

autor: Arnaldo Cesar S. Walter
orientador: Sérgio Valdir Bajay

DEM/FEC/UNICAMP

Impacto dos Programas de Conservação
na Demanda Energética Industrial
do Estado de São Paulo

07/87

U N I C A M P
BIBLIOTECA CENTRAL

Este exemplar corresponde a redação final da
tese defendida por ARNALDO CESAR DA SILVA WALTER
e aprovada pela Comissão Julgadora em 27/03/1984.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S. V. Bajay', enclosed within a large, loopy oval shape.

PROF. DR. SERGIO VALDIR BAJAY
ORIENTADOR

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho não teria sido possível sem o auxílio de muitas outras pessoas.

Em primeiro lugar deve-se destacar o apoio concedido pela FAPESP, de fundamental importância, sem o qual não haveria condições de levar a cabo essa empreitada.

Não menos importante foi a ajuda da CPFL no desenvolvimento de trabalhos computacionais, motivo pelo qual gostaríamos de manifestar nossos mais sinceros agradecimentos à pessoa do Chefe da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Eng^o Antonio Augusto Pires de Oliveira Filho, e em especial à Analista de Sistemas Srta. Jussara Colombini Barone, por sua eficácia e dedicação.

Gostaríamos também de deixar registrado nossos agradecimentos ao Conselho Nacional do Petróleo pelo fornecimento de dados da maior importância, e em especial ao Eng^o Francisco Sayão Lobato, a quem muito devemos.

Destaque especial deve ser dado à equipe comandada pelo Eng^o Fausto Funari na Divisão de Térmica do Departamento de Engenharia Mecânica do IPT. Graças em parte à atenção e prestatividade dos membros dessa equipe, especialmente de seu chefe, esse trabalho pôde ser desenvolvido.

Agradecemos também à Agência para Aplicação de Energia, na pessoa da Eng^a Maria do Carmo Marini, e à equipe de Desenvolvimento de Mercado, pela ajuda no acesso a informações fundamentais. Pelo mesmo motivo também agradecemos ao Eng^o Luiz Eduardo Lima, da FDTE.

Devemos expressar nossos agradecimentos à Secretária Neusa de Andrade Maria pela dedicação na realização de parte dos trabalhos de datilografia, e a todos os colegas do Departamento de Engenharia Mecânica, e em especial aos companheiros de trabalho da Divisão de Energia e do Grupo de Planejamento Energético.

Finalmente, nosso reconhecimento a todos aqueles com quem convivemos, pelo apoio, estímulo e paciência manifestados em oportunidades inúmeráveis.

Campinas, março de 1987

ÍNDICE

Capítulo 1:	Considerações iniciais	01
Capítulo 2:	Análise dos modelos de projeção da demanda energética	19
Capítulo 3:	O modelo adotado	37
Capítulo 4:	Exemplo de aplicação do modelo	53
Capítulo 5:	Análise de processos de produção indus- trial - uso de energia na indústria	84
	Indústria Metalúrgica	85
	Indústria de Alimentos e Bebidas	127
	Indústria Química	150
	Indústria de Transformação de Minerais não Metálicos	179
	Indústria de Papel e Celulose	227
	Indústria Têxtil	247
Capítulo 6:	Projeção da demanda energética em um ce- nário de conservação de energia	263
Capítulo 7:	Considerações finais	287
Anexo A:	Base de dados	291
Anexo B:	Parâmetros de cenários e resultados fi- nais	305
Referências Bibliográficas:		340

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Evolução dos preços de derivados de petróleo	07
Figura 02 - Evolução do consumo final energético - Bra sil	09
Figura 03 - Áreas de desagregação do Estado de São Paulo	47
Figura 04 - Comparação entre dados de consumo energético industrial - Brasil	49
Figura 05 - Comparação entre dados de consumo energético industrial - Estado de São Paulo	50
Figura 06 - Projeção da demanda de energia útil total - Alimentos e Bebidas	82
Figura 07 - Projeção da demanda dos principais energéti cos - Alimentos e Bebidas	83
Figura 08 - Fluxograma do processo de produção siderúrgi co	88
Figura 09 - Fluxograma de energia da Usiminas - 1979	95
Figura 10 - Fluxograma do processo de produção de uma fundição de ferros fundidos	107
Figura 11 - Evolução do consumo energético na indústria de ferro gusa e aço - Brasil	117
Figura 12 - Consumo específico de energia na indústria siderúrgica	120
Figura 13 - Evolução de diversos números índice para a indústria siderúrgica	121
Figura 14 - Evolução do consumo energético nas demais in dústrias metalúrgicas	124
Figura 15 - Fluxograma dos processos de beneficiamento do leite e produção de laticínios	129
Figura 16 - Fluxograma dos processos de extração e refi no de óleos vegetais	133
Figura 17 - Fluxograma dos processos de produção de mas sas alimentícias e biscoitos	136

Figura 18 - Fluxograma dos processos de produção de ba- las, chocolates e doces em massa	138
Figura 19 - Evolução do consumo energético na indústria de Alimentos e Bebidas - Brasil	146
Figura 20 - Evolução de números índice para a indústria de Alimentos e Bebidas	148
Figura 21 - Fluxograma do processo de produção de cloro	153
Figura 22 - Fluxograma do processo de produção de ácido acético	155
Figura 23 - Fluxograma de produção de eteno, benzeno, pro- peno e afins	158
Figura 24 - Fluxograma do processo de produção de ácido nitríco	159
Figura 25 - Esquema geral da produção de fertilizantes no Brasil	162
Figura 26 - Fluxograma dos processos de produção de Ni- trato de amônio e Nitrocálcio	163
Figura 27 - Consumo de energia na indústria Química - Brasil	172
Figura 28 - Consumo específico de energia na indústria Química	175
Figura 29 - Números - índice para a indústria Química	176
Figura 30 - Transformação de cru em clínquer em diferen- tes instalações	183
Figura 31 - Fluxograma do processo de fabricação de ci- mento	185
Figura 32 - Evolução do consumo energético na indústria de cimento - Brasil	196
Figura 33 - Consumo específico de energia na indústria de cimento	198
Figura 34 - Evolução de diversos números índice para a indústria de cimento	199
Figura 35 - Fluxograma dos processos de fabricação de vi- dro	206

Figura 36 - Fluxograma dos processos de fabricação de produtos cerâmicos	219
Figura 37 - Evolução do consumo energético na indústria cerâmica - Brasil	225
Figura 38 - Fluxograma da produção de papel e celulose - Processo sulfato	229
Figura 39 - Consumo energético - Sub-setor Papel e Celulose - Brasil	238
Figura 40 - Evolução do consumo específico de energia na indústria de Papel e Celulose	242
Figura 41 - Números-índice para a indústria de papel e celulose	243
Figura 42 - Fluxograma do processo de produção têxtil	249
Figura 43 - Consumo de energia na indústria têxtil	256
Figura 44 - Consumo específico de energia na indústria têxtil	259
Figura 45 - Números-índice para a indústria têxtil	260
Figura 46 - Projeção da demanda dos principais energéticos considerada a hipótese de conservação - Alimentos e Bebidas.	282
Figura 47 - Projeção da demanda de energia útil - Metalurgia	325
Figura 48 - Projeção da demanda dos principais energéticos - Metalurgia	326
Figura 49 - Projeção da demanda de energia útil total - Química	327
Figura 50 - Projeção da demanda dos principais energéticos - Química	328
Figura 51 - Projeção da demanda de energia útil total - Minerais não metálicos	329
Figura 52 - Projeção da demanda dos principais energéticos - Minerais não metálicos	330
Figura 53 - Projeção da demanda de energia útil total - Papel e Celulose	331

Figura 54 - Projeção da demanda dos principais energéti <u>cos</u>	332
Figura 55 - Projeção da demanda de energia útil total - Têxtil	333
Figura 56 - Projeção da demanda dos principais energéti <u>cos</u> - Têxtil	334
Figura 57 - Projeção da demanda dos principais energéti <u>cos</u> considerada a hipótese de conservação - Metalurgia	335
Figura 58 - Projeção da demanda dos principais energéti <u>cos</u> considerada a hipótese de conservação - Química	336
Figura 59 - Projeção da demanda dos principais energéti <u>cos</u> considerada a hipótese de conservação - Minerais não metálicos	337
Figura 60 - Projeção da demanda dos principais energéti <u>cos</u> considerada a hipótese de conservação - Papel e Celulose	338
Figura 61 - Projeção da demanda dos principais energéti <u>cos</u> considerada a hipótese de conservação - Têxtil	339

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Investimentos do Programa CONSERVE-BNDES	14
Tabela 02 - Investimentos típicos para a produção e conservação de combustíveis	15
Tabela 03 - Três principais energéticos por sub-setor industrial	54
Tabela 04 - Coeficientes dos regressores das equações de energia útil total	59
Tabela 05 - Sub-setor de Alimentos e Bebidas - Equações de parcela de mercado sem imposição da igualdade entre os coeficientes	60
Tabela 06 - Sub-setor de Alimentos e Bebidas - Equações de parcelas de mercado com imposição de igualdade entre os coeficientes - Ajuste pelo método de Mínimos Quadrados Simples	61
Tabela 07 - Coeficientes dos regressores das Equações de parcelas de mercado - Sub-setores de Metalurgia e Alimentos e Bebidas	63
Tabela 08 - Coeficientes dos regressores das Equações de parcelas de mercado - Sub-setores Química e Minerais não metálicos	64
Tabela 09 - Coeficientes dos regressores das equações de parcelas de mercado - Sub-setores Papel e Celulose e Têxtil	65
Tabela 10 - Taxas médias de crescimento do índice de atividade por sub-setor industrial no período 1981-1984	66
Tabela 11 - Taxas percentuais de crescimento anual do valor de transformação industrial	67
Tabela 12 - Taxas percentuais de crescimento anual dos investimentos	68
Tabela 13 - Fator de carga e sub-grupo para sub-setores industriais	70

Tabela 14 - Eletricidade aplicada em eletrotermia, substituída por óleos pesados - Gcal útil	74
Tabela 15 - Penetração do gás natural no setor indus- trial	78
Tabela 16 - Projeções da demanda de energia útil to- tal - Alimentos e Bebidas [Gcal]	79
Tabela 17 - Distribuição da demanda de energia proje- tada entre os principais energéticos - Alimentos e Bebidas	81
Tabela 18 - Estrutura de consumo de energia na indús- tria de fundição	105
Tabela 19 - Característica de fusão de várias ligas e metais	108
Tabela 20 - Estrutura de consumo energético da indús- tria Química - Brasil	173
Tabela 21 - Consumo específico na produção de cimen- to	190
Tabela 22 - Aspectos dos processos via úmida e via seca	191
Tabela 23 - Estrutura da demanda energética na indús- tria de cimento	195
Tabela 24 - Variação percentual do consumo energéti- co - Papel e Celulose	239
Tabela 25 - Perfil de uso de energia na indústria têxtil - São Paulo	251
Tabela 26 - Taxas anuais de crescimento do consumo de energia	265
Tabela 27 - Taxas de crescimento das projeções de de- manda de energia no cenário básico- Me- talurgia	269
Tabela 28 - Taxas de crescimento das projeções de de- manda de energia no cenário básico- Ali- mentos e Bebidas	272

Tabela 29 - Taxas de crescimento das projeções de de manda de energia no cenário básico - Quí mica	274
Tabela 30 - Taxas de crescimento das projeções de de manda de energia no cenário básico- Mine rais não metálicos	277
Tabela 31 - Taxas de crescimento das projeções de de manda de energia no cenário básico - Pa pel e Celulose	279
Tabela 32 - Taxas de crescimento das projeções de de manda de energia no cenário básico - Têx til	281
Tabela 33 - Taxas de crescimento das projeções de de manda de energia útil - Cenário básico e de conservação	284
Tabela 34 - Demanda de energia secundária - setor in dustrial - Estado de São Paulo - 1990	286
Tabela 35 - Perfil do consumo energético no setor in dustrial - Estado de São Paulo - 1976	292
Tabela 36 - Perfil do consumo energético no setor in dustrial - Estado de São Paulo - 1977	293
Tabela 37 - Perfil do consumo energético no setor in dustrial - Estado de São Paulo - 1978	294
Tabela 38 - Perfil do consumo energético no setor in dustrial - Estado de São Paulo - 1979	295
Tabela 39 - Perfil do consumo energético no setor in dustrial - Estado de São Paulo - 1980	296
Tabela 40 - Perfil do consumo energético no setor in dustrial - Estado de São Paulo - 1981	297
Tabela 41 - Eficiência média de utilização de diver sas formas de energia na indústria	298
Tabela 42 - Fatores de conversão para Gcal por ener gético	299
Tabela 43 - Valor de transformação industrial	300
Tabela 44 - Inversões de capital	301

Tabela 45 - Relações inversões de capital/valor de transformação industrial	302
Tabela 46 - Preços médios de diversas formas energéticas	303
Tabela 47 - Fatores multiplicativos para deflação de valores monetários	304
Tabela 48 - Valor de transformação industrial - projeções para o cenário básico	306
Tabela 49 - Inversões de capital - projeções para o cenário básico	307
Tabela 50 - Relações inversões de capital/valor de transformação industrial - projeções para o cenário básico	308
Tabela 51 - Preços médios de diversas formas energéticas	309
Tabela 52 - Evolução dos preços médios do óleo BPF deflacionados	310
Tabela 53 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1982	311
Tabela 54 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1983	312
Tabela 55 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1984	313
Tabela 56 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1985	314
Tabela 57 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1986	315
Tabela 58 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1987	316

Tabela 59 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1988	317
Tabela 60 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1989	318
Tabela 61 - Perfil projetado do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - 1990	319
Tabela 62 - Perfil do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - Cenário de conservação - 1986	320
Tabela 63 - Perfil do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - Cenário de conservação - 1987	321
Tabela 64 - Perfil do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - Cenário de conservação - 1988	322
Tabela 65 - Perfil do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - Cenário de conservação - 1989	323
Tabela 66 - Perfil do consumo energético no setor industrial - Estado de São Paulo - Cenário de conservação - 1990	324

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Conservação de energia

A energia é um insumo essencial à vida e a todas as atividades associadas a ela. Em termos econômicos, diz-se que a energia é um bem de demanda derivada, isto é, o consumo de energia está sempre associado à demanda de um bem ou serviço, sendo um dos insumos necessários à satisfação dessas demandas.

Todas as sociedades deveriam ter como objetivo alcançar um estado em que fosse factível minimizar a utilização de seus recursos. Se a energia, nas diversas formas em que está disponível na natureza (petróleo, carvão, radiação solar direta, ventos, etc) é então encarada como um recurso, e assim deve sê-lo, deve existir a preocupação de racionalização de seu uso. É nesse contexto que se insere a idéia de "conservação de energia".

Conservação de energia é um jargão de uso disseminado a nível mundial, utilizado para expressar ações que visam em última análise reduzir a quantidade de energia consumida na viabilização de uma certa atividade, seja ela a prestação de um serviço, como por exemplo o transporte de pessoas, ou a fabricação de um determinado bem, como por exemplo um copo de vidro.

Na visão de Hu [1983], a conservação de energia deve ser entendida de uma maneira mais ampla, abrangendo três conceitos fundamentais. O primeiro deles parte da definição de uma função de produção genérica (de um bem ou serviço), em que a energia juntamente com matérias-primas, mão-de-obra, capital e tempo, é entendida como um insumo para a produção; nesse sentido a conservação de energia seria a substituição, num processo produtivo, de energia por um ou mais de um dos outros insumos, sem que com isso se prejudicasse o nível de produção.

O segundo conceito de conservação está relacionado ao que se entende usualmente por processos de substituição entre formas energéticas. A idéia baseia-se na possibilidade de emprego de insumos energéticos provenientes de recursos renováveis e menos nobres, em substituição a fontes não renováveis, e num certo senti

do, raras.

Finalmente, o terceiro ponto de conceituação lança mão de uma questão a nível mais geral: se a energia é um insumo de processos de produção de bens materiais ou serviços, é possível a redução da demanda de energia a partir de uma menor solicitação dessas comodidades.

Essa abordagem do problema permite a visão de que conservação de energia, assim como toda problemática energética num sentido mais amplo, é uma questão em que as dimensões técnica e econômica são apenas dois lados de um problema mais geral, com influências e repercussões a nível político, social, ecológico, estratégico, etc.

Ainda de acordo com Hu [1983], existem dois princípios básicos que regem, ou deveriam reger, todas as ações no sentido de se conservar energia. O primeiro deles diz respeito à maximização da eficiência termodinâmica nas operações de uso de energia o que significa a extração da máxima quantidade de trabalho a partir de um certo aporte energético. O segundo princípio é o da máxima eficiência de capital, que é alcançada quando as medidas de conservação são aplicadas de maneira a se permitir a maximização da eficiência termodinâmica ao menor custo.

É interessante que a idéia associada ao primeiro princípio seja melhor explorada. Do ponto de vista termodinâmico, rigorosamente não faz sentido se falar em medidas de conservação de energia, uma vez que a energia, num sistema fechado, sempre se conserva. No entanto, é importante notar que quando se visa a racionalização do uso da energia deve se ter em mente a importância da minimização da destruição da disponibilidade termodinâmica. É dessa forma que deve ser entendida a maximização da eficiência termodinâmica.

O enfoque dado por Le Goff [1979] ao primeiro conceito de conservação de energia (a substituição de energia por um ou mais insumos da produção) se encaixa de maneira adequada aos propósitos desse trabalho: a nível industrial, conservar energia pode ser entendido como o conjunto de ações no sentido de se minimizar a rejeição de energia ao meio ambiente durante as operações de conversão, através do aumento da eficiência dos dispositivos e sistemas industriais. São identificados seis diferentes níveis de ações:

(i) ações imediatas sobre o comportamento, reduzindo - se dessa forma os desperdícios;

(ii) ações a curto prazo sobre a manutenção, melhorando-se a eficiência dos vários equipamentos pela simples melhora da qualidade da manutenção;

(iii) ações a médio prazo sobre os circuitos, sem alterações no princípio do processo ou na engenharia, com recuperação de fluxos energéticos efluentes;

(iv) ações a médio prazo sobre a engenharia, sem alterações no princípio do processo, nas matérias-primas ou nos produtos finais, mas com alterações na engenharia do processo, como por exemplo substituição de vias de produção descontínuas por contínuas;

(v) ações a médio e longo prazo na interconexão de processos, de maneira a que os fluxos energéticos efluentes de um processo possam ser utilizados como insumo de outro;

(vi) ações a longo prazo sobre o princípio do processo com alterações, se necessário, nas matérias-primas.

A ideologia de conservação de energia se fortaleceu e ganhou espaço com os dois impactos da crise energética, em 1973 e 1979, através de alta acentuada dos preços internacionais do petróleo. "O barril de petróleo mais barato é aquele que se economiza", diz-se numa alusão ao fato de que os investimentos típicos em conservação são, de uma forma geral, inferiores aos investimentos necessários à produção de insumos energéticos [Goldemberg, 1985].

No caso brasileiro, a conservação de energia reveste-se de uma importância especial. Numa sociedade em que a economia está fundamentada em setores intensivos em energia, com forte influência da indústria de base e de bens de consumo, com a necessidade de um processo de desenvolvimento econômico acentuado de maneira a que sejam reduzidas ao máximo as pressões sociais, com a carência de infra-estrutura básica e com a escassez de recursos financeiros, é necessário que o país esteja engajado num processo de racionalização de amplo alcance, com destaque nos aspectos energéticos.

É esse o contexto em que se coloca a atual necessidade de racionalização de energia elétrica, e é dentro do mesmo enfoque que deve-se ter o processo de retomada do desenvolvimento econômico, mormente a nível industrial.

Em que pese as vantagens da conservação de energia,

deve-se destacar o fato de que existem inúmeras restrições à difusão dessa idéia. Moran [1982] coloca como principal fator limitante a pequena incidência da energia dentro da estrutura de custos da produção industrial, fato que se reveste de contornos mais críticos na medida em que muitas indústrias brasileiras desconhecem sua própria estrutura de custo.

É regra quase que geral que, dentro das opções de investimento, o empresariado considere prioritária a alocação na expansão da capacidade de produção ou expansão do domínio do mercado, deixando para um segundo plano as opções de investimento em conservação, por entender que os resultados não satisfazem seus objetivos imediatos.

Ainda neste capítulo, mais a frente, faz-se uma análise mais detalhada das políticas energéticas, em especial daquelas voltadas à conservação, que foram implantadas no país nos últimos anos, procurando-se identificar, para o caso brasileiro, os principais fatores limitantes.

1.2. Planejamento Energético

Na visão de Goldemberg [1985], planejamento energético é o exercício de prever o consumo futuro de energia e tirar dessas previsões as consequências necessárias para torná-los possíveis, tais como fazer investimentos necessários e iniciar a tempo hábil as obras de engenharia ou outras ações necessárias.

Na verdade essa é uma visão um tanto quanto simplista do problema. A concepção de que o planejamento energético se resume à análise e escolha das alternativas de oferta disponíveis para satisfazer a demanda de energia projetada para um certo ano é, no presente, ultrapassada.

De acordo com La Rovere [1983], a abordagem da questão energética nos países do Terceiro Mundo, seja na prática do planejamento, como na discussão das opções a médio e longo prazo, vem se baseando essencialmente na concepção de energia como um dos setores produtivos da economia. Este é o enfoque que postula que as únicas variáveis controláveis são as de oferta de energia, e que a evolução da demanda não pode ser modificada pelo planejamento.

É preciso que hajam esforços no sentido de se modificar a visão predominante no planejamento energético atual, uma

vez que a manobra exclusiva pelo lado da oferta oculta as margens de liberdade para a adoção de uma estratégia de desenvolvimento menos intensiva em energia e obscurece dessa forma o debate em torno da questão energética [La Rovere, 1983].

A visão que prevalece desde há alguns anos no planejamento energético dos países desenvolvidos tem um sentido mais amplo, envolvendo uma dinâmica de análise integrada oferta-demanda, e levando em consideração parâmetros que caracterizam a dinâmica social, a evolução tecnológica, aspectos ambientais, etc. No Brasil, ao contrário, a prática do planejamento obedece a própria estrutura tradicionalista e de interesses dos grupos ligados à oferta dos grandes blocos de energia, sem que haja preocupação para com uma visão mais abrangente e de integração.

A colocação a descoberto das imprecisões no planejamento da área energética, levado a cabo no passado, e a necessidade de definição dos objetivos e meios que permitam ao país atingir um padrão de desenvolvimento adequado à nossa realidade, e voltado não apenas para o crescimento econômico mas também para a solução dos grandes problemas sociais da nação, exigem a definição de políticas energéticas adequadas [Zatz, 1986]. Parece claro a necessidade de identificação de um estilo de desenvolvimento em que o consumo de energia ocorra a níveis moderados, sem prejuízo da qualidade de vida da população do ponto de vista do conforto e sem agressão ao meio ambiente.

Dentro desse novo quadro de desenvolvimento, a conservação de energia deverá desempenhar papel de fundamental importância, em primeiro lugar por ser uma opção que permite a preservação dos recursos, em segundo lugar por ser uma ação descentralizada, que interage com a conscientização de grupos sociais, e finalmente por dar possibilidade real ao desenvolvimento de tecnologias e da engenharia nacional.

Outro aspecto essencial é que o suprimento energético deverá se fazer de maneira diversificada, com efetiva penetração de vários insumos energéticos na matriz, e conseqüente deslocamento da demanda de fontes de energia tradicionais. Um exemplo típico é a esperada dinamização dos processos de cogeração, que deverão em futuro próximo responder por significativa parcela do suprimento elétrico.

Dessa forma, as técnicas de planejamento energético deverão se adequar rapidamente à nova realidade, permitindo uma

análise mais profunda e abrangente da problemática energética e de suas várias condições de contorno, sob pena de que se agravem as distorções e os prejuízos econômicos, políticos, ecológicos e sociais para as futuras gerações.

1.3. Políticas Energéticas e Programas de Conservação no Brasil

1.3.1. Políticas Energéticas

O primeiro choque da chamada crise energética foi interpretado pelas autoridades brasileiras como um fato conjuntural, reflexo do conflito árabe-israelense, que tenderia a se reverter com o passar do tempo. Enquanto as nações industrializadas adotavam as primeiras medidas visando a redução do consumo energético, no Brasil praticamente mantinha-se a postura de dar continuidade ao que até então se verificava, como se não houvessem fatos novos.

As ações iniciais objetivando reduzir a demanda interna dos derivados de petróleo concentraram-se, num primeiro instante, no estabelecimento de uma nova política de preços visando desestimular o consumo. No caso da gasolina automotiva, que foi o derivado que teve seus preços mais elevados, a resposta a esse mecanismo foi satisfatório. Já no caso do óleo diesel e dos óleos combustíveis, energéticos com forte poder de irradiação do efeito de elevação de seus preços para todos os setores da economia, a sobretaxação foi mais branda, e em consequência as reduções de consumo praticamente nulas. A preocupação central da política de preços à essa época era conter as pressões inflacionárias decorrentes da nova estrutura [Rosa et alii, 1983].

Em 1975 o governo brasileiro anunciou a adoção de alguns programas institucionais que visavam, em linhas gerais, aliviar a pressão exercida pelo consumo de alguns derivados na demanda de petróleo importado. Destacam-se o Programa Nacional do Alcool, a decisão de intensificação dos investimentos da Petrobrás em prospecção, a opção pelos Contratos de Risco, e políticas de subsídios visando o aproveitamento das sobras de carvão vapor na substituição do óleo combustível. Data da mesma época o acordo nuclear Brasil-Alemanha.

Dada a nova situação econômica que o país passava a viver na época do segundo choque da crise energética, em 1979, a

resposta do Governo Federal foi mais vigorosa. As linhas básicas das políticas energéticas adotadas foram estabelecidas pelo Modelo Energético Brasileiro, sendo objetivos prioritários a garantia de acesso ao petróleo importado e a redução gradual da sua necessidade. Essas linhas básicas foram:

- conservação de energia e substituição de certos usos de derivados de petróleo;
- aumento da produção e das reservas nacionais de petróleo e gás natural;
- máxima utilização das fontes nacionais de energia e minimização de seu transporte.

Quanto à política de preços dos derivados de petróleo, o governo tentou alcançar conjuntamente dois objetivos: contenção das pressões inflacionárias, com especial atenção no caso do óleo diesel, e viabilização da política de substituição, principalmente no caso dos óleos combustíveis. Na prática, aos óleos combustíveis foram aplicados ajustes substanciais, enquanto, no caso do diesel, manteve-se a tendência até então verificada (vide Figura 01).

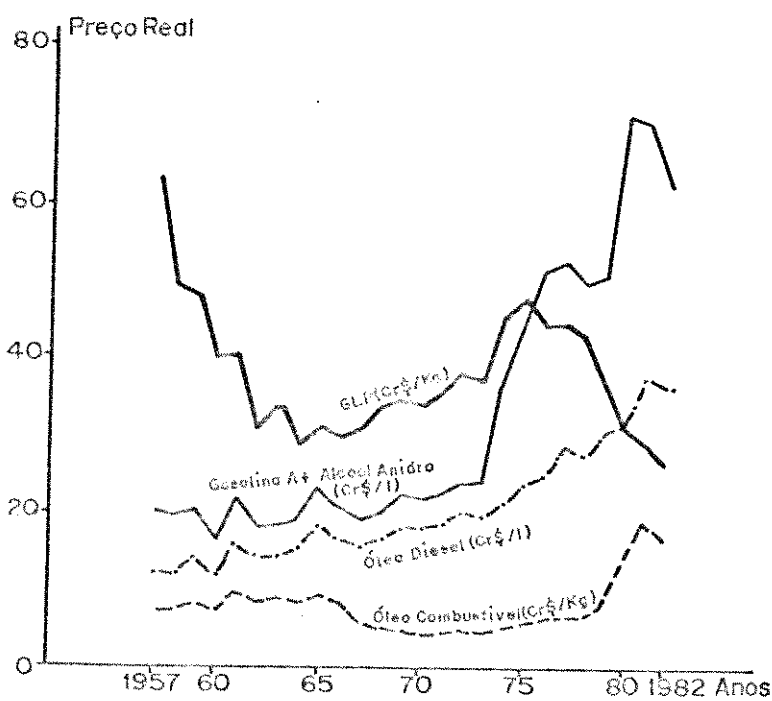


Figura: 01 - Evolução dos Preços de Derivados de Petróleo

A partir de 1979 e até o início de 1986, a nível geral, as políticas energéticas adotadas pelo Governo brasileiro se caracterizaram por serem mais **específicas**, tendo sido mantida a prática de se utilizar a estrutura de preços como elemento de via bilização de certas políticas. Os resultados alcançados através das decisões acima descritas podem ser observados através das curvas de evolução do consumo das principais formas energéticas no período 1974-1984.

Visto que o interesse específico deste estudo restringe-se ao setor industrial, é válido que se aprofunde um pouco mais na análise das políticas energéticas especificamente definidas pa ra esse setor econômico.

As medidas adotadas pelo governo entre o primeiro e o segundo choque da crise energética tiveram pouco impacto sobre a demanda energética industrial. Em 1979, diante de um novo quadro, foi criada a Comissão Nacional de Energia, com o objetivo de estabelecer diretrizes que permitissem a racionalização do consumo e o aumento da produção nacional de petróleo.

No mesmo ano adotaram-se medidas restritivas ao consumo, sob responsabilidade do Conselho Nacional do Petróleo (CNP). Uma dessas medidas estabelecia cortes lineares no suprimento de óleo diesel (5%) e óleo combustível (10%), com impacto bastante significativo junto ao parque industrial, principalmente por também ter penalizado empresas que já tinham tomado iniciativas visando a melhoria de sua eficiência energética. Também foram estabelecidas restrições ao consumo de derivados de petróleo em atividades industriais de secagem de grãos, madeira, minerais e produtos cerâmicos.

A mesma época instituiu-se a obrigatoriedade de preenchimento anual de planilhas de consumo para todas as indústrias com consumo igual ou superior a 500 ton de óleo/ano (posteriormente o limite passou a ser 500 ton de óleo equivalente/ano). Essas planilhas constituem a base da Pesquisa de Consumo de Energia do Conselho Nacional do Petróleo, sendo de grande valia no acompanhamento e para melhor conhecimento da estrutura de consumo industrial no país.

A primeira medida importante do ponto de vista de apoio institucional só foi dada em 1981 com o Programa Nacional de Conservação de Energia na Indústria - CONSERVE, instituído no âmbito do Ministério da Indústria e do Comércio. Dada a importância des

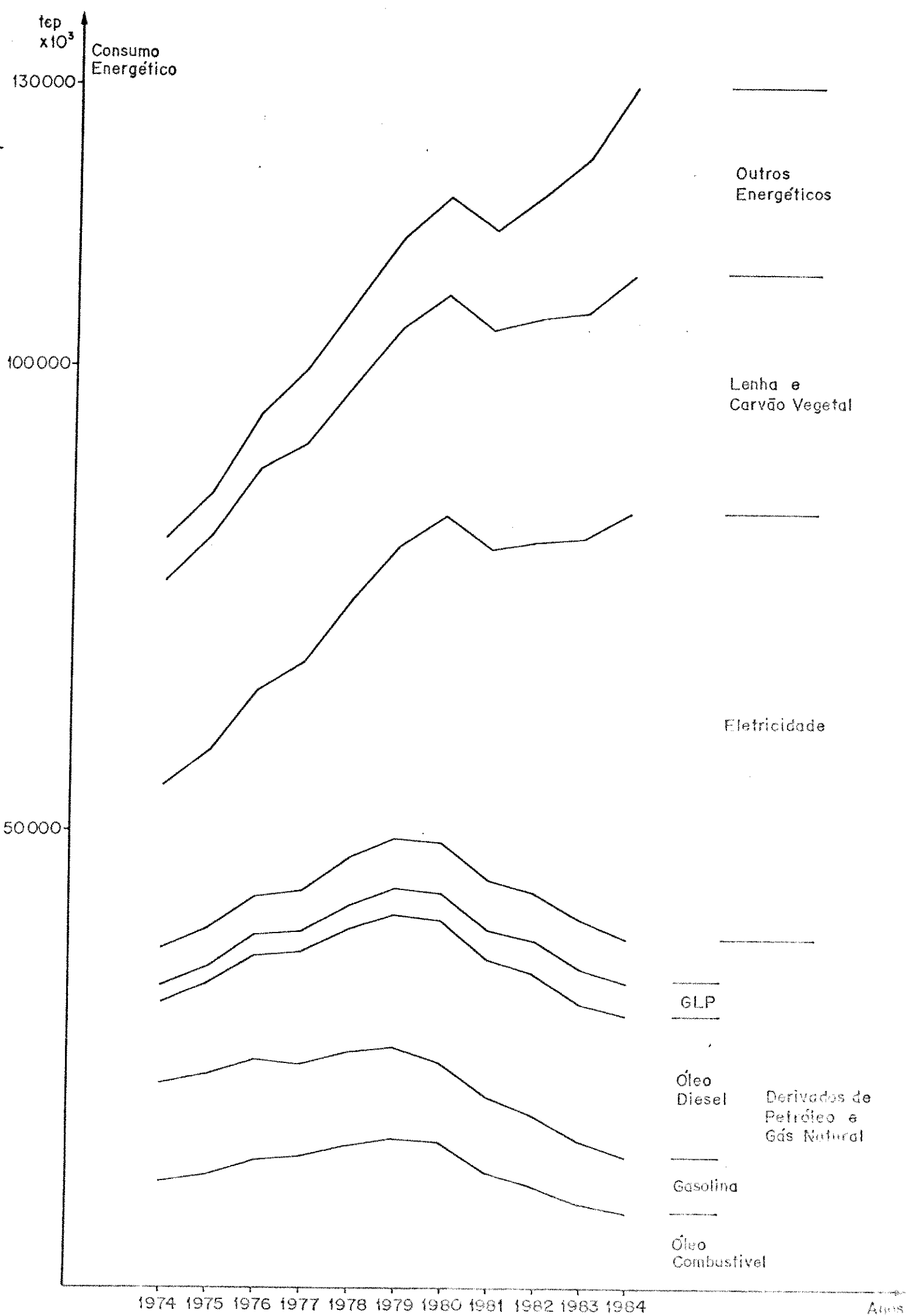


Figura 02 - Evolução do Consumo Final Energético - Brasil.

Fonte: Balanço Energético Nacional.

se programa, mais à frente novamente será abordada essa questão.

A criação das Comissões Internas de Conservação de Energia na Indústria - CICE's -, e das Comissões de Conservação de Energia - CCE's -, para conjuntos de empresas que individualmente não tinham condições de organizar sua própria Comissão Interna, data de 1981. Essas comissões substituíram a figura do consultor cadastrado responsável pelo preenchimento das planilhas do CNP, propiciando uma melhoria substancial na qualidade desses dados.

Em 1982, novas resoluções do Conselho Nacional do Petróleo estabeleceram restrições ao consumo de óleo diesel e OC-4 (óleo combustível nº 4) em aplicações térmicas industriais. Tal medida visava a redução do consumo de óleo diesel e alívio das pressões sobre a necessidade de importação de petróleo.

Com o mesmo objetivo, iniciou-se um programa de alteração na estrutura de refino visando, entre outros pontos, o gradual aumento da viscosidade do óleo combustível para atender a consumos específicos, de forma a liberar diluentes (óleo diesel) [Rodrigues, 1984].

Do ponto de vista da substituição de derivados de petróleo, as iniciativas do Governo foram bem mais tímidas. Com exceção dos discutíveis programas de incentivo à eletrotermia através do oferecimento de energia elétrica à tarifas irrisórias (destaca-se nesse grupo a EGTD - Energia Garantida por Tempo Determinado), a postura oficial foi quase sempre de deixar que a própria classe empresarial encontrasse seu próprio caminho. No caso do carvão mineral, por exemplo, as iniciativas esperadas do Governo Federal não se concretizaram, enquanto nada, ou praticamente nada, foi feito no sentido de se viabilizarem as florestas energéticas. Mais recentemente, esforços tem sido dispendidos visando uma maior penetração do gás natural na matriz energética, e do gás de refinaria, este de alcance restrito ao setor industrial.

Devem ser mencionadas, no entanto, as iniciativas de acordos estabelecidos com as indústrias siderúrgicas, de cimento e de papel e celulose, tendo como objetivo a conservação de energia e a substituição de derivados de petróleo, principalmente óleos combustíveis. Os assim chamados "Protocolos" serão analisados em maiores detalhes no Capítulo 5.

Tanto as políticas específicas de estímulo à conservação de energia a nível industrial, quanto de substituição entre formas energéticas foram passadas para um plano secundário nos últi-

mos anos, dada a relativa garantia no suprimento do petróleo, a estabilização de seus preços a nível internacional, e a queda do consumo, em função do processo recessivo.

De uma forma geral, as medidas adotadas pelo Governo tinham como objetivo a solução de um problema localizado, não faziam parte de uma política energética previamente definida. Associada à indefinição dessa política norteadora, a ação governamental quase sempre se pautou pela atuação de inúmeros órgãos envolvidos direta ou indiretamente na questão, o que muitas vezes gerou confusão.

1.3.2. Programas de Conservação

Sem dúvida alguma, dentre todos os programas de conservação de energia definidos e implantados no Brasil, a nível industrial, o CONSERVE foi aquele que apresentou resultados mais positivos. Ele foi criado pelo Ministério da Indústria e do Comércio, com o apoio da Secretaria de Planejamento da Presidência da República, destinando-se à prestação de apoio financeiro para a realização de estudos, desenvolvimento de tecnologia e implantação de projetos com vistas à redução do consumo de energia e a substituição de energéticos derivados do petróleo.

Na prática, o CONSERVE acabou por se constituir num programa muito mais de substituição do que propriamente de redução do consumo específico na produção de bens industriais, muito embora os resultados alcançados nesse sentido não possam ser desprezados [Rousso, 1984].

Suas duas linhas básicas de ação eram o financiamento de projetos de conservação e substituição de energia e o apoio financeiro a projetos e estudos de tecnologia industrial que tinham como um de seus objetivos a redução do consumo de energia, a substituição de energéticos importados ou a assistência tecnológica. Essa última linha compôs o que se convencionou chamar Programa CONSERVE/TECNOLOGIA, que foi estruturado em três tipos de projetos;

(i) Extensão Tecnológica - Foram realizados diagnósticos energéticos em pequenas e médias empresas, através dos quais as indústrias recebiam orientação quanto a medidas de conservação a serem adotadas, bem como quanto às alternativas para substituição de fontes energéticas importadas e a viabilidade dessa substituição.

A obtenção de financiamento era condicionada à apresentação desse diagnóstico;

(ii) Desenvolvimento Experimental - Os projetos nessa área visavam o desenvolvimento em escala de laboratório, piloto ou protótipo de equipamentos de maior eficiência energética, voltados para obtenção de produtos de menor conteúdo energético, sistemas de instrumentação e controle, adaptação para utilização de insumos energéticos e produção de combustíveis alternativos;

(iii) Informação e Difusão - Os projetos dessa área visavam a disseminação de informações técnicas em conservação de energia, apoiando projetos que permitiam repassar, aos setores técnico e industrial, resultados práticos obtidos. Nesse sentido foram apoiadas a disseminação de normas e procedimentos para atuação na área de racionalização do consumo de energia, elaboração de manuais de conservação de energia, e determinação do conteúdo energético de produtos industrializados [Souza, 1985].

O agente financeiro do CONSERVE era o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES - sendo que os projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico contavam com o apoio financeiro da Secretaria de Tecnologia Industrial. Cabe destacar que os três segmentos industriais que mantinham protocolos com o Governo Federal (siderurgia, cimento e papel e celulose) foram considerados prioritários.

A avaliação do Programa CONSERVE no período 1980-1984 na área de extensão tecnológica indica a realização de 78 projetos e de 589 diagnósticos energéticos, sendo 271 na forma expedida e 318 de maneira detalhada. Os resultados desses trabalhos podem ser considerados apenas aceitáveis, na medida em que apenas 112 das empresas **visitadas** chegaram a implantar qualquer modificação, do conjunto daquelas que foram sugeridas nos diagnósticos. Deve ser mencionado ainda que os resultados são expressivos em termos de redução do consumo de derivados de petróleo via substituição, mas deixam muito a desejar quando a análise é feita do ponto de vista da efetiva conservação de energia: a economia de derivados de petróleo equivale a 48% do consumo energético das empresas avaliadas, mas não houve economia no consumo total de energia, dado que esse consumo, em função das substituições por energéticos menos eficientes nos processos de conversão, cresceu 0,6% em relação ao valor verificado em 1984.

Souza [1985] defende que devem ser computados como pontos positivos a formação de equipes técnicas especializadas em conservação de energia, substituição de derivados de petróleo e processos de produção industrial em vários centros e institutos tecnológicos do país.

Na área de desenvolvimento de processos para economia de energia na indústria, até dezembro de 1984 haviam sido implementados 36 projetos, sendo que 14 estavam totalmente concluídos.

Apenas 64% do total de recursos disponíveis foram desembolsados desde a criação do programa até fins de 1984. Na tabela 01 é apresentado um quadro resumo das operações aprovadas nos anos de 1981, 1982 e 1983.

É interessante comparar os investimentos médios desses projetos com alguns dados de investimentos típicos para produção de energia, de acordo com Goldemberg [1985], valores estes que são apresentados na tabela 02. Da simples comparação desses valores pode-se concluir que a aprovação de projetos pelo CONSERVE não se pautou muito pela coerência, seja na descontinuidade da aplicação de recursos, seja na aprovação de projetos que levaram a economias de custos ao menos espantosas.

A própria Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio, quando da avaliação do programa em 1985, concluiu que este teve pequena repercussão. Na época foram identificados os seguintes pontos como principais causas dos resultados pouco satisfatórios:

- conjuntura econômica como fator inibidor de novos investimentos;
- pequena participação do custo do combustível sobre o preço final do produto;
- indefinição de políticas nacionais e regionais quanto a insumos alternativos;
- descontinuidade nas políticas de preço e controle de cotas de derivados de petróleo;
- desarticulação e sobreposição de ações e critérios entre as várias instituições envolvidas com a racionalização do uso de energia;
- rotina de operação do programa excessivamente burocrática;
- rotina e condições indiferenciadas para pequenos e

TABELA 01

INVESTIMENTOS DO PROGRAMA CONSERVE - BNDES

Sub-Sector Industrial	Participação sobre os Investimentos Totais (%)			Investimento em US\$/BEP/ANO		
	1981	1982	1983	1981	1982	1983
Siderurgia	18,0	8,9	9,7	64,7	37,0	4,6
Papel e Celulose	59,9	2,2	64,7	64,2	29,0	136,0
Cimento	12,5	62,6	3,5	17,1	23,8	11,7
Química/Petroquímica		9,0	11,4		13,3	36,4
Prod. Alimentícios		5,6				29,5

FONTE: STI/MIC

TABELA 02

INVESTIMENTOS TÍPICOS PARA PRODUÇÃO E CONSERVAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS

Sub-Setor	Investimento - US\$/BEP/Ano
Siderurgia	64,7
Papel e Celulose	64,4
Cimento	17,0
Energético - origem	US\$/BEP/ano
Petróleo (Brasil/mar)	68,5
Alcool (Proálcool)	77,8
Vapor de lenha	13,7

FONTE: Goldemberg/CESP

grandes empresas e pequenos e grandes projetos.

Algumas modificações foram implementadas e outras foram estudadas, mas de acordo com informações colhidas junto à Secretaria de Tecnologia Industrial, o Programa CONSERVE praticamente deixou de existir a partir de 1985. É importante mencionar que as restrições levantadas ao sucesso do programa são, em linhas gerais, as mesmas queixas de qualquer segmento industrial às políticas energéticas do Governo e à outras iniciativas de conservação, algumas inclusive já citadas anteriormente; nesse sentido, o CONSERVE não foi sucesso até por falta de conhecimento da realidade, o que levou a uma estruturação falha.

Alguns outros programas de conservação e substituição de energia foram organizados em várias regiões do país, uns mais pretenciosos e outros restritos a um pequeno universo. De uma forma geral, estes programas visavam a realização de diagnósticos energéticos, elaboração de publicações técnicas e, realização de cursos, estudos e levantamentos na área de energia. Várias instituições estiveram envolvidas nesses trabalhos, entre as quais o Instituto Mauá de Tecnologia - SP, a EMBRAPA, o Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial (IDEG), o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED) da Bahia, a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), o SENAI, o Centro Brasileiro de Apoio a Pequena e Média Empresa (CEBRAE), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, e a Confederação Nacional da Indústria.

Deve ser destacado o trabalho desenvolvido pelo IPT no Programa de Assistência a Indústria Paulista em Conservação de Energia. Os recursos alocados ao programa originavam-se do Programa de Mobilização Energética, repassados através da FINEP, e foram destinados à assistência técnica aos 90 maiores consumidores de óleo combustível do Estado de São Paulo, à assistência à implantação de Programas de Conservação de Energia na Indústria, à elaboração de manuais de conservação de energia e ao treinamento de operadores de equipamentos.

Para finalizar essa análise é interessante notar que as decisões relativas a programas de conservação no Brasil, e o próprio desenvolvimento desses, ocorreram de maneira concomitante com o processo de recessão econômica. De acordo com a visão de Lima [1984], esse fator, juntamente com as questões dos baixos preços dos energéticos (artificiais, é bem verdade) e desorganização na defini

ção de políticas, levaram a um maior ou menor insucesso de quase todas as iniciativas em conservação

Deve-se destacar, também, que por muitos anos muitas indústrias sequer investiram em melhorias de qualquer espécie, já que o mercado financeiro representava uma opção sempre muito mais atraente e lucrativa de que qualquer investimento em conservação.

Da mesma forma, não houve sensibilidade para que se entendesse que ao longo de um período de crescimento econômico lento a engenharia nacional teria tempo para o desenvolvimento de tecnologias locais que viabilizassem o aproveitamento das múltiplas alternativas disponíveis no Brasil, atendendo satisfatoriamente a demanda energética e permitindo a trilha de um novo caminho no processo de desenvolvimento sem as distorções causadas pela cópia de modelos de outros países [Carvalho, 1983].

1.4. Objetivos e sequência do trabalho

O principal objetivo desse trabalho está no estabelecimento de uma metodologia de planejamento energético em que possam ser analisadas e avaliadas, de maneira explícita, as possibilidades e contribuições de medidas de conservação e/ou substituição de energia sobre a demanda industrial.

Uma segunda contribuição desse trabalho se prende ao fato de ter-se definido como objeto de estudo o setor industrial paulista, em parte por imaginarmos inicialmente que isso pudesse facilitar o acesso a informações de uma forma geral, em parte pelo maior conhecimento da realidade em que se situa esse segmento econômico, mas principalmente porque dessa forma podemos dar uma efetiva contribuição ao planejamento energético do Estado, uma vez que este constitui-se em trabalho pioneiro no gênero.

Deve também se destacar a contribuição associada ao esforço de constituição de uma base de dados que permita a aplicação de um modelo abrangente de projeção de demanda ao setor industrial paulista. Ainda que sejam grandes as deficiências desse banco de dados, ele se constitui em um importante embrião para futuros esforços na área.

No capítulo 2 desse trabalho faz-se uma análise retrospectiva dos principais modelos de projeção da demanda energética, fazendo-se um esforço em classificá-los de acordo com a similaridade

das metodologias empregadas.

O modelo escolhido para projetar a demanda energética dos principais sub-setores industriais do Estado de São Paulo, bem como a base de dados empregada em sua implementação, são descritos de maneira detalhada no capítulo 3.

Já no capítulo 4 descreve-se a aplicação desse modelo em um cenário de evolução da economia, denominado cenário básico. São apresentadas as equações de regressão para todos os sub-setores industriais considerados, e os resultados para o sub-setor de Alimentos e Bebidas, num horizonte de projeção que vai até 1990.

No quinto capítulo dessa tese analisa-se detalhadamente os processos de produção em cada segmento industrial objeto de estudo, bem como de que maneira a energia se insere na produção, as possibilidades de conservação e/ou substituição de energia, e as tendências verificadas quanto a esses aspectos nos últimos anos.

No capítulo 6 elabora-se um cenário alternativo de evolução da demanda energética no setor industrial paulista em que são consideradas hipóteses de redução do consumo energético específico, ou substituição entre insumos energéticos, em cada sub-setor industrial, tomando por base as considerações do capítulo anterior. São apresentados os resultados finais para o sub-setor de Alimentos e Bebidas.

Finalmente, no sétimo capítulo são tecidas as considerações finais e descritas as conclusões e recomendações do trabalho. Ao fim do texto apresentam-se, sob a forma de apêndice, diversas tabelas e figuras com dados e resultados do trabalho.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE MODELOS DE PROJEÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA

2.1. Introdução

Os modelos de projeção da demanda de energia constituem-se em peça fundamental dentro do planejamento energético, não só pela necessidade que os diversos setores da sociedade tem de conhecer as estimativas da demanda futura dos vários insumos, e assim melhor elaborar suas estratégias de ação, mas também porque é de extrema importância o conhecimento de como a sociedade, ou alguns de seus segmentos, respondem, do ponto de vista da demanda, às alterações de preços dos energéticos, inovações tecnológicas, políticas restritivas, programas institucionais, etc.

Um modelo de projeção de demanda energética é uma ferramenta tanto mais poderosa para o atendimento de suas finalidades na medida em que melhor captar as tendências do comportamento social face a certas mudanças estruturais. Uma vez que a própria sociedade é um organismo extremamente dinâmico, é impossível que se possa afirmar a priori que a aplicação de um dado modelo fornecerá resultados satisfatórios, mesmo que este tenha sido utilizado com grande sucesso no passado. Nesse sentido os trabalhos de planejamento, e em particular os trabalhos relacionados à projeção de demanda, requerem alto grau de realimentação de informações. Uma dada metodologia de projeção só pode ser avaliada confrontando-se resultados obtidos em sua aplicação com a realidade verificada.

É importante frisar que nenhum modelo permite ao planejador a absoluta isenção na formulação de considerações. Assim, a metodologia mais eficaz é aquela que obriga a explicitação dessas formulações, tornando o modelo mais claro e mais simples a análise de suas hipóteses básicas e resultados.

O problema do planejador é encontrar uma maneira de modelar a sociedade a qual ele se propõe estudar, isto é, descobrir as relações de causa e efeito entre os fatores determinantes da demanda energética e ela própria, e estabelecer um conjunto de hipóteses sobre o comportamento futuro do mercado e da demanda dentro do horizonte de planejamento. O aspecto dinâmico da questão induz a que os exercícios de projeção sejam, na realidade, estudos de

viabilidade condicionados à verificação das hipóteses formuladas [Macedo, 1981].

O mercado energético dos últimos anos estabelece alguns pontos condicionantes à análise da demanda, quais sejam a necessidade de estudar as possibilidades reais de conservação e substituição de energia e de conhecimento do perfil de consumo da energia final, sem mascaramento das ineficiências dos processos de utilização.

Um último aspecto a ser levantado diz respeito à praticabilidade de adaptação de um dado modelo de projeção à realidade brasileira, que se caracteriza pela exiguidade de informações para estudos de tal natureza.

A análise a ser feita nesse capítulo se pautará pelo estudo, do ponto de vista metodológico, de diversos modelos de projeção da demanda energética, com destaque especial aos aspectos anteriormente destacados.

2.2. Classificação Geral dos Modelos

As técnicas de projeção são baseadas fundamentalmente na extrapolação de tendências, no estabelecimento de correlações entre efeitos dependente e explanatório (s) ou numa combinação desses dois procedimentos [Sullivan, 1977]. As técnicas de extrapolação consistem no ajuste de curvas a uma base de dados históricos, e no cálculo dos valores dessas funções de ajuste nos pontos correspondentes ao período de planejamento desejado. Algumas funções são utilizadas com mais frequência como curvas de ajuste, tais como retas, parábolas, exponenciais, curvas em "s", etc.

Os modelos de extrapolação classificam-se em probabilísticos ou determinísticos, dependendo se os resultados forem ou não quantificados estatisticamente. As incertezas dos resultados tem como origem a base de dados históricos e/ou o próprio modelo escolhido para refletir as tendências de crescimento. Embora constitua-se num procedimento bastante simples, por muito tempo tal técnica apresentou resultados satisfatórios enquanto recurso para projeção da demanda energética. A partir de 1973, pela maior complexidade dos elementos relevantes em tal análise, quase sempre exigiu-se técnicas mais elaboradas nesses estudos.

Por sua vez, as técnicas de correlação estabelecem relações entre a variável dependente, cuja variação ao longo do tempo

é objeto de estudo, e uma série de fatores demográficos e econômicos, tais como nível de renda ou investimento, nível de emprego, fatores climáticos, preços, níveis de saturação, etc. Procedimentos baseados nessa técnica obrigam o planejador a ter de forma muito clara as interrelações entre a demanda de energia e todos os fatores que a afetam. Como veremos, existem diferentes formulações de modelos baseados em técnicas de correlação.

Os modelos analisados a seguir são classificados em três grandes categorias: (i) Modelos econométricos, (ii) Modelos de uso final de energia e (iii) Modelos mistos.

2.3. Modelos Econométricos

2.3.1. Modelos Simplificados

As metodologias de projeção do consumo energético baseadas em técnicas de extrapolação ou correlação simples foram utilizadas de maneira bastante acentuada, e com grande sucesso, no período pré-1973. A crise energética trouxe novos elementos de importância em estudos de tal natureza, elementos estes até então não considerados face à sua irrelevância, tais como a influência do preço como variável explanatória e o efeito de substituição entre formas energéticas. No entanto, mesmo trabalhos mais recentes utilizam-se de metodologias consideradas por alguns autores como simplistas.

Em dois modelos de longo prazo, Kopecki et alii [1974] e Wassenaar et alii [1974] utilizam-se de formulações de crescimento exponencial para o consumo de energia, com o tempo e/ou em correlação com o Produto Nacional Bruto. O trabalho de Kopecki reconhece a existência de um limite de saturação e emprega análise estatística e heurística para determinar a função a ser utilizada no ajuste para projeção da demanda. A especificidade do trabalho de Wassenaar está na subdivisão dos consumidores em vários setores, ajustando a cada um deles diferentes curvas.

Num trabalho em que descreve-se as metodologias de planejamento utilizadas na França pela Eletricité de France (EDF) até 1974, Finon [1975] apresenta técnicas baseadas em modelos econométricos e extrapolação de tendências verificadas em períodos anteriores. Distingue-se o uso de duas metodologias diferentes, definindo-se um modelo chamado autônomo e outro denominado condicional. No

modelo autônomo considera-se o crescimento do consumo de eletricidade como um fenômeno governado por leis próprias e independentes da economia; nesse caso as relações são estabelecidas entre a evolução do consumo e o tempo. Já o modelo condicional baseia-se em que o crescimento da demanda energética seja determinado pela evolução da atividade econômica; estabelece-se assim uma relação entre o consumo de energia e o PNB. Com o propósito de eliminar efeitos indesejáveis, melhorando a qualidade da correlação, empregam-se variações anuais da base de dados ao invés de seus valores absolutos.

Utilizando conclusões de estudos anteriores ao seu trabalho, Finon justifica a não inclusão de outras variáveis explanatórias em ambos modelos, citando inclusive testes da influência da elasticidade demanda-preço que concluíram que esta não era significativamente diferente de zero. Deve-se ressaltar, conforme cita Bajay [1983], que essas conclusões são típicas da época pré-crise, mas totalmente injustificáveis no presente. A EDF considerava a hipótese de formulações totalmente agregadas, semi-agregadas ou desagregadas segundo alguns setores da sociedade, de acordo com a conveniência para a execução da análise.

No Brasil a ELETROBRÁS desenvolveu um trabalho em 1974 [ELETROBRÁS, 1974] visando estabelecer um plano de atendimento do mercado de energia elétrica até o ano de 1990. Para tanto empregou-se como metodologia a correlação do consumo de eletricidade com parâmetros macroeconômicos. Uma linha de estudo estabeleceu a projeção da demanda energética total a partir da estimativa de correlação com o PNB deflacionado, enquanto uma outra variante desagregou a demanda nos setores residencial, industrