou região particular, desde o presente até o ano alvo. Algumas vezes podemos trabalhar com mais de um cenário socioeconômico, por exemplo, um cenário de alto crescimento econômico e outro de menor crescimento. Isto permite fazer uma análise de sensibilidade em parâmetros socioeconômicos que podem ter impacto maior na demanda de energia (Figura 2-2).

Pelo menos dois cenários de uso-final são necessários: um cenário de referência e outro que considere melhorias na eficiência de uso-final. O cenário de referên-

4. Cenário é definido aqui como sendo um conjunto de hipóteses que descrevem as características socioeconômicas, requerimentos de demanda de energia e estratégias de atendimento dessa demanda.

FIGURA 2-2  
 FATAPAS PARA ELABORAR CENÁRIOS DE EFICIÊNCIA DE DEMANDA DE ENERGIA



cia pode manter os níveis atuais de eficiência de energia, e neste caso é chamado *cenário de eficiência congelada*, ou pode ser também um *cenário tendencial* (Figura 2-2). O cenário eficiente pode ser derivado para uma medida de uso-final ou um conjunto de melhorias em diversos setores e usos-finais. Existem diversos tipos de cenários eficientes, incluindo o cenário potencial técnico, o cenário potencial econômico e o potencial de mercado, que serão descritos a seguir.

### 2.3.1 Cenário de Referência

O cenário de referência *eficiência congelada* não é um cenário realista, porque, mesmo se não são feitos esforços no sentido de aumentar a penetração de novas tecnologias e medidas de eficiência, existe um sucateamento natural de equipamentos e tecnologias e a sua reposição por modelos mais novos, geralmente mais eficientes. Assim o cenário de eficiência congelada pode ser usado para representar o crescimento futuro de serviços de energia. O nível de serviços de energia pode ser difícil de ser estabelecido de maneira homogênea entre os vários setores porque podem ser medidos em unidades diversas tais como lúmen-horas de iluminação, grau-dia-metros quadrados do ambiente aquecido ou da área construída com ar condicionado, toneladas de produtos manufaturados etc. Alguns serviços de energia, tais como cozimento, diversas eletrônicas ou serviços de escritórios, podem ser difíceis de serem quantificados. Indexando os níveis de serviços ao presente consumo de energia e representando-os em um cenário de eficiência congelada, simplifica-se o problema.

O *cenário tendencial* supõe que a evolução atual é mantida com relação ao uso de energia, penetração de equipamentos (modelos eficientes e menos eficientes) etc., que seriam esperados sem que houvesse uma interferência de políticas de transformação de mercado de energia. Em países onde o PIR não é uma prática comum, este cenário deve coincidir com a previsão oficial.

### 2.3.2 Cenário "Potencial Técnico"

Este cenário considera todas as possíveis melhorias técnicas nos equipamentos, construções e processos que podem ser introduzidos no ano projetado. Representa, portanto as economias hipotéticas que poderiam ser atingidas se todos os sistemas pudessem ser retirados e substituídos por outros mais eficientes.

Também é possível distinguir um *potencial teórico de eficiência energética*, que pode ser definido de acordo com os limites termodinâmicos das conversões entre as formas de energia envolvidas. Por exemplo, se toda a energia usada por uma lâmpada elétrica fosse convertida preferencialmente em luz que em calor, a eficácia da lâmpada (uma medida de eficiência de energia) seria muitas vezes maior que as melhores lâmpadas hoje disponíveis. Similarmente, os limites de eficiência de aquecimento e resfriamento podem ser determinados pelos limites de eficiência termodinâmica para uma bomba de calor operando entre as temperaturas internas e externas.

O potencial técnico de eficiência energética pode ser definido como uma melhoria na eficiência de energia do uso-final que poderia resultar se as tecnologias eficientes disponíveis hoje pudessem atingir 100% da saturação do mercado durante a vida útil das tecnologias (10-20 anos) (EPRI, 1990). Claramente, esta definição também é específica para cada tecnologia, já que melhorias de projeto de sistema ou construção sempre podem reduzir a necessidade de energia, além das melhorias de equipamentos. Na prática o potencial de eficiência técnica está sempre mudando com a disponibilidade de novas tecnologias. O potencial técnico dá uma indicação para orientar os esforços e investimentos no sentido de criar mecanismos de transformação no mercado consumidor, indicando quais novas tecnologias devem ser estimuladas para serem introduzidas.

### 2.3.3 Cenário "Potencial Econômico"

Este tipo de cenário considera somente aquelas alternativas que possuem uma avaliação de benefício econômico para os agentes que estão elaborando o PIR. As alternativas do lado da demanda são restritas somente àquelas medidas que satisfazem um dado limite de custo. Este limite é uma referência para se verificar se uma dada medida é considerada lucrativa para a sociedade, para os consumidores, para a companhia de eletricidade ou para uma outra agência que execute o PIR. Os custos competitivos das alternativas do lado da oferta são levados em conta e os custos ambientais e outras externalidades podem ser também incluídos.

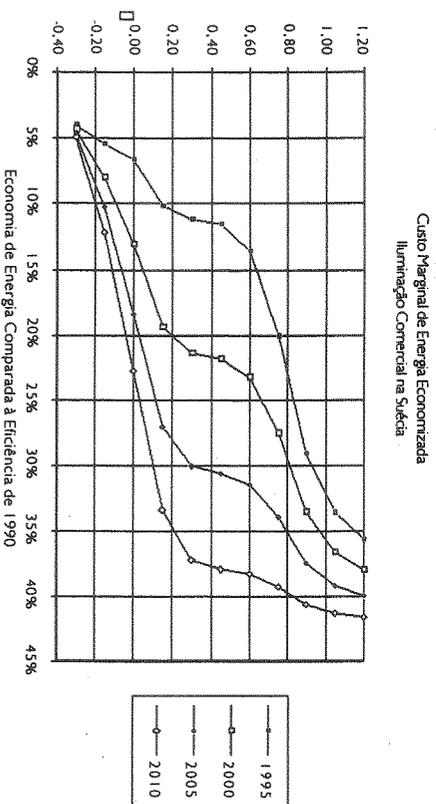
Assim, o potencial econômico de eficiência energética é uma função do limite de custo das medidas, baseado no tempo de retorno dos investimentos, taxa interna de retorno, ou custo de energia economizada. Tomando por base este conceito, é comum representar este potencial na forma de curvas de custo marginal (algumas vezes chamadas de "curvas de oferta") da energia economizada.

A Figura 2-3 apresenta uma amostra da curva de custo para o potencial de eficiência energética no setor de serviços da Suécia. O eixo horizontal mostra a fração de energia de iluminação que pode ser economizada a um dado custo marginal, em quatro diferentes anos de projeção. A base para estas economias é o consumo resultante quando todos os equipamentos instalados (novos e substituídos) após 1990 possuem a mesma eficiência média que em 1990. Esse valor de consumo base aumenta com o tempo. A um dado nível de custo marginal, as economias de energia incluem os efeitos de todas as medidas de eficiência com um custo de energia economizada menor que o nível de custo marginal. Estas curvas de custo mostram o

potencial de eficiência em um dado ano a um dado nível de custo, mas elas não indicam quanto daquele potencial pode ser atingido por intermédio de um programa real ou quanto seria atingido sem o programa.

Note-se que algumas economias identificadas na Figura 2-3 estão disponíveis a custo negativo, como economias de custo de manutenção já que estas podem compensar os custos iniciais de tecnologia. No outro extremo da escala, o potencial de economia energética a custos marginais relativamente altos deve ser substituído em tais análises de uso-final. Estes estudos são baseados em análise técnica de medidas próprias para serem implementadas num curto prazo, os quais sempre excluem medidas que não parecem ser interessantes sob as atuais condições econômicas. Isto explica o aumento excessivo nos custos marginais a altos níveis de economias de energia na Figura 2-3, que provavelmente mostrariam maiores economias nesses níveis se mais informações fossem disponíveis sobre tais medidas.

