

# Decomposição dos efeitos de intensidade energética no setor industrial brasileiro \*

RONALDO SERÔA DA MOTTA \*\*

JOÃO LIZARDO DE ARAÚJO \*\*\*

*Na economia brasileira, o consumo final de energia (10<sup>6</sup> tEP) em relação ao PIB (10<sup>9</sup> Cz\$) declinou de 7,6 para 6,6 no período 1973/84. No setor industrial, todavia, o uso de eletricidade cresceu quase 200%, enquanto o de óleo combustível reduziu-se em mais de 20%. Estas mudanças no padrão de consumo de energia não podem ser analisadas sem se considerarem as alterações ocorridas no lado da oferta de energia, decorrentes dos chamados choques do petróleo, que incentivavam as políticas de conservação e substituição. Da mesma forma, a estrutura industrial brasileira presenciou, naquele período, transformações significativas tanto em intensidade quanto em diversidade. Assim, este estudo objetiva decompor as variações de consumo industrial de energia em três componentes: efeito atividade, efeito estrutura e efeito conteúdo. O efeito atividade capta as mudanças relativas às variações do nível de atividade do setor, enquanto o efeito conteúdo representa as variações na intensidade de energia descontadas dos efeitos estruturais resultantes das mudanças na composição do produto industrial. As estimativas são realizadas separadamente para energia elétrica, óleo combustível e outros combustíveis, o que permitiu relacioná-las com os principais aspectos do crescimento econômico nacional e da política energética do período. Dessa análise conclui-se com algumas sugestões para subsidiar o planejamento energético considerando-se a nova realidade dos preços internacionais do petróleo e das restrições de oferta de energia elétrica.*

## 1 — Introdução

Conforme se verificou em quase todas as economias ocidentais industrializadas, também o Brasil conseguiu reduzir a intensidade de energia derivada do petróleo por unidade de produção. Enquanto a razão entre o PIB de 1984 e o de 1973 foi de 1,62, o consumo doméstico de derivados, no mesmo período, cresceu somente 1,13 vezes. Todavia, esta mudança de intensidade se inverte no caso da eletricidade, que em 1984 apresentou um consumo 2,85 vezes maior que aquele de 1973. Em termos agregados,

\* Os autores agradecem as sugestões e comentários recebidos de André Ghirardi na fase inicial deste estudo.

\*\* Do Instituto de Pesquisas do IPEA.

\*\*\* Da Coppe/UFRJ.

o consumo final de energia em relação ao PIB declinou, no Brasil, de 7,6 para 6,6 (tEP/Cz\$ 109) no período 1973/84. Mas o setor industrial, que representa mais da metade do consumo de energia não-residencial, cresceu, no mesmo período, 42,7%, enquanto o consumo total de energia aumentou em 59,6%. Este aumento de intensidade pode ser explicado pelo uso de eletricidade, que se elevou em quase 200% naquele período, em contraste com o de derivados, onde ocorreu uma redução de mais de 20%.<sup>1</sup>

Contrariando as previsões mais pessimistas, o preço internacional do petróleo, que hoje está em torno de US\$ 15/barril, representa, em termos reais, menos da metade daquele praticado em 1981, embora continue quase o dobro do seu valor em 1973. Sem considerar a debilidade do cartel dos produtores de petróleo em sustentar sua política de cotas de produção e o crescimento espetacular de outras áreas produtoras independentes, outros fatores relacionados com o comportamento da demanda de energia parecem ter contribuído também para a redução dos preços do petróleo.

Assim sendo, merece atenção um estudo sobre as formas de uso de energia no setor industrial, ou seja, deve ser analisado o comportamento da demanda de energia nesta atividade ao longo das décadas de 70 e 80, nas quais ocorreram alterações significativas tanto no lado da oferta como na própria estrutura produtiva. Esta análise objetiva decompor as variações de consumo de energia em três componentes: efeito atividade, efeito conteúdo e efeito estrutural.

O primeiro capta as mudanças relativas às variações do nível de atividade do setor, enquanto o efeito conteúdo representa as variações na intensidade de energia descontadas dos efeitos estruturais das mudanças na composição do produto industrial. Assim, os resultados desta decomposição permitem distinguir as variações de intensidade, que têm como base mudanças na função de produção, daquelas relacionadas com as alterações na estrutura produtiva, ou resultantes do próprio nível de atividade econômica. Em suma, pretende-se analisar como, a partir dos choques do petróleo, o consumo industrial de energia foi influenciado tanto pela nova realidade de preços dos combustíveis como pelo padrão de crescimento do setor.

Assim, na próxima seção são discutidos os fatores determinantes que afetam o comportamento da demanda de energia. Nas duas seções seguintes são apresentados o modelo desenvolvido para determinar os componentes de intensidade energética e a base de dados utilizada. Na quinta seção discutem-se os resultados, procurando-se relacioná-los com os principais aspectos do crescimento econômico nacional e da política energética até então adotada. Na última seção conclui-se com algumas sugestões para subsidiar o planejamento energético.

<sup>1</sup> Utilizaram-se para estes indicadores energéticos os dados de consumo de energia e os indicadores de produção estimados conforme descrito na Seção 4.

## 2 — Determinantes da demanda energética

Durante as décadas de 70 e 80 o consumo industrial de energia no Brasil tem sido afetado por dois tipos de ocorrência. Uma delas seria a própria transformação do parque industrial tanto em termos de capacidade como de diversidade. A outra, relacionada com o lado da oferta de energia, seria a nova realidade de preços dos energéticos como consequência dos chamados choques do petróleo, ou seja, a evolução da demanda industrial de energia tem sido uma resposta não só à variação de preços como também uma consequência do padrão de crescimento do produto industrial.

Nem sempre é possível formalizar com exatidão estas relações de causalidade ao analisar mudanças de intensidade energética, isto é, como considerar variações na quantidade de energia por produto ao longo do tempo. Além do mais, há que se distinguir comportamentos de demanda no curto/médio prazo daqueles a serem obedecidos no longo prazo.

Em suma, poder-se-ia descrever sinteticamente três tipos de fatores determinantes do comportamento da demanda que explicam as variações no uso de energia:<sup>2</sup>

### a) *Mudanças na composição do produto*

Aumento ou redução da participação de um setor no produto total pode alterar a intensidade energética total de acordo com a intensidade deste setor. Por exemplo, se setores mais intensivos em energia crescem a taxas superiores às dos menos intensivos então a intensidade total crescerá, *ceteris paribus*, devido a este movimento e sem que haja mudanças técnicas no conteúdo energético da produção de cada setor. Este impacto na intensidade total é denominado efeito estrutural, e sua mensuração torna-se mais acurada quanto maior o nível de desagregação em análise, isto é, quanto mais próxima do produto tecnicamente homogêneo estiver a desagregação analítica, maior será o efeito estrutural capturado. Todavia, estudos em outros países [Boyd *et alii* (1987)] têm demonstrado que agregações menos homogêneas podem gerar resultados bastante consistentes. Estas mudanças estruturais podem ser respostas a tendências de consumo, a programas governamentais, a padrões de comércio exterior, ou mesmo resultantes de perdas ou ganhos de mercado devido aos impactos dos custos elevados de certos insumos repassados aos preços do produto.

### b) *Mudanças no conteúdo energético*

Capital, trabalho e energia podem ser combinados em diferentes proporções, seja por decorrência de alterações nos seus preços relativos, de

<sup>2</sup> Ver Percebois (1979), Östblom (1982) e Boyd *et alii* (1987), entre outros, para uma discussão sobre fatores determinantes no consumo de energia. Nas duas últimas referências, ver estudos semelhantes para Suécia e Estados Unidos, respectivamente.

melhorias técnicas ou do progresso tecnológico,<sup>3</sup> Também pode ocorrer uma alteração de intensidade resultante de uma melhoria técnica que acompanha uma ampliação ou modificação de plantas visando a um maior ganho de eficiência no uso de energia. Variações de preços relativos entre os insumos energéticos podem da mesma forma resultar, no curto prazo, em emprego de combustíveis menos eficientes intensificando o conteúdo energético, embora no longo prazo esta tendência possa ser invertida com um estoque de capital energeticamente mais eficiente.

*c) Mudanças no nível de atividade econômica*

Variações de curto prazo no nível de atividade econômica podem não resultar em variações proporcionais no consumo de energia porque: *a)* plantas menos eficientes podem entrar em operação em consequência de uma inesperada elevação do nível de atividade; e *b)* certos usos de energia podem não ser reduzidos de imediato quando a capacidade ociosa aumenta. De toda forma, em termos gerais pode-se esperar que a expansão ou retração da atividade produtiva não altere significativamente a intensidade na ausência de mudanças na composição do produto e no conteúdo energético.

Considerando-se os fatores acima mencionados, fica também evidente que é muito difícil obterem-se resultados satisfatórios com o uso de modelos econométricos para previsão de consumo de energia, na medida em que a magnitude dos coeficientes de intensidade está a depender de vários fatores e que, em sua estabilidade ao longo do tempo, não pode ser assegurada. Dessa forma, o exame deste consumo a nível mais desagregado faz-se necessário para orientar a construção de qualquer destes modelos de previsão.

Em suma, tanto na análise da eficácia dos resultados de políticas energéticas como nos exercícios de previsão, há que se considerar a importância das mudanças tecnológicas e estruturais que afetam a demanda de energia. Estas mudanças não foram desprezíveis, considerando-se as transformações profundas ocorridas no parque industrial brasileiro no período em questão. Da mesma forma, os dados da Tabela 1 confirmam a intenção da política energética após os choques de petróleo que visava à substituição dos derivados de petróleo. Isto fica evidente pela simples comparação entre os preços reais ascendentes de quase todos estes derivados em contraste com os preços reais de eletricidade, que se mantiveram relativamente estáveis ao longo deste período.

Assim sendo, apresenta-se a seguir um modelo para decomposição dos efeitos que atuam nas variações de intensidade energética, aqui denominados como: *a)* efeito conteúdo; *b)* efeito estrutural; e *c)* efeito atividade. Dessa forma, pretende-se estimar a participação de cada um destes efeitos, no período 1971/85, no consumo industrial de energia conside-

<sup>3</sup> Energia pode substituir trabalho com técnicas mais intensivas em capital.

**TABELA I**  
*Preços médios constantes de fontes de energia*

Fontes	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Per. óleo importado	16	44	41	40	39	36	51	77	77	73	83	81	80	34
Óleo diesel	71	78	85	90	102	89	110	113	135	135	136	138	122	91
Óleo combustível BFP	16	18	19	21	22	21	26	46	61	54	60	61	55	41
Gasolina	95	147	176	206	210	188	201	287	283	251	231	219	191	182
Álcool	--	--	--	--	--	--	170	222	239	202	204	204	184	177
GLP	106	132	136	126	127	121	103	83	82	75	83	89	76	54
Gás natural comb.	--	--	--	--	--	24	27	58	79	69	75	74	54	41
Gás natural redutor	--	--	--	--	--	17	19	33	33	19	20	26	38	24
Electricidade industrial*	126	119	130	118	116	114	110	109	130	121	105	103	101	103
Electricidade residencial*	341	326	342	309	286	264	251	217	207	192	169	154	147	129
Carvão vapor	9	8	9	8	11	11	12	13	18	23	20	18	16	15
Carvão vegetal	34	38	30	36	28	40	44	47	29	28	33	27	33	36
Lenha nativa	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	25	27	34
Lenha reflorest.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	38	38	51

Fonte: Balanço Energético Nacional — 1987.

Nota: Preços de 1973.

\* 860 Kcal/KWh.

rando separadamente: a) todas as formas de energia; b) o óleo combustível; e c) a eletricidade.

Todavia, como será visto mais adiante, a base de dados disponíveis não permite que esta análise seja realizada no nível de desagregação desejado. Logo, os resultados aqui apresentados representam apenas uma primeira aproximação, posto que os autores se encontram no momento ultimando esforços no sentido de obter uma base de dados mais detalhada e adequada. Da mesma forma, a obtenção de dados para os anos mais recentes permitirá que a análise possa se estender para um período em que o preço internacional do petróleo se encontre em declínio e, portanto, permitindo um novo cenário para decisões de política energética.

### 3 — O modelo de decomposição

A metodologia utilizada foi a da decomposição das variações do consumo de energia segundo três fatores: variações no conteúdo (ou real intensidade) energético, variações na estrutura econômica e variações no nível global de atividade econômica. Uma versão mais simples desta metodologia pode ser encontrada em Medina (1975), Darmstadter *et alii* (1977) ou Criquei (1982).

Assumindo  $E^{(t)ij}$  como o volume da energia  $j$  consumida pelo setor  $i$  no ano  $t$ ,  $V_i^{(t)}$  como o índice da atividade desse setor no mesmo ano e  $Y^{(t)}$  como o índice global de atividade, obtém-se a seguinte identidade:

$$E_{ij}^{(t)} \equiv \frac{E_{ij}^{(t)}}{V_i^{(t)}} \times \frac{V_i^{(t)}}{Y^{(t)}} \times Y^{(t)} \quad (1)$$

As duas razões constantes desta identidade são definidas como índice de conteúdo energético:

$$C_{ij}^{(t)} = \frac{E_{ij}^{(t)}}{V_i^{(t)}}$$

e índice de estrutura econômica:

$$S_i^{(t)} = \frac{V_i^{(t)}}{Y^{(t)}}$$

Para simplificar a notação, anotemos:

$$E_i = \sum_j E_{ij} \quad \text{e} \quad ET = \sum_i E_i$$

Dada uma variação de consumo energético:

$$\Delta ET = ET_{(t+1)} - ET_{(t)} = \sum_i \Delta E_i = \sum_{i,j} \Delta E_{ij}$$

O método busca repartir esta variação em três efeitos: o primeiro devido à variação de conteúdo, o segundo devido à variação de estruturas e o terceiro devido à variação da atividade global.

A versão mais simples deste método utilizada nos trabalhos supracitados define esses efeitos do seguinte modo:

efeito conteúdo:

$$ECij = \Delta Cij \times Si(t) \times Y(t)$$

efeito estrutura:

$$ESij = Cij(t) \times \Delta Si \times Y(t)$$

efeito atividade:

$$EAIj = Cij(t) \times Si(t) \times \Delta Y$$

Entretanto, a soma desses efeitos não corresponde à variação total:

$$\Delta Eij = ECij + ESij + EAIj + (\text{termos de 2.ª à 3.ª ordem}) \quad (2)$$

Para pequenas variações, o erro é pequeno e pode ser reduzido considerando intervalos menores. Porém, é freqüente alguns efeitos serem da mesma ordem de grandeza que o erro, o que dificulta a interpretação. Por outro lado, tendo uma série temporal, como no caso em análise, é possível eliminar os termos de alta ordem escrevendo:

$$dEij(t) = Vi(t) \cdot Y(t) dCij(t) + Cij(t) Y(t) dVi(t) + Cij(t) Vi(t) dy(t) \quad (3)$$

Isto considerando-se que as quantidades evoluem de maneira diferente no tempo e que as mensurações utilizadas são amostragens discretas de funções contínuas, ou seja, a diferencial do consumo de energia é a soma exata das diferenciais dos efeitos:

$$dEij(t) = dECij(t) + dESij(t) + dEAIj(t)$$

e tem-se:

$$Eij(t'') - Eij(t') = \int_{t'}^{t''} dECij(t) + \int_{t'}^{t''} dESij(t) + \int_{t'}^{t''} dEAIj(t)$$

Conhecendo a forma das funções  $C(t)$ ,  $S(t)$  e  $Y(t)$  no intervalo entre os pontos de amostragem, é possível, portanto, efetuar uma decomposição exata (isto é, sem termos de erro).

Como na verdade não se conhece o valor dessas funções fora dos pontos amostrados  $t_0, t_1, \dots, t_n$ , tem-se que aproximá-las por interpolação entre esses pontos e as duas interpolações mais simples são a linear e a exponencial. Em Araújo (1983 e 1986) são apresentados os resultados e os méritos relativos dessas duas funções. Na prática, os resultados são quase idênticos, e a exponencial tem a virtude da simplicidade.

Definindo as taxas instantâneas de crescimento como:

$$r_{ij_k} = \log (C_{ij}(tk + 1)/C_{ij}(tk))$$

$$s_{i_k} = \log (S_i(tk + 1)/S_i(tk))$$

e:

$$\mu_k = \log (Y(tk + 1)/Y(tk))$$

temos o efeito conteúdo entre:

$$tk \text{ e } tk + 1 (EC(k)) = \Delta E_{ij}(k) \cdot \frac{r_{ij_k}}{r_{ij_k} + s_{i_k} + \mu_k}$$

onde:

$$\Delta E_{ij}(k) = E_{ij}(tk + 1) - E_{ij}(tk)$$

e analogamente para os demais, isto é, a repartição se dá conforme as taxas de variação instantânea de conteúdo, estrutura e atividade.

Por outro lado, a linearidade da integral garante que é legítimo agregar efeitos sobre fontes, setores e períodos, não havendo necessidade de os índices de atividade serem comensuráveis, o que permite trabalhar com números índices para as atividades setoriais e global.

## 4 — A base de dados

### 4.1 — Consumo de energia

Os vetores de consumo de energia ( $E_i$ ) podem ser obtidos, no caso brasileiro, de duas fontes de dados: a) Censos e Pesquisas Industriais do IBGE; e b) Balanço Energético Nacional (BEN). No caso dos censos e pesquisas industriais, a informação é coletada junto ao estabelecimento industrial que consome energia e, no caso do BEN, os dados são originados, na sua grande parte, dos produtores e fornecedores de energia.

Os dados do IBGE são apresentados a nível de género até produto, enquanto os do BEN somente a nível de género. Por outro lado, os dados do IBGE apresentam dois tipos de problemas que inviabilizam seu uso neste tipo de estudo.<sup>4</sup> O primeiro diz respeito ao critério de desdobramento adotado nos censos e pesquisas industriais que procuram separar as diversas unidades de produção dentro de um mesmo endereço industrial (unidade local).

Como, na maioria dos casos, o fornecimento de energia é contabilizado por endereço, então o rateio deste consumo por estabelecimento nem sempre é possível ou, por vezes, realizado segundo critério não uniforme. Contudo, o que mais invalida os dados destas pesquisas refere-se à existência dos setores não produtivos denominados "unidades auxiliares de apoio (utilidades) e de serviços de natureza industrial", que foram, em certos anos, responsáveis por quase 30% do consumo de energia na indústria. Isto é justificável na medida em que estas unidades são consumidoras intensivas de energia, uma vez que englobam as utilidades de água, frio, vapor e ar comprimido, além do que não estão classificadas nos respectivos géneros de origem.

Descartando os dados do IBGE, recorreram-se às estatísticas do BEN. Devido à agregação dos índices de atividade, como será visto adiante, não foi possível manter certas aberturas de géneros industriais conforme divulgado no BEN para o consumo de energia.

Outra modificação importante na base de dados foi a escolha dos equivalentes energéticos. Em primeiro lugar, enquanto o Balanço Energético Nacional utiliza equivalentes em energia primária e poder calorífico superior (PCS), optou-se por equivalentes que refletissem de maneira adequada a energia efetivamente posta à disposição dos usuários finais, com o objetivo de obter uma primeira aproximação à energia útil e para seguir os conceitos mais empregados internacionalmente.

Neste sentido, utilizou-se o conteúdo calorífico da eletricidade (ao contrário do equivalente primário), bem como o poder calorífico inferior (PCI) para os combustíveis. O PCI é igual ao PCS menos o calor consumido na evaporação da água gerada na combustão ou contida nos combustíveis, podendo a diferença entre ele e o PCS ser substancial para alguns tipos de combustíveis. Adicionalmente, utilizou-se o conceito de tEP de 10 Giga-calorias, ao invés das 10,8 utilizadas pelo BEN, o qual tem a vantagem de permitir comparações diretas com dados internacionais. Todas estas modificações são utilizadas nos Balanços Energéticos da Área Interdisciplinar de Energia da Coppe/UFRJ.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Sem considerar o problema da "desidentificação" que não individualiza certos dados quando o informante pode ser identificado com base nestas informações.

<sup>5</sup> Para uma apresentação mais detalhada desta metodologia, ver Bicalho (1986) e Soares (1988).

Resumindo, os dados de consumo, com exceção dos anos de 1971, 1972 e 1985, foram recalculados a partir dos dados primários obtidos junto ao Comitê do Balanço Energético Nacional (Coben) e trabalhados segundo a metodologia acima. Para aqueles três anos, na ausência dos dados primários, trabalhou-se com os dados publicados pelo BEN, que foram recalculados da mesma forma. Nenhuma distorção aparece com relação aos outros anos, já que os dados de base de consumo final são os mesmos para todo o período.

#### 4.2 — Índices de atividade

Os índices de atividade ( $V_i$  e  $Y$ ) adotados são basicamente aqueles divulgados na Tabela 7.24 da Seção 7 (Indústria) de IBGE (1987), como os índices de produção física de base fixa. O emprego de índices de *quantum* faz-se necessário na medida em que se está procurando analisar a intensidade energética por unidade produzida. Entretanto, estes índices referem-se a uma agregação um pouco distinta daquela adotada nos dados do BEN utilizados para estimar o consumo de energia. Embora a classificação do BEN seja a do Código de Atividades da Receita Federal, próxima, portanto, à do IBGE, os dados são divulgados, em alguns casos, por setores que correspondem à agregação de gênero ou partição destes. Da mesma forma, realizaram-se estimativas independentes para os dois gêneros que não apresentavam índices para o período 1971/74. Assim, para compatibilizar os índices de produção com os dados de consumo de energia, procederam-se a algumas estimativas que são abaixo sumariadas.

a) Para o período 1971/74, os gêneros extrativo mineral e farmacêutico não eram pesquisados pelo IBGE para cômputo dos índices de produção física. Então, para o setor extrativo utilizaram-se os índices de produto real das Contas Nacionais e para o farmacêutico, na falta de melhor recurso no momento, admitiu-se que a taxa média de crescimento no período 1971/74 foi a mesma ocorrida nos anos seguintes até 1985.

b) Três agregações de índices foram realizadas para atender à classificação de consumo setorial do BEN, a saber: produtos alimentares e bebidas; têxtil e vestuário, calçados e artigos de tecidos; e mecânica, material elétrico e de comunicações, material de transporte, borracha, farmacêutico, perfumaria, sabões e velas, matérias plásticas e fumo. Estas agregações foram realizadas com base no sistema de peso para cálculo destes índices [ver IBGE (1986)].

c) Como deveria ser, o consumo do setor energético está separado do BEN daquele consumo industrial não vinculado ao fornecimento de energia. Então, faz-se necessário expurgá-lo dos índices que estão relacionados com a produção de energia. Para tal, eliminaram-se, do setor extrativo mineral, os produtos relativos à extração de petróleo (isto é, carvão mineral

e gás natural) e, do setor químico, o refino de derivados e a destilação de álcool, com base nas quantidades anuais produzidas nestas atividades e no sistema de peso acima referido.

d) Estimaram-se os novos índices agregados para a "indústria geral" considerando as inclusões e as exclusões acima mencionadas.

e) No setor metalúrgico e de minerais não-metálicos o BEN apresenta dados de consumo desagregados por subsetores. Todavia, não foi possível desagregar satisfatoriamente os índices de produção física segundo esta classificação para os anos anteriores a 1981. Assim, optou-se, no momento, pela utilização destes dados de consumo em sua forma agregada.

f) Ainda em relação aos minerais não-metálicos, o consumo de energia na fabricação de vidro está incluído no setor "outros". Neste caso não foi possível expurgar o índice do IBGE nem separar este consumo para incluí-lo junto com cimento e cerâmica. Acredita-se que os vieses resultantes deste procedimento não serão significativos diante do nível de agregação adotado.

## 5 — Resultados

Os resultados estão apresentados para cada ano e para os períodos 1971/74, 1974/79, 1979/82 e 1982/85. O período 1971/74, embora com poucas observações, será importante na análise de uma fase de rápida expansão econômica com energia barata. No período seguinte, 1974/79, observa-se uma política de preços de derivados pouco ajustada à nova realidade, na medida em que não internaliza toda a elevação no preço do petróleo importado, mas ainda se presenciam taxas de crescimento razoáveis. Os dois últimos períodos refletem as fases recessivas e de expansão da economia brasileira *vis-à-vis* uma política energética mais ativa, propondo preços mais realistas para os derivados de petróleo e incentivando substituições, como em 1982, com a expansão do processo de eletrotermia.<sup>6</sup>

Como pode ser observado na Tabela 2 e no Gráfico 1, considerando todos os energéticos consumidos no setor industrial, no período 1971/74, o efeito estrutura foi responsável por um decréscimo no consumo total de apenas 12%, enquanto nos períodos 1974/79 e 1979/82 os valores positivos deste efeito representaram somente um acréscimo de 6 e 21%, respectivamente. Embora no período seguinte, 1982/85, esta contribuição chegue a 147%, ainda fica bem abaixo das contribuições dos efeitos conteúdo e atividade: - 728 e 581%, respectivamente.

<sup>6</sup> O procedimento de agregação no período foi realizado pela soma dos efeitos anuais, e o efeito total equivale à soma dos efeitos calculados para os setores.

TABELA 2  
*Decomposição do consumo industrial de energia no Brasil*

Fonte	1971/74					1974/79					1979/82					1982/85				
	ET	EC	EE	EA	ET	EC	EF	EA	ET	EC	EE	EA	ET	EC	EE	EA	ET	EC	EE	EA
Óleo combustível	2.970	336 (11.3)	-170 (-5.7)	2.804 (94.4)	3.977	-119 (-0.03)	569 (0.15)	3.507 (0.88)	-5.744	-5.492 (-1.95)	516 (0.10)	-258 (-0.05)	-2.500	-4.500 (-1.80)	368 (0.15)	1.632 (0.55)				
Outros combustíveis	3.251	519 (0.16)	-455 (-0.14)	3.187 (0.98)	4.966	1.139 (0.23)	-33 (-0.01)	3.860 (0.78)	925	1.334 (1.44)	192 (0.21)	-601 (-0.65)	1.003	-2.581 (-2.58)	1.022 (1.02)	2.572 (2.56)				
Energia elétrica	966	206 (0.21)	-85 (-0.09)	845 (0.86)	2.434	1.101 (0.45)	122 (0.05)	1.211 (0.50)	774	1.018 (1.32)	18 (0.02)	-262 (-0.34)	2.186	1.300 (0.59)	339 (0.15)	557 (0.76)				
Energia total	6.148	23 (0.001)	-710 (-0.12)	6.835 (1.12)	11.378	2.121 (0.19)	679 (0.06)	8.578 (0.75)	-3.544	-3.139 (-0.89)	726 (0.21)	-1.131 (-0.32)	689	-5.791 (-8.28)	1.729 (2.47)	4.761 (6.61)				

NOTAS: ET — variação do consumo total de energia;

EC — efeito conteúdo;

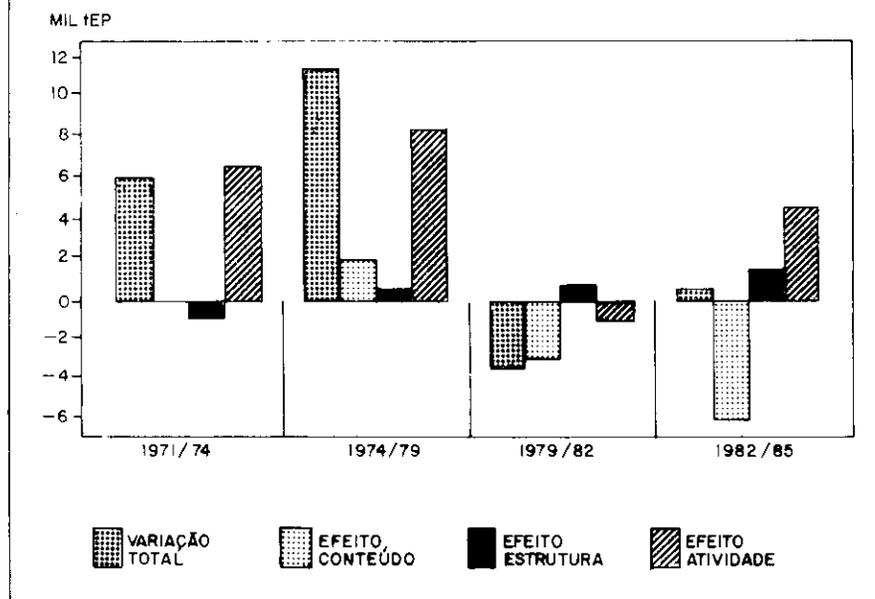
EE — efeito estrutura;

EA — efeito atividade.

Os números entre parênteses mostram a relação entre cada efeito e o total de energia consumida (ET).

GRÁFICO 1

## Decomposição do Consumo Industrial



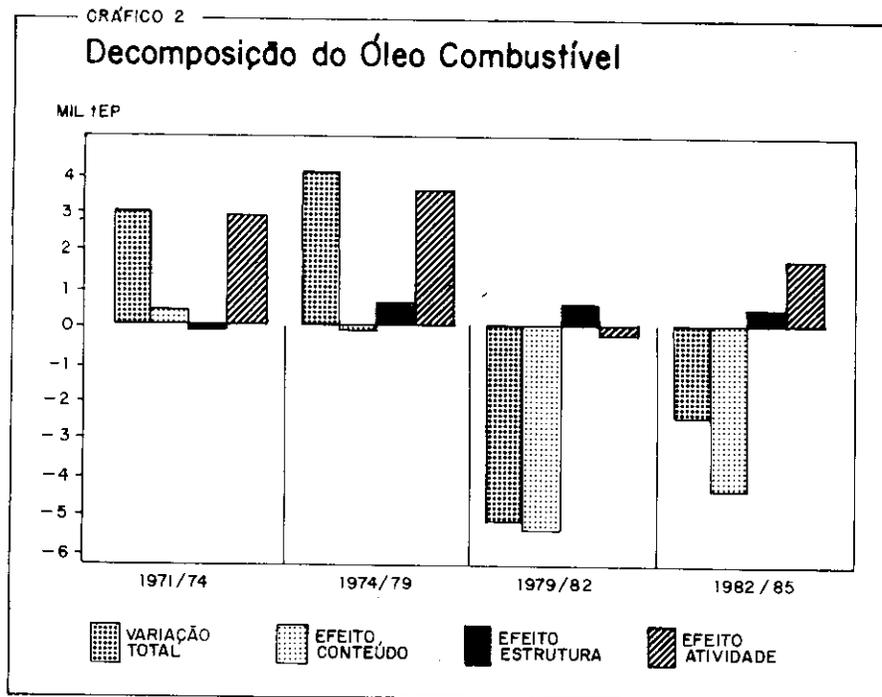
Entretanto, o sinal positivo desse efeito a partir de 1974 sugere que, a este nível de agregação, a política energética de preços adotada no período não comprometeu o crescimento dos setores mais intensivos em energia.<sup>7</sup> Por outro lado, na década de 70 o crescimento acelerado do produto industrial parece ter sido o determinante do consumo de energia neste setor, como mostra a relevância do efeito atividade no período.<sup>8</sup> Já na década de 80 a fase recessiva reverte o sinal do crescimento do consumo de energia, sendo que nestes anos é o efeito conteúdo que predomina como a principal causa desta tendência.

<sup>7</sup> Como já mencionado na introdução, utilizando-se dados mais desagregados sobre consumo e atividade seria possível captar os efeitos estruturais ocorridos dentro de cada setor. Esta desagregação está sendo objeto atual de pesquisa dos autores.

<sup>8</sup> Embora com método de decomposição e base de dados distintos, Reis e Oliveira (1979) estimam os efeitos estrutura e conteúdo da intensidade de energia elétrica para os períodos 1968/73 e 1973/78. Seus resultados para os períodos em questão indicam as mesmas tendências das estimativas aqui apresentadas para os períodos 1971/74 e 1974/79. Todavia, as diferenças metodológicas não permitem comparações diretas entre as magnitudes dos efeitos calculados nos dois estudos.

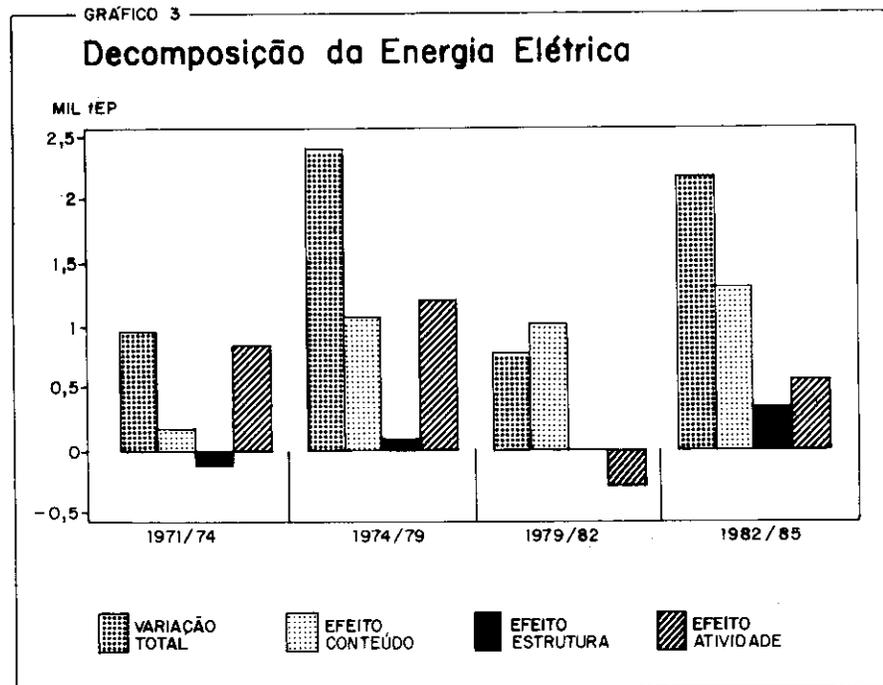
Contudo, estas avaliações tornam-se mais consistentes quando distinguem os dois principais energéticos da indústria: energia elétrica e óleo combustível. No Gráfico 2 está apresentada a decomposição destes efeitos para o consumo de óleo combustível na indústria. Observa-se que, neste caso, o efeito estrutura, embora não muito expressivo, tem sido positivo a partir de meados da década de 70, mesmo em períodos recessivos, o que pode ser explicado pelo processo de industrialização de bens de capital e intermediários, intensivos em energia, ocorrido nestes anos.

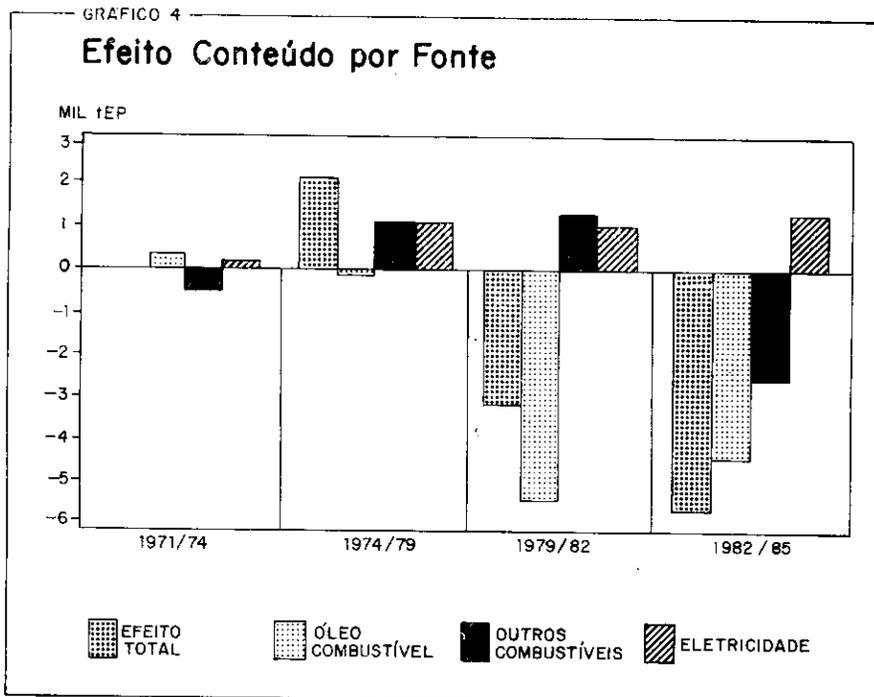
Da mesma forma, nota-se a significativa relevância do efeito conteúdo negativo no consumo do óleo combustível neste mesmo período, ou seja, a intensidade real deste energético por unidade de produto industrial, expressa no efeito conteúdo, tem sido decrescente mesmo diante de taxas de crescimento positivas (e relativamente maiores) daqueles setores mais intensivos neste derivado. Com base nestes resultados, é possível concluir que o uso de óleo combustível na indústria brasileira, em termos técnicos, tem sido exercido eficientemente. Todavia, reduções no conteúdo energético por unidade de produto podem também ser alcançadas via substituição.



Observando o Gráfico 3, é possível notar que o efeito conteúdo no consumo de energia elétrica na indústria tem sido positivo e crescente, isto é, o uso de eletricidade tem crescido por unidade de produto, e esta tendência, acentuada após 1982, não está relacionada com qualquer mudança na composição do produto na direção de setores mais intensivos em energia elétrica, posto que o efeito estrutura, a este nível de agregação, é pouco significativo.

Retornando ao consumo total de energia, o Gráfico 4 oferece com clareza esta oposição de tendências. Observa-se que a reversão do efeito conteúdo na indústria, durante a década de 80, deve-se quase que exclusivamente à intensidade decrescente de óleo combustível por unidade de produto. Assim, estes resultados parecem revelar que ocorreu uma melhoria no uso total de energia no setor industrial, o que pode ser explicado pela conservação/otimização ou pela substituição – devido à mudança de preços relativos – de combustíveis de baixa eficiência por aqueles de alta eficiência. Conforme mencionado, o efeito estrutural captado não foi significativo.





Não há dúvida de que a substituição de óleo combustível por energia elétrica tem sido incentivada via preços,<sup>9</sup> embora o contingenciamento no início da década de 80 tenha sido também significativo. Isto porque, enquanto a energia elétrica era oferecida a preços reais declinantes, os choques do petróleo forçavam custos reais cada vez mais altos para os consumidores de óleo combustível. Investimentos de pequeno porte, viabilizados por tarifas elétricas subsidiadas, permitiram que esta substituição se processasse e, de acordo com nossos resultados, sem prejuízo térmico, dado que no consumo total houve um declínio de intensidade. Da mesma forma, os custos elevados na utilização de óleo combustível podem ter trazido melhorias tecnológicas que permitiram reduções significativas no consumo deste energético.

Outro aspecto importante a ser observado no Gráfico 4 diz respeito à contribuição dos outros combustíveis. O consumo deste grupo de energéticos apresentou efeito conteúdo negativo no período 1982/85, como no caso do óleo combustível, embora no período anterior, até 1974, este efeito tenha sido positivo. Estes movimentos parecem sugerir as mesmas

<sup>9</sup> Não só as tarifas elétricas preferenciais (TGTD) do processo de eletrotermia, como também as tarifas normais (ver Tabela 1).

interferências extraídas quanto à substituição do óleo combustível pela eletricidade, só que em menor escala e acentuada nos anos recentes.

O impacto destes dois fatores — conservação e substituição — parece explicar nossos resultados para a decomposição do consumo total de energia na indústria. Entretanto, para distinguir a preponderância de cada fator é preciso determinar as mudanças ocorridas nos rendimentos absolutos de cada forma de energia, o que no momento ainda não se pode realizar, ou seja estimar os valores exatos de energia útil.

## 6 — Comentários finais

Os resultados aqui apresentados indicam que as mudanças na composição do produto do setor industrial não afetaram significativamente a intensidade energética deste setor, posto que os efeitos estruturais estimados não são significativos quando comparados com os demais efeitos. Por outro lado, o efeito conteúdo positivo da energia elétrica, em contraste com o sinal negativo deste efeito para o óleo combustível, revela que, mesmo descontando os ganhos de conservação, tem ocorrido substituição deste derivado por eletricidade. Estas estimativas e tendências no padrão de consumo de energia na indústria podem ser explicadas como decorrência da própria política de preços de energia adotada a partir dos choques de petróleo. Esta foi desenvolvida considerando dois aspectos: *a)* restrições cambiais que limitavam a capacidade de importação de petróleo; e *b)* oferta de energia hidroelétrica em expansão viabilizada por empréstimos externos. Logo, o incentivo via preços para a utilização de energia elétrica foi uma resposta imediata a estes condicionantes.

Entretanto, os cenários atual e esperado nos próximos anos apontam justamente para a direção oposta, ou seja, parece plausível supor que o nível do preço real do petróleo e o desempenho comercial brasileiro permitam uma folga cambial para um possível incremento na importação ou um aumento na capacidade de financiamento dos investimentos na exploração de petróleo. Em suma, as limitações para a expansão da oferta de derivados tornam-se menos restritivas.<sup>10</sup>

Por outro lado, a debilidade financeira do setor elétrico, resultante de tarifas artificiais e do serviço da dívida externa, limitam as possibilidades de financiamento para a expansão do setor. Além do mais, questões técnicas ambientais impõem outras restrições a esta expansão, seja na alternativa hidroelétrica ou na nuclear.

<sup>10</sup> Embora exista atualmente um excedente de óleo combustível, há que se considerar as implicações na estrutura de refino da Petrobrás devido a um contínuo incremento no consumo do óleo combustível *vis-à-vis* o perfil de consumo dos outros derivados. Por outro lado, a expansão do consumo de gás natural não causaria tal restrição.

Dessa forma, estes resultados e previsões parecem indicar que uma política de preços mais realista, com preços relativos energia elétrica/derivados mais elevados, criaria condições não só para uma estabilização na demanda de eletricidade, como também, e principalmente, poderia viabilizar outros combustíveis nobres atualmente disponíveis, como, por exemplo, o gás natural.

### Abstract

*In the Brazilian economy, the final energy consumption to national income ratio declined from 7,6 to 6,6 (10<sup>3</sup> toe/10<sup>9</sup> Cz\$) between 1973 and 1984. In the same period, nonetheless, electricity consumption in the industrial sector increased in 200% whereas fuel oil consumption dropped by 20%. Those alterations in the Brazilian energy consumption pattern must be analysed considering the radical changes occurred in the Brazilian industrial structure in the last two decades as well as the supply side adjustments imposed by the oil shocks. Therefore, this study intends to decompose the Brazilian industrial energy consumption into three components: a) activity effect; b) structural effect; and c) content effect. The activity effect reflects the relative changes due to the activity level of the sector and the content effect represents the changes in the energy intensity after the structural effect, resulting from changes in the mix of industrial output, being discounted. The results pertain to the period 1971/85 and are estimated separately for electricity, fuel oil and other fuels. In so doing allow to relate them to the main aspects of the Brazilian economic growth and energy policy during the period. From this analysis some suggestions for energy planning are put forward taking into account the financial and environmental restrictions upon the energy supply in Brazil.*

### Bibliografia

- ARAÚJO, J. L. *Structural analysis of energy: economy relationship in Brazilian industry*. Trabalho apresentado num curso promovido pelo IAEA (International Atomic Energy Agency), em Ljubljana, Iugoslávia, jun. 1983.
- . *Structural decomposition models*. Seminário proferido no Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, fev. 1986.
- BICALHO, R. G. *Reflexões críticas sobre o balanço energético brasileiro*. Rio de Janeiro, 1986, Tese (M) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe/AIE.
- BOYD, G., *et alii*. Separating the changing composition of U. S. manufacturing production from energy efficiency improvements: a divisia index approach. *The Energy Journal*, 8 (2) :77-96, abr. 1987.

- CRICUI, P. *Etude des impacts des "chocs pétroliers" sur la consommation d'énergie*. Grenoble, IEJE (Institut Economique et Jurydique de l'Energie), 1982.
- DARMSTADTER, J., et alii. *How industrial societies use energy: a comparative analysis*. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1977.
- IBGE. *Índices da produção industrial: séries revistas, 1975-85*. Rio de Janeiro, 1986.
- . *Séries estatísticas retrospectivas*. V. 3: Estatísticas históricas do Brasil: sociais de 1500 a 1985. Rio de Janeiro, 1987.
- MEDINA, E. Consommation d'énergie, essai de comparaisons internationales. *Economie et Statistique*, (66) :3-21, abr. 1975.
- ÖSTBLOM, C. Energy use and structural changes: factors behind the fall in Sweden's energy output ratio. *Energy Economics*, 4 (1) :21-8, jan. 1982.
- PERCEBOIS, J. Is the concept of energy intensity meaningful? *Energy Economics*, 1 (3) :148-55, jul. 1979.
- REIS, J. G. A., e OLIVEIRA, D. *Notas sobre a oferta e demanda de energia elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro, IPEA/INPES, 1979, mimeo.
- SOARES, V. R. A questão do gás natural, dos carvões energéticos e do poder calorífico do BEN. A contabilização da cana-de-açúcar e seus derivados no BEN. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE BALANÇOS ENERGÉTICOS, 1. Itaipava, RJ, 3-6 dez. 1986. *Anais...* Rio de Janeiro: UFRJ/Coppe/AIE, 1988.

(Originais recebidos em novembro de 1988.)