FIGURA 2-3  
CURVAS DE CUSTO MARGINAL PARA EFICIÊNCIA DE ENERGIA EM ILUMINAÇÃO  
NO SETOR DE SERVIÇOS DA SUÉCIA



Fonte: SWISHER et al., 1994.

Nota: Economias de energia em um dado ano são medidas pelo consumo projetado, supondo que todos os equipamentos instalados após 1990 possuem a mesma média de eficiência que aqueles instalados em 1990, e expressas como uma porcentagem do consumo projetado. Os custos unitários são em coroa sueca (SEK) por kWh, 7 SEK = 1 US\$.

### 2.3.4 Cenário "Potencial de Mercado"

Nem todas as medidas, mesmo aquelas que apresentam custos atraentes, podem ser implementadas com sucesso através de DSM ou outros programas de eficiência energética. Embora a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas compactas fluorescentes (LCF), por exemplo, possa ser economicamente interessante para a sociedade (v. por exemplo, MILLS, 1991), nem todos os consumidores querem instalá-las em suas casas. Assim, o cenário potencial de mercado captará a distinta quantidade de economia que efetivamente será implementada, considerando as condições que limitam a abrangência e penetração de uma medida no mercado consumidor. Além dos custos da tecnologia, as medidas de eficiência energética consideradas nesse cenário incluem também custos administrativos dos programas de eficiência e DSM, a possibilidade técnica e institucional das medidas, a aceitação e participação do consumidor.

Atingir o potencial pleno de mercado leva tempo, e uma penetração de mercado de 100%<sup>5</sup> não pode ser atingida na maioria dos casos. Mesmo com fortes incentivos, as novas tecnologias levam tempo para absorver uma grande fatia de mercado. Assim, o potencial de mercado atingível inclui uma crescente fração do potencial de mercado total no tempo. Este potencial é uma função do tempo permitido, do tipo de programas e instituições envolvidas, e da relação de custo-benefício das medidas envolvidas. O cenário de mercado atingível captará as melhorias de eficiência disponíveis através de programas reais e os limites de penetração de mercado existente ao longo do período de planejamento.

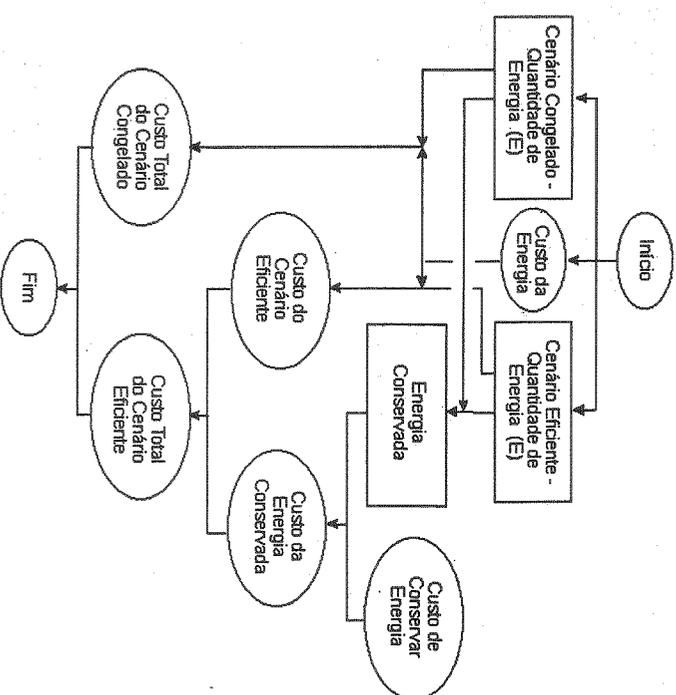
### 2.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE CENÁRIOS: CUSTOS E EXTERNALIDADES

Cada cenário descrevendo uma demanda de energia projetada requererá investimentos em novas usinas e/ou a implementação de programas de eficiência ou DSM. O fluxograma apresentado na Figura 2-4 ilustra um exemplo de projeção onde

os custos de produção de energia (US\$/kWh) estão associados com a eletricidade total demandada pelo Cenário de Eficiência Congelada. O Cenário Potencial Econômico inclui estes custos, mas também incorpora os custos ocorridos com a conservação de eletricidade via programas DSM e de eficiência. No Capítulo 3, veremos detalhes sobre os custos dos programas e o Apêndice 3 mostra como estimar os custos de conservar eletricidade.

FIGURA 2-4

FLUXOGRAMA DOS CUSTOS DE ENERGIA



<sup>5</sup> Esse potencial pleno de mercado não representa necessariamente o potencial técnico descrito na seção anterior.

O processo de elaboração do PIR tem a preocupação de desenvolver critérios para escolher o cenário que melhor represente os benefícios para o setor elétrico, consumidores e sociedade em geral. Nesta seção apresentamos alguns dos critérios que foram desenvolvidos para a realidade norte-americana. Os cenários descri-

tos acima (Seção 2.3) permitem considerações específicas das opções do lado da demanda que devem ser complementadas com opções de oferta. Qualquer que seja o critério escolhido ele reflete alguma perspectiva de avaliação, que pode ser da companhia de eletricidade (ou outra agência executora), do consumidor (participante ou não no programa DSM) ou da sociedade como um todo. Além de custos existem outros critérios, como impactos ambientais e sociais, que cada vez mais estão sendo importantes na orientação da escolha de cenários e conseqüentemente das ações e investimentos associados a eles. O plano resultante deve expor claramente qual foi o critério usado para selecionar estas opções e a sensibilidade dos resultados com relação aos dados de entrada considerados (HIRST, 1992).

Uma publicação conjunta da California Energy Commission e da California Public Utilities Commission chamada de *Standard Practice Manual: Economic Analysis of Demand-Side Management Programs* (dezembro, 1987), expõe as definições e procedimentos computacionais para determinar os custos dos cenários que incorporam medidas de DSM e de eficiência. São definidos cinco diferentes testes: o Teste do Participante, o Teste do Não-participante (RIM), o Teste do Custo Total do Recurso (CTR), o Teste Social e o Teste do Custo da Companhia de Eletricidade.

Como exposto em *An Energy Efficiency Blueprint for California* (janeiro, 1990), o objetivo do investimento e planejamento de recursos das companhias elétricas é minimizar o custo para os consumidores de energia. Uma vez que o PIR considera o DSM e a introdução de medidas de eficiência como recursos de energia do mesmo modo que as alternativas do lado da oferta, é importante ter procedimentos adequados para aferir os custos dessas ações. É necessário reconhecer que existem diferentes perspectivas de avaliação e percepção de custos entre os agentes que elaboram o PIR (consumidores, setor elétrico, por exemplo). Mesmo entre consumidores de eletricidade podem também existir interesses diferentes dependendo, por exemplo, se ele é alguém que se beneficia dos incentivos financeiros de um programa de conservação da companhia de eletricidade; se ele é um consumidor que não utiliza a medida ou então se escolhe não participar do programa. Como um não-participante poderia dizer, por exemplo, "Eu já modifiquei todo o sistema de iluminação de minha loja sem nenhuma ajuda da companhia e agora você está oferecendo um apoio financeiro aos meus vizinhos se eles fizerem isto... isto não é justo".

Para ilustrar o processo de escolha das opções do lado da demanda que serão consideradas no plano PIR, é apresentado a seguir o critério desenvolvido pela *California Energy Commission* e a *California Public Utilities Commission* em um processo chamado de *California Collaborative*.

## 2.4.1 Teste do Participante

O Teste do Participante mede a diferença entre os custos em que um consumidor incorre ao participar em um programa DSM/eficiência e os benefícios subseqüentes recebidos por aquele participante.

Os benefícios do participante incluem a redução na sua conta de energia, eventuais incentivos pagos pela CE ou por outra terceira parte ou alguma isenção de impostos local, estadual ou federal. Os custos para o consumidor incluem todas as suas despesas adicionais resultantes da participação no programa, como o custo do equipamento comprado e alguns custos de manutenção e operação.

Na perspectiva do participante, um programa é vantajoso se o valor presente dos benefícios excede o valor presente dos custos durante a duração das medidas propostas. Uma dificuldade com o Teste do Participante é selecionar a taxa de desconto apropriada para analisar os custos e benefícios.

O Teste do Participante é muito frágil como um critério de seleção de cenários, pois é improvável que um programa DSM/eficiência seja efetivamente considerado se seus participantes perdem dinheiro. Quando isto acontece esses programas sequer fazem parte das medidas propostas pelo cenário considerado.

## 2.4.2 Teste do Não-participante (RIM)

Esse teste chamado de *Rate Impact Measure-RIM* é uma medida do que acontece com as tarifas da companhia de eletricidade (i.e. os preços de energia US\$/kWh que os consumidores pagam) ao serem incluídos os custos de um programa DSM/eficiência. Se o programa causa um aumento nas tarifas, os não-participantes, que não mudaram seus usos de energia, terão aumentos em suas contas. Os participantes, por outro lado, com o mesmo aumento de taxa, devem ter suas contas totais de energia diminuídas, uma vez que estão consumindo menos energia (de fato, elas irão cair se o programa de conservação passa pelo Teste do Participante).

As tarifas praticadas pela companhia aumentarão se os benefícios para ela forem menores que os custos decorrentes da implementação do programa. Os benefícios calculados no teste RIM são as economias que a companhia de eletricidade realiza ao evitar custos de oferta. Estes custos evitados são os custos marginais dos recursos de oferta substituídos pelo programa de conservação. Eles incluem a redução da transmissão, da distribuição, da geração e dos custos de capacidade dos períodos quando a carga foi reduzida (assumindo que o propósito do DSM seja reduzir cargas). Os custos calcu-

lados no teste RIM incluem custos do programa (incentivos pagos para os participantes, custos administrativos do programa) e quedas nas receitas das vendas de eletricidade.

Para um programa ser economicamente atraente, usando o teste RIM, as tarifas da companhia de eletricidade não devem aumentar. Isto é, os não-participantes não devem ver nenhum aumento nas suas contas de eletricidade. Enquanto este programa é algumas vezes descrito como o teste dos "não-perdedores", um teste verdadeiro de "não-perdedores" deveria comparar as tarifas considerando a situação com os programas de DSM/eficiência sem os mesmos. Ou seja, sem os programas de conservação a companhia de eletricidade deverá construir uma nova usina, subindo as tarifas de todos os consumidores para remunerar esse novo investimento.

É útil ilustrar a essência do teste RIM com um exemplo. Suponha que se inicie com a companhia de eletricidade no ponto A, na Figura 2-5. O declive da linha da origem para o ponto A é o preço médio, antes do programa de conservação, de um kWh a fim de que a companhia de eletricidade gere a receita necessária para cobrir seus custos. Para o primeiro exemplo, suponha que o custo marginal de eletricidade é muito alto, como indicado pelo grau de inclinação da curva de receita da companhia. Se um programa de conservação pudesse reduzir a demanda de energia a nenhum custo, então a companhia de eletricidade poderia operar no ponto B. O programa de conservação, entretanto, não

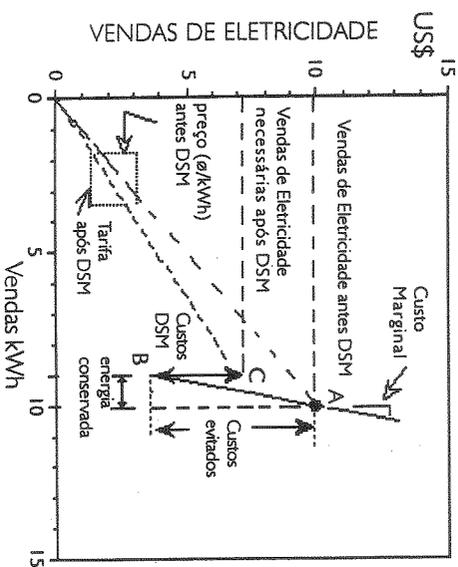


FIGURA 2-5  
UM EXEMPLO HIPOTÉTICO ILUSTRANDO O TESTE RIM QUANDO OS  
CUSTOS MARGINAIS SÃO ALTOS

é grátis, o que significa que a companhia de eletricidade deve gerar receita para cobrir o seu custo assim como os custos de geração de eletricidade, colocando-o no ponto C. No ponto C, o preço que a companhia de eletricidade deve cobrar por um kWh (dado pelo declive mostrado) é menor que aquele antes do DSM. Todos os consumidores se beneficiam neste cenário (até o não-participante), uma vez que as tarifas caíram. Portanto, se o programa de conservação muda a situação da companhia de eletricidade do ponto A para o ponto C, as tarifas de eletricidade caem para todos e assim até os não-participantes vêem reduzidas as contas de energia.

Generalizando, este exemplo mostra o seguinte: o teste RIM será satisfatório (significando que os consumidores não verão suas tarifas da companhia de eletricidade crescerem), na medida em que o custo para economizar um kilowatt-hora for menor que a diferença entre o custo marginal de produção da eletricidade e o custo médio (i.e., as tarifas). No exemplo acima, assumiu-se que o custo marginal da eletricidade era maior que o custo médio. Se não for este o caso, isto é, os custos marginais são menores que o custo médio, então qualquer redução no consumo de eletricidade aumentará as tarifas mesmo se o programa de conservação for grátis. Isto está ilustrado na Figura 2-6. Eco-

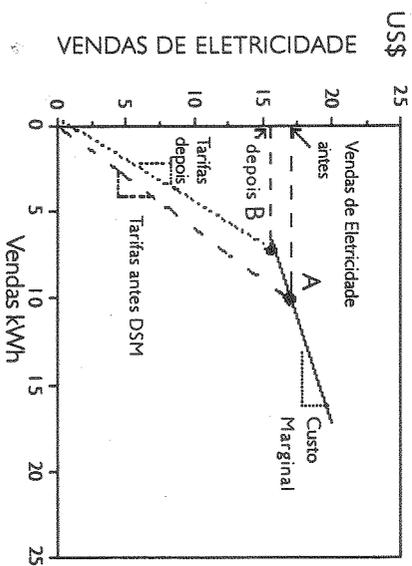


FIGURA 2-6  
O TESTE RIM QUANDO OS CUSTOS MARGINAIS SÃO  
MENORES QUE O CUSTO MÉDIO (TARIFAS)

Quando os custos marginais são menores que os custos médios, algumas reduções nas vendas (de A para B) fazem as tarifas aumentarem. Note, entretanto, que neste caso a conta de eletricidade é menor no ponto B que no ponto A, embora as tarifas sempre tenham aumentado.

normalizar eletricidade move a companhia de eletricidade do ponto A para o ponto B. Note que os requisitos de receita totais para a companhia de eletricidade são menores no ponto B, mas as tarifas necessitam crescer (o declive da origem ao ponto B). Isso ilustra um ponto importante: a conta média de eletricidade para todos os consumidores na Figura 2-6 é diminuída após o DSM, mas uma vez que as tarifas cresceram, os consumidores não-participantes verão suas contas aumentarem. Assim o teste RIM não será satisfatório para o cenário considerado.

### 2.4.3 Teste do Custo Total do Recurso (CTR)

O Teste do Custo Total do Recurso (CTR) (também chamado Teste de Todos os Contribuintes) compara os custos totais do programa DSM (incluindo custos incorridos pela companhia de eletricidade e pelo participante) e os custos médios de oferta da companhia de eletricidade. Nesta perspectiva, um programa é economicamente interessante se os benefícios, que são os custos totais de oferta evitados, excedem os custos totais provocados pela companhia e pelo consumidor. O teste CTR é a medida mais usada para verificar a competitividade do custo dos programas de DSM e de eficiência com as alternativas de oferta, desde que ela forneça uma indicação se os custos de energia para a companhia de eletricidade e o contribuinte estão sendo reduzidos.

De certo modo, o Teste CTR é a somatória do Teste do Participante e do teste RIM. Isto é, os benefícios ainda são os custos totais de oferta evitados, mas os custos são agora a soma dos custos provocados não só pelo consumidor como pela companhia de eletricidade. Por exemplo, suponha que um programa de desconto pelo uso da LCF pela companhia de eletricidade custe à mesma US\$ 0,03 para economizar um kWh. Suponha que o consumidor utilize uma LCF e amortize o custo líquido da lâmpada (custo varejo menos o desconto recebido através do programa) durante a vida do bulbo, resultando em um custo para o consumidor de US\$ 0,02 para cada 1 kWh conservado. Os custos totais são portanto, 0,05 US\$/kWh medidos no teste CTR. Se a companhia de eletricidade economiza mais que 0,05 US\$/kWh nos custos de transmissão, distribuição e geração, então o teste de Custo Total do Recurso para esse caso é satisfatório.

Note que uma medida DSM pode passar pelo teste RIM e ainda assim ser reprovada no teste CTR (Figura 2-7). De modo oposto, uma medida DSM pode ser reprovada no teste RIM, passando ainda pelo teste CTR. No entanto é muito mais comum que programas DSM passem pelo teste CTR e não pelo RIM (Figura 2-8) do que vice-versa.

FIGURA 2-7  
EXEMPLO DE UM CASO EM QUE O TESTE CTR FALHA,  
JÁ TENDO PASSADO O TESTE RIM

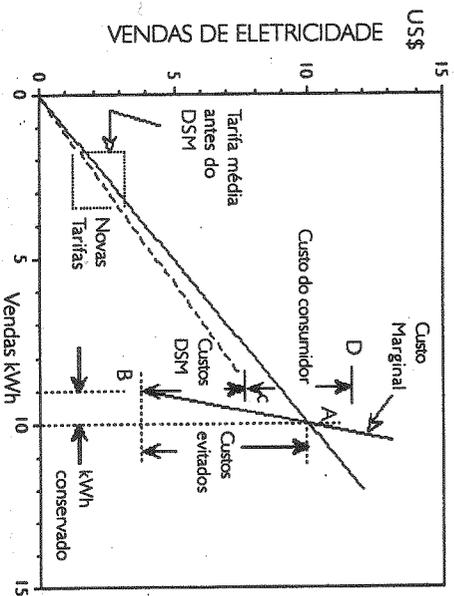
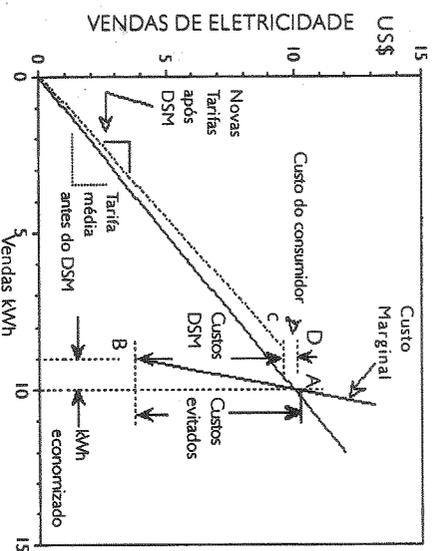


FIGURA 2-8  
UM EXEMPLO DE UM PROGRAMA DSM QUE PASSA O TESTE CTR,  
MAS QUE FALHA NO TESTE RIM



#### 2.4.4 Teste dos Custos Sociais

O Teste Social é uma variação do teste do Custo Total do Recurso onde são incluídos efeitos de externalidades (tais como custos ambientais) na contabilização dos custos e benefícios das medidas consideradas no cenário.

#### 2.4.5 Teste do Custo para a Companhia de Eletricidade

O Teste do Custo da Companhia de Eletricidade é uma outra comparação dos custos e benefícios decorrentes de investimentos em programas de conservação que estão sendo considerados em um determinado cenário. Neste caso, como na maioria, os benefícios são resultado dos custos evitados (custos de combustível para produção de eletricidade, operação e aumento da capacidade instalada) economizados pela conservação. Os custos são aqueles associados com a execução do programa de conservação (custos administrativos e incentivos financeiros aos consumidores). Este teste difere do teste CTR por contabilizar somente custos da companhia de eletricidade e excluir custos do consumidor.

Quando os benefícios excedem os custos, o Teste do Custo da Companhia de Eletricidade é satisffeito e a *receita total das vendas de eletricidade* da companhia cai, portanto a *conta média paga pelo consumidor* diminui. Embora as receitas totais diminuam, as tarifas pagas (em US\$/KWh) devem ser mais altas após o programa, e assim os não-participantes devem ter suas contas aumentadas. O Teste do Custo da Companhia de Eletricidade é mais fácil de ser satisffeito que o teste CTR. De fato, os exemplos tanto na Figura 2-7 como Figura 2-8 satisffazem o Teste do Custo da Companhia de Eletricidade, enquanto somente a Figura 2-8 satisfaz o teste CTR.

#### 2.4.6 Sumário dos Testes de Custo

A Tabela 2-9 mostra um sumário dos testes de custo descritos acima. Os três testes mais utilizados são o do Não-participante (RIM), o de Custo Total do Recurso (CTR) e o do Custo da CE.

O teste RIM surge para verificar o comportamento das tarifas da companhia de eletricidade em função dos programas de conservação considerados no cenário. Para uma medida DSM passar pelo teste RIM, as tarifas não devem subir muito, para

que os não-participantes não tenham aumento nas contas de eletricidade. Para passar pelo teste RIM os custos marginais da eletricidade devem ser maiores que os custos médios, e a diferença entre eles é a quantidade máxima que pode ser gasta implementando o DSM.

O teste CTR basicamente pergunta se a sociedade em geral se beneficia com as medidas consideradas. Se o teste CTR é satisffeito o custo total de conservação (da companhia de eletricidade e dos consumidores que implementam as medidas) é menor que operar ou expandir o sistema de oferta de energia da companhia de eletricidade. Enquanto as contas médias dos consumidores caem, as tarifas podem subir, e assim os não-participantes devem ter contas mais altas. O teste CTR é a medida mais usada para testar o mérito econômico dos cenários.

TABELA 2-9  
ELEMENTOS DOS TESTES ECONÔMICOS PRIMÁRIOS USADOS PARA AVALIAR OS CUSTOS E BENEFÍCIOS DE CENÁRIOS QUE CONTEMPLAM USO DE DMS/EFICIÊNCIA

PERSPEC-TIVAS	BENEFÍCIOS	CUSTOS
Participante	Incentivo da companhia elétrica mais redução na conta de eletricidade (perda de receita da companhia).	Custo direto da participação.
Não-participante (RIM)	Custos de oferta evitados (produção, transmissão e distribuição) baseados nas reduções de carga e energia.	Custos do programa da companhia elétrica (incluindo incentivos para participantes) mais receita líquida perdida devido às vendas reduzidas.
Companhia Elétrica (requisitos de receita)	Idem acima.	Custos do programa da companhia elétrica (incluindo incentivos para participantes).
Custo total do recurso (TRC)	Idem acima.	Custos totais do programa para participantes e para a companhia elétrica (excluindo incentivos).
Social	Idem acima, mais benefícios de externalidades, tais como a poluição reduzida.	Idem acima.

O teste do Custo da Companhia de Eletricidade simplesmente analisa se a companhia economiza mais recursos em custos evitados do que gasta em programa de conservação. As contas médias de energia dos consumidores são reduzidas. Os não-participantes, entretanto, devem ter contas mais altas enquanto os consumidores que participam do programa amortizam os investimentos realizados e a companhia de eletricidade recupera os investimentos do programa, e a sociedade como um todo pode estar gastando mais com os serviços de energia que anteriormente, mesmo que o programa satisfaça este teste.

## 2.4.7 Externalidades Ambientais

Uma finalidade importante do PIR é tratar programas DSM e eficiência como recursos, juntamente com as opções tradicionais do lado da oferta, e então escolher a combinação de mais baixo custo (se este for o critério adotado) dos mesmos para atender às necessidades de serviços de energia projetadas (veja Capítulo 1). Custos evitados através da conservação devem incluir mais que apenas os investimentos associados para construir e operar usinas de eletricidade. Custos não monetários dos impactos ao meio ambiente associados aos recursos do lado da oferta, conhecidos como *externalidades*, também podem ser considerados como um custo evitado. Maiores detalhes serão tratados no Capítulo 4.

Diversos países europeus contabilizam externalidades ambientais em algumas de suas regiões impondo impostos sobre emissões decorrentes do uso do combustível fóssil. Nos Estados Unidos, diversos estados têm adotado regras ou políticas para incorporar externalidades ambientais.

As externalidades podem ser captadas através de procedimentos qualitativos ou como um valor expresso através de custos. Os custos dessas externalidades podem ser expressos a partir de impostos ou taxas associadas a quantias de emissão de certos gases e são pagos pela companhia de eletricidade. Isso vai afetar os custos da eletricidade produzida de acordo com a tecnologia e fonte de energia primária utilizada. Sob uma estrutura desregulamentada (ou não-regulamentada) dos serviços de eletricidade, os custos ambientais devem ser pagos pela companhia de eletricidade, a fim de afetar a demanda via tarifas mais altas. Esse tem sido o objetivo das taxas de emissões colocadas em prática na Europa.

Alguns estados dos EE.UU. (e.g. Minnesota) tratam externalidades de forma *qualitativa*, dando preferência para as fontes de energia menos poluidoras sem tentar quantificá-las. Outros (e.g. Vermont), usam um fator chamado de *percentagem adici-*

onal (percentage adder) que aumenta o custo do recurso do lado da oferta ou diminui o custo do lado da demanda em algum percentual. Outros estados (por exemplo o de Nova Iorque) incluem estimativas em valores monetários das externalidades ambientais ao determinar o custo-benefício do recurso de DSM (ETO, et al., 1992).

Diversos métodos analíticos têm sido usados para estimar o valor econômico das externalidades do meio ambiente. Alguns mais qualitativos, outros mais quantitativos. Abaixo estão relacionados alguns dos métodos mais utilizados, ordenados desde o mais subjetivo ao mais quantitativo:

Codificação de valor subjetivo

Método de ponderação/ordenação

Custos marginais da mitigação do impacto

Demanda implícita por amenidades ambientais

Cálculo direto dos custos dos danos

*Codificação de valor subjetivo:* O método mais amplamente usado e mais facilmente compreendido é o das codificações subjetivas dos valores para os custos ou para os benefícios ambientais de tecnologias. Este método tem, no mínimo, uma validade analítica. A ausência de dados adequados e de modelos causa-efeito tornam difícil de justificar o custo do uso de métodos mais detalhados e sofisticados. Valores designados por este método simples para externalidades ambientais são geralmente considerados como conservadores e muito baixos. No entanto, se eles são menos que o custo real das externalidades, pelo menos eles representam um avanço sobre o valor zero da avaliação de custo-benefício convencional.

*Método de ponderação/ordenação:* Esse método pretende esclarecer os critérios para escolha de tecnologia e codificar seus valores relativos, incluindo impacto ambiental e equidade social. O processo, por exemplo na Alemanha, orientou uma coleta de opiniões de diversos critérios de planejamento energético entre entidades de classe. Nesse trabalho, as várias opiniões foram hierarquizadas segundo o nível de determinadas categorias de critérios para também identificar áreas de consenso entre os diferentes grupos. Embora este procedimento incorpore a opinião pública para as decisões de planejamento de energia, o processo de ponderar os diferentes valores pode ser tão complexo e difícil quanto os métodos mais quantitativos abaixo descritos.

*Custos marginais da mitigação do impacto:* Pode-se argumentar que se as regulamentações existentes indicam uma escolha da sociedade por um nível de poluição,

então esses custos indicam o valor para o custo marginal da poluição. Naturalmente, reduções dos níveis de poluição possuem algum valor para a sociedade e o nível ótimo de poluição será realmente o ponto no qual este valor se iguale ao custo marginal do controle de poluição. Se as emissões são controladas a fim de atender às regulamentações existentes, exceder estas regulamentações deve sempre requerer tecnologias diferentes e mais caras, portanto os custos atuais de mitigação não necessariamente refletem os custos da mitigação ulterior. Entretanto, as medidas mais caras usadas agora em certas áreas indicam os custos incrementais em outras áreas que ainda não empregaram tais medidas. Estes custos podem ser prontamente quantificados para muitas tecnologias existentes e em alguns casos as tecnologias que seriam usadas para redução de emissões já são conhecidas e seus custos podem ser estimados.

**Demanda implícita:** É difícil estimar diretamente o valor da qualidade ambiental, e por sua vez o custo da poluição. Um procedimento seria usar a análise estatística das escolhas dos consumidores para estimar a função de demanda implícita de certos parâmetros ambientais (qualidade do ar, por exemplo). Este método tem sido aplicado para estimar os gastos, considerando, por exemplo, lagos e reservatórios, tomando como base o que o consumidor paga em custos de viagem e transporte para ir a esses locais e usufruir desses recursos. Entretanto é difícil identificar quanto as pessoas estão desejando pagar para evitar os efeitos dos poluentes emitidos no ar ou na água.

**Cálculo direto:** O procedimento mais detalhado e abrangente, e também o mais difícil, é estimar diretamente os custos para a saúde e outros impactos da poluição em termos monetários. Para determinar custos referentes à saúde, o método requer estimar o tratamento dos poluentes desde a sua fonte de produção, o efeito dos diferentes poluentes sobre a saúde, o valor econômico das doenças e das mortes prematuras. Danos à propriedade e produção agrícola decorrentes de emissões de enxofre, ozônio e outros poluentes fotoquímicos são igualmente complexos para se atribuir valores monetários. Impactos ecológicos da chuva ácida e gases estufa são ainda mais difíceis. Uma questão importante sempre observada nos riscos ambientais e de saúde é que o valor do dano deveria incluir, não somente o custo do que é perdido, mas também o quanto se pagaria para evitar o dano. Este valor deve ser considerado o maior que somente o custo do dano, e é mais comparável com o valor de mercado dos bens econômicos produzidos às custas de impactos ambientais.

Um estudo utilizou um modelo simples para atribuir custos à saúde, devido à poluição ambiental na Alemanha, para diferentes poluentes a fim de estimar o custo ambiental da produção de eletricidade. Os resultados deste estudo sugeriram um custo ambiental de \$0,02-0,03/Kwh por usina de combustível fóssil e \$0,05-0,06/Kwh para usinas nucleares (HOHMEYER, 1988). A maioria das estimativas dos custos ambientais diretos estão sendo apresentadas como limites inferiores, devido às dificuldades de contabilizar a abrangência dos impactos ambientais decorrentes do uso e produção de energia.

#### 2.4.8 Benefícios Não-monetários da Eficiência Energética

Tecnologias para melhorar a eficiência do uso-final de energia frequentemente oferecem outros benefícios além de continuar garantindo o acesso aos serviços de energia. Estes benefícios podem ser evidentes tanto no nível da sociedade como um todo quanto no nível do consumidor individual ou da firma. Para o consumidor, estes benefícios podem ser categorizados como (MILLS and ROSENFELD, 1994):

- ambiente interno melhorado, conforto, saúde e segurança (por melhor iluminação);
- ruídos reduzidos através de melhor isolamento;
- economias de tempo e trabalho (produtividade melhorada) por iluminação eficiente;
- economias de água e redução de desperdício por aparelhos mais eficientes;
- diminuição ou eliminação do equipamento de uso-final (através de cargas reduzidas);
- controle de processo melhorado (controle melhorado).

A nível social (regional, nacional ou global), benefícios não-monetários de vantagens decorrentes de maior eficiência de uso de energia podem ser categorizados como:

- segurança de suprimento de energia através de redução nas importações;
- segurança nacional através de fluxo reduzido de materiais radioativos e fisséis;
- criação de emprego e desenvolvimento econômico local;
- redução de pressões no mercado de capitais;
- aumento de competitividade internacional de produtos e serviços produzidos no país;
- posição realçada dos produtos domésticos eficientes no mercado exportador;
- proteção ambiental.

A princípio, estes benefícios poderiam ser representados por quantias monetárias e aplicados para comparações de custo de energia, como sugerido acima com relação às externalidades ambientais. Na prática, entretanto, essas questões são tratadas totalmente de maneira qualitativa.

Leitura Sugerida:  
CHATEAU, B. Lapillonne. *Energy Demand: Facts and Trends*, Springer-Verlag, Wien, 1982.

Os exercícios abaixo são baseados nas informações dadas no Apêndice 2 e se referem a estimativas de custos para conservar energia elétrica e evitar de manda de pico.

#### Exercício 2-5

Os custos marginais de produção de eletricidade são 0,15 US\$/kWh e a tarifa média do consumidor US\$0,09/kWh. Considere que a companhia de eletricidade quer comparar investimento do lado da demanda com uma nova usina hidrelétrica e tem uma perda de transmissão e distribuição de 15%. Considere que o custo de conservar energia para o consumidor é US\$0,20/kWh. Quanto a CE deve subsidiar o consumidor para não realizar investimentos na nova hidrelétrica? É interessante essa alternativa?

#### Exercício 2-6

Um consumidor residencial tem duas opções para comprar refrigeradores: um que custa US\$ 800 e consome 600 kWh/ano durante uma vida útil de 25 anos. Um outro refrigerador está disponível e custa 10% mais e consome 425 kWh/ano, também com vida útil de 25 anos. A compra do segundo refrigerador é economicamente atrativa para o consumidor residencial? Se a companhia subsidia em 100% a compra do segundo refrigerador ela perde dinheiro? Suponha que a companhia usa uma taxa de desconto de 12% e o consumidor de 60% ao ano, que sua tarifa é de US\$0,09/kWh e o custo marginal da CE é US\$0,15/kWh.

#### Exercício 2-7

Um consumidor industrial deve comprar um "kit" com duas lâmpadas fluorescentes convencionais (40W) e um reator que custa US\$ 20 e tem 1.920 horas de uso anual durante uma vida útil de 5 anos, ou um outro "kit" que

tem duas lâmpadas fluorescentes eficientes (32W) e um reator que custa 20% mais e tem as mesmas 1.920 horas de uso anuais também durante uma vida útil de 5 anos. A compra do segundo "kit" é economicamente atrativa para o consumidor industrial? Se a companhia subsidia a compra da LFE ela perde dinheiro? O segundo "kit" mantém o mesmo nível do serviço de energia (produção de lúmen, ver Exercício 1-1)? Utilize as informações do exercício anterior.

#### Exercício 2-8

Um consumidor comercial possui lâmpadas incandescentes convencionais (100W) que custam US\$ 1 e têm 1.920 horas de uso anual durante uma vida útil de um ano. Um outro "kit" tem duas lâmpadas fluorescentes convencionais (20W) e um reator que custa US\$ 15 e tem as mesmas 1.920 horas de uso anual durante uma vida útil de 5 anos. A aquisição do segundo "kit" é economicamente atrativa para o consumidor? Se a companhia subsidia esta compra, ela perde dinheiro? Esta substituição mantém o mesmo nível do serviço de energia (produção de lúmen, ver Exercício 1-1)?

Exercício sobre Cenário de Eficiência Congelada de Energia compreendendo as projeções de demanda de energia para Brakimpur.

#### Exercício 2-9

Brakimpur tem uma população de 10,5 milhões e uma renda média per capita de US\$ 2.000. Situa-se nos trópicos entre as latitudes 5° e 30° S. O clima semi-árido e a localização combinam-se para um alto nível de radiação solar; a média anual de energia solar deste país é de 20 MJ/m<sup>2</sup>, e a média de velocidade do vento é 4 m/s no Sudeste, atingindo 8 m/s em algumas zonas do Nordeste do país.

No Ano Base o consumo de energia foi 31,12 TWh ou aproximadamente 6,5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP)/ano. O país possui reservas consideráveis de combustíveis (carvão, biomassa e assim por diante) principalmente usadas nos processos de aquecimento e geração de energia elétrica. A economia tem um bom desenvolvimento nos setores industrial, comercial e de mineração, e 40% dos produtos de petróleo são importados.

Brakimpur é um país com as seguintes opções de oferta de energia existente e planos futuros de produção de eletricidade:

Tabela 2-10: Planos de Eletricidade de Brakimpur

Fontes de energia	Nr	Cap. (MW)	Fator de Capacidade	Emissões ISO2/GWh	Emissões INOX/GWh	Custo US\$/kWh
<b>Existentes</b>						
- Hidro	3	1.200	0,50			0,020
- Gás	3	600	0,50		6	0,040
- Carvão	3	420	0,75	5,0	11	0,030
<b>Reconstruções</b>						
- Carvão	3	400	0,75	0,5	12	0,040
<b>Novas</b>						
- Gás	3	200	0,75		5	0,035
- Carvão	3	200	0,75	5,0	10	0,030
- Carvão c/ filtros	3	200	0,75	0,5	11	0,040
- Eólicas	3	500	0,30			0,010
- Turbinas Comb.	3	50	0,15		7	0,050

Tabela 2-11: Planos de Crescimento do PIB de Brakimpur

	Ano Base	Taxa de crescimento anual (%) Ano Base - Ano Projetado (X+10)
População	10,5 milhões	3,0
PIB	US\$ 33 bilhões	5,5
Estrutura do PIB	20% agricultura	10% agricultura
	50% indústria	40% indústria
	30% comércio & serviços	50% comércio & serviços

1. Objetivos do exercício  
O propósito deste exercício é permitir ao leitor aplicar alguns conceitos desenvolvidos neste capítulo.

Os principais objetivos são:

Aprender um método simples de avaliar o consumo de energia.

Avaliar a projeção de consumo de energia aproximada.

Desenvolver um cenário de eficiência congelada.

## 2. Planilha de cálculo

Sugere-se o uso de uma planilha de cálculo de computador para organizar e calcular as informações dos anos base e do projetado.

Como exemplo, há uma planilha de trabalho com alguns dados iniciais do Setor Residencial de Brakimpur. A ideia é que o leitor deveria adaptar estes dados o mais próximo da realidade, inserindo e interpretando as informações.

Para torná-la de fácil compreensão adota-se uma representação gráfica que diferencia dados de entrada e dados produzidos, como segue:

Normal = Dados de entrada (Tabela A, B, C, D e F)

(dados de entrada do leitor, próximos da sua realidade)

Negrito = Dados produzidos (Tabela E e G)

(resultados nas operações e cálculos)

## 3. Estrutura da planilha de cálculo

Tabela A, B, C, D e E = Ano Base X:

Tabela A - Indicadores socioeconômicos da demanda de energia:

A1 = população

A2 = pessoas por residência

A3 = percentual de residências por faixas de renda

N = número de residências por faixas de renda ( $N = A3 * A1 / A2$ ).

Tabela B, C, D e E têm:

Linhas: As linhas indicam os usos-finais sugeridos neste exercício.

Colunas: As colunas indicam as faixas de renda sugeridas neste exercício.

Tabela B - Penetração do eletrodoméstico por faixas de renda ( $P = \%$ )

Tabela C - Intensidade média por aparelho ( $I = \text{watts}$ )

Tabela D - Uso do aparelho ( $M = \text{horas/ano}$ )

Tabela E - Consumo total de energia residencial por uso-final por faixas de renda: ( $E = N * P * M * I = \text{MWh/ano}$ )

Tabela F e G = Ano Projetado ( $X + 10$ )

Supondo somente crescimento populacional com distribuição de renda e sem mudanças em P, M e I (as mesmas penetrações, usos e performance).

Tabela F - Indicadores socioeconômicos da demanda de energia no ano projetado ( $X + 10$ ):

A1 = população ( $X + 10$ )

A2 = pessoas por residência ( $X + 10$ )

A3 = percentual de residências por faixas de renda ( $X + 10$ )

$N(X+10)$  = número de residências por faixas de renda ( $N=A3*A1/A2$ )

Tabela G - Consumo total de energia residencial por uso-final e por faixas de renda no ano projetado ( $X+10$ ):

$$E(X+10) = N(X+10) * P * M^* = MWh/ano \text{ com:}$$

Linhas: As linhas indicam os usos-finais sugeridos neste exercício.

Colunas: As colunas indicam as faixas de renda sugeridas neste exercício.

4. Diagrama da planilha de trabalho

Para mostrar as informações e cálculos necessários, complete a seguinte planilha de trabalho:

Planilha 2-1

Brakimpur	ano base X	Sector Residencial
Tabela A - Indicadores socioeconômicos de demanda de energia		
A1 - população		10500000
A2 - pessoas/residência		4,2
A3 - Classes de renda		total
Unidades	Salário milímetro	N
0-2	15%	376.794
2-5	32%	803.828
5-10	28%	703.349
+10	25%	627.990
TOTAL	100%	2.511.962

Tabela B - Dispositivos por classe de renda (P=%)		Tabela C - Gasto médio por dispositivo (I=wh/ks)			
Uso-final	(P=%)	0-2	2-5	5-10	+10
L. INC.	100%	60	60	60	100
L. FL.	100%	20	20	20	20
FER. EL.	80%	85%	85%	2.300	2.300
TV	65%	100	100	100	100
LV.ROUP.	0%	4%	15%	31%	600
AR CON.	0%	20%	70%	95%	350
FREEZ.	0%	6%	20%	35%	700
REFRIG.	70%	79%	83%	100%	230
VENTIL.	71%	78%	78%	200	200
AQ. AGU.	9%	80%	60%	2.500	2.500
OUTROS	50%	100%	150%	60	60

Tabela D - Uso de Dispositivo (M=horas/ano)

Uso-final	0-2	2-5	5-10	+10	0-2	2-5	5-10	+10	Total
L. INC.	3.330	3.000	2.500	1.000	75	284	422	440	1.226
L. FL.	1.250	1.250	1.250	1.500	9	20	44	57	130
FER. EL.	13	22	43	52	9	33	60	64	165
TV	1.500	1.500	1.900	2.000	37	84	114	141	375
LV.ROUP.	0	0	833	833	0	0	53	97	150
AR CON.	2.000	2.000	3.000	4.500	0	113	591	1.074	1.777
FREEZ.	1.286	1.286	1.286	1.500	0	43	127	264	434
REFRIG.	2.809	3.043	3.478	3.913	158	445	467	565	1.635
VENTIL.	1.000	1.500	1.750	2.500	54	171	192	245	662
AQ. AGU.	120	120	200	200	10	193	211	264	678
OUTROS	667	1.000	3.000	2.400	8	48	190	301	547
TOTAL					360	1.434	2.470	3.511	7.780

Brakimpur ano (X+10) Sector Residencial

Tabela E - Energia Total Consumida por Residências e Classes de Renda  $E=N*P*M^*$  (Gwh/ano)

Uso-final	0-2	2-5	5-10	+10	Total
L. INC.	91,6	342,9	635,0	740,8	1.810,4
L. FL.	11,5	23,8	66,1	95,3	196,7
FER. EL.	11,0	38,6	90,0	108,0	247,5
TV	44,7	100,0	170,9	237,1	552,7
LV.ROUP.	0,0	79,4	164,0	164,0	243,4
AR CON.	0,0	133,4	889,0	1.809,8	2.832,1
FREEZER	0,0	51,4	190,5	444,5	686,4
REFRIG.	192,6	526,7	702,7	952,5	2.374,6
VENTIL.	65,1	202,9	288,9	412,8	969,7
AQ. AGU.	12,4	228,6	317,5	444,5	1.003,0
OUTROS	9,2	57,2	285,8	508,0	860,1
TOTAL	438,1	1.705,5	3.715,8	5.917,1	11.776,5

Tabela F - Cenário Socioeconômico

A1 - pop.	1,4E+07	Uso-final	0-2	2-5	5-10	+10	Total
A2 - pes/res.	4,0	L. INC.	91,6	342,9	635,0	740,8	1.810,4
A3 - Classes de Renda		L. FL.	11,5	23,8	66,1	95,3	196,7
Salário Milímetro	total	FER. EL.	11,0	38,6	90,0	108,0	247,5
Unidades		TV	44,7	100,0	170,9	237,1	552,7
0-2	13%	LV.ROUP.	0,0	79,4	164,0	164,0	243,4
2-5	27%	AR CON.	0,0	133,4	889,0	1.809,8	2.832,1
5-10	30%	FREEZER	0,0	51,4	190,5	444,5	686,4
+10	30%	REFRIG.	192,6	526,7	702,7	952,5	2.374,6
TOTAL	100%	VENTIL.	65,1	202,9	288,9	412,8	969,7
		AQ. AGU.	12,4	228,6	317,5	444,5	1.003,0
		OUTROS	9,2	57,2	285,8	508,0	860,1
		TOTAL	438,1	1.705,5	3.715,8	5.917,1	11.776,5

5. Passos (você pode fazer um "download" da planilha em <http://www.fem.uni-camp.br/~jamuzzi/pir-ivrol.htm>)

Passo 1: Construa ou recupere a planilha de cálculo. Temos anexa uma cópia desta planilha. Nós recomendamos que você reconstrua a planilha de cálculo.

Passo 2: Complete a Tabela A com os seguintes dados:  
- A1 = população

- A2 = pessoas por residência
- A3 = percentual de residências por faixas de renda
- Nós teremos o N (número de residências por faixas de renda)

Passo 3: Complete a Tabela B, C e D com os seguintes dados:

- (B) Penetração do aparelho por faixas de renda
- (C) Intensidade média por aparelho
- (D) Uso do aparelho

Passo 4: A Tabela E deveria calcular

- (E) Consumo total de energia residencial por uso-final e por faixas de renda

faixas de renda

Passo 5: Complete a Tabela F

- A1 = população (X+10)
- A2 = pessoas por residência (X+10)
- A3 = percentual de residências por faixas de renda (X+10)
- Nós teremos o N(X+10) (número de residências por faixas de renda)

Passo 6: A Tabela G deveria calcular o Cenário de Eficiência Congelada

Passo 6: A Tabela G deveria calcular o Cenário de Eficiência Congelada

- (G) Consumo total de energia residencial por uso-final e por faixas de renda.

## 6. Questões

Observando a Tabela E, quais são os usos-finais com maior consumo de MWh? Quais são os usos-finais com menor consumo? Discuta algumas razões que poderiam explicar as diferenças observadas.

Quais usos-finais seriam interessantes para fazer um plano de conservação?

Calcule a Tabela G mantendo a mesma distribuição de renda do ano-base.

Explique o que aconteceu!

Considere uma mudança na distribuição de renda, na penetração dos aparelhos e no consumo de acordo com a realidade de sua região. Como isto poderia afetar o consumo energético de cada uso-final? Faça hipóteses, descreva-as e faça as mudanças necessárias na planilha de cálculo. Você pode consultar o IBGE, Balanços Estaduais de Energia e Balanço Energético Nacional.

## 7. Setor Comercial

Agora, o mesmo deve ser feito para o Setor Comercial, trocando o N (número de residências) por A (área comercial em metros quadrados):

O Setor Comercial é responsável por aproximadamente 15% do consumo de eletricidade do país. Os mais importantes subsectores deste setor são:

1. Comércio pequeno
2. Shopping centers
3. Hotéis
4. Bancos
5. Escolas

Os usos-finais identificados no Setor Comercial são:

- Iluminação
- Ar condicionado
- Cozimento elétrico
- Refrigeração
- Equipamentos

A seguir, é apresentado o consumo de eletricidade do Ano Base por grupos e por usos-finais.

Tabela 2-12: Setor Comercial - Consumo do Ano Base por Grupo e por Uso-final [MWh]

Sector/uso-Final	Iluminação	Ar cond.	Coação elétrica	Refrige-ração	Equipamentos	TOTAL
Final pequeno comércio	121,880	1,925	825	55,440	3,025	183,095
Shopping center	660,000	70,000	18,000	403,200	50,000	1.201,200
Hotéis	154,000	177,188	788	176,400	5,250	513,625
Bancos	93,750	5,625	274	50,400	3,125	153,174
Escolas	1.470,000	382,813	7,875	352,800	70,000	2.283,488
TOTAL	2.499,630	637,550	27,761	1.038,240	131,400	4.334,581
Participação	57%	15%	1%	24%	3%	100%

Para o Ano Base o consumo total de eletricidade no Setor Comercial foi de 4.334 GWh, o uso-final de maior consumo foi a iluminação com 57%. A refrigeração também teve uma importante participação com 24%, seguida pelo ar condicionado com 15%, equipamentos com 3% e, finalmente, cozimento elétrico com apenas 1%.

O consumo de eletricidade do setor poderia ser estimado com a seguinte relação:

$$E_{ij} = P_{ij} \times A_{ij} \times M_{ij} \times I_{ij}$$

Para cada subsetor  $i$  e cada uso-final  $j$ , e onde:

$E_{ij}$  = consumo total de energia do Setor Comercial

$P_{ij}$  = penetração (% da área superficial total) do uso-final  $j$  no subsetor  $i$

$A_{ij}$  = área total de cada subsetor

$M_{ij}$  = número total de horas anual de uso de cada uso-final

$I_{ij}$  = potência consumida por unidade de área para cada uso-final.

Para o Ano Base,  $E_{ij}(X)$  é conhecido, então todos os outros parâmetros poderiam ser ajustados. Uma vez definido o Ano Base é possível projetar o consumo de energia em um horizonte próximo, por exemplo, o ano  $(X + 10)$ .

#### 8. Projeções da Demanda de Eletricidade no Setor Comercial

Este tipo de cenário supõe que as tendências são mantidas com relação ao uso energético, penetração dos equipamentos etc. Em países onde o PIR não é uma prática, este cenário deve coincidir com a perspectiva oficial.

O consumo de eletricidade para o ano projetado  $(X + 10)$  pode ser escrito pela seguinte relação:

$$E_{ij}(X + 10) = P_{ij} \times A_{ij}(X + 10) \times M_{ij} \times I_{ij} = E_{ij}(X) \times A_{ij}(X + 10) / A_{ij}(X)$$

A área projetada é calculada baseada na taxa de crescimento para cada subsetor.

Tabela 2-13: Setor Comercial - Hipóteses para Projeção

Subsetor	Crescimento %	Ano Base Superfície (milh. m <sup>2</sup> )	Participação (%) área uso-final				
			Ilum.	Ar C.	Cal.	Ref.	Eq.
Peq. comércio	10,8	53	85	10	15	85	100
Shoppings	9,0	40	100	60	20	100	100
Hotéis	7,2	35	100	50	30	100	25
Bancos	10,8	25	100	30	0	100	25
Escolas	9,0	350	90	25	10	25	25
Total	9,2	505					

Estime agora o consumo de eletricidade no ano projetado  $(X + 10)$  (Cenário de Eficiência Congelada) supondo o produto  $M_{xi}$  (kWh/m<sup>2</sup>) e  $P_{ij}$  conforme a tabela 2-13.

#### 9. Questões

Observando os resultados que você projetou, quais são os subsetores comerciais com maior consumo de MWh? Quais são os subsetores comerciais com menor consumo? Discuta algumas razões que poderiam explicar as diferenças observadas. Quais usos-finais são interessantes para um plano de conservação?

#### 10. Setor Industrial

Agora, pode-se fazer o mesmo para o Setor Industrial. Aqui se deseja dar mais atenção a um importante uso-final: o uso de eletricidade em motores.

#### 11. Segunda Estrutura de Planilha de Cálculo

Tabela A, B, C, D, E, F, G e H = Ano Base X:

Tabela A - Projeção de consumo por subsetor Industrial:

$I$  = intensidade (watts por US\$)

PIB = em milhões de US\$

$M$  = horas-ano de trabalho por subsetor

$E(X)$  = PIB \*  $M$  (MWh Ano Base)

TC = Taxa de crescimento por subsetor (%)

$E(X + 10) = PIB(X + 10) * M(X + 10) = PIB * (1 + TC)^{10}$

Tabela B - Consumo (C) por uso-final elétrico por subsetor industrial (%)

Tabela C - Distribuição (D) por tipo de motor (CV) por subsetor industrial (%)

Tabela D - Consumo total de energia por subsetor industrial e por tipo de motor (CV):  $(E_{(tipo\ de\ motor)}) = E(X) * C * D = Mwh\ Ano\ Base$

Pode-se também projetar este consumo de outra forma:

Tabela E - Intensidade ( $I'$  = watts por tipo de motor)

Tabela F - Uso ( $M'$  = horas-ano de uso por tipo de motor)

Tabela G - Número por tipo de motor (N)

Tabela H - Consumo total de energia por subsetor industrial e por tipo de motor

(CV):  $(E_{(tipo\ de\ motor)}) = N(X) * M = Mwh\ Ano\ Base$

Tabela I = ano projetado  $(X + 10)$

Tabela I - Consumo total de energia por subsetor industrial e por tipo de motor (CV) no ano projetado  $(X + 10)$ :



Tabela I - Cenário Congelado  
 $E (X+10)$  por Motor =  $N(X+10)^{1+M}$   
 Pol. (CV)    Metal.    El/Eletr.    Madeira    Químico    Têxtil    Al&Beb.    Transp.    Outros    Total

< 10	1,6	1.759,8	183,8	238,9	146,8	11,8	69,9	837,4	3.250,0
10<P<40	3,1	2.463,8	404,5	696,8	428,0	22,4	349,7	1.610,3	5.978,6
40<P<100	2,9	2.815,7	367,7	497,7	305,7	47,1	251,8	1.481,5	5.770,1
100<P<200	3,4	0,0	147,1	258,8	159,0	22,4	377,7	1.545,9	2.514,2
200<P<300	1,5	0,0	122,6	298,6	183,4	14,1	349,7	966,2	1.936,2
TOTAL	12,5	7.039,3	1.225,6	1.990,9	1.222,9	117,7	1.398,8	6.441,2	19.449,0

$\%E(X+10)$  por motor/ $E(X+10)$ =68,4%

### 1.3. Questões

Observando a Tabela A, coloque os setores industriais em ordem decrescente de consumo. Discuta algumas razões que poderiam explicar as diferentes participações de cada setor no consumo industrial.

Quais tipos de motores são interessantes, economicamente, para se fazer um plano de conservação? Por quê?

Existe alguma diferença nas Tabelas D e H. Explique o que acontece com as diferentes equações.

Considere uma substituição de motores devido ao fato que 10% dos motores de 40 a 100W estão sobredimensionados e poderiam ser substituídos por motores na faixa de 10 a 40W. Como isto poderia afetar o consumo de energia para cada setor industrial?

## CAPÍTULO • TRÊS

### PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, GERENCIAMENTO DO LADO DA DEMANDA (DSM)<sup>1</sup> E FONTES RENOVÁVEIS

A introdução de medidas que favorecem as tecnologias de energia renováveis ou mais eficientes não ocorre como um resultado natural de um Plano Integrado de Recursos ou porque elas sejam viáveis economicamente. Essas medidas requerem mudanças significativas no comportamento do consumidor, no modo como estes e as companhias de energia tomam suas decisões de investimentos e principalmente como a sociedade gerencia seus recursos energéticos. É necessário ter um plano estratégico de modo a promover as mudanças requeridas e a implementação efetiva das medidas de eficiência de energia, bem como maior utilização de fontes renováveis. Estas estratégias implicam na elaboração de *programas*, que são uma série de ações coordenadas e direcionadas a fins específicos. Os programas, no presente contexto, representam conjuntos de medidas do lado da demanda e dos instrumentos políticos que são usados para implementá-los de modo sistemático e implicam em custos adicionais, tempo e incertezas para desenvolver as opções do lado da demanda. Esses fatores devem ser contabilizados quando estas opções fizerem parte de um PIR.

Existem diversos tipos de programas: programas com o objetivo de disseminar informações sobre tecnologias eficientes; programas para incentivo de uso de

1. Chamamos de Programas de Eficiência Energética ações organizadas e implementadas por agentes outros que não as companhias de eletricidade. Programas de DSM (*Demand-Side Management*) ou GLD (Gerenciamento do Lado da Demanda) são ações concebidas, implementadas e fundamentadas no contexto de companhias de eletricidade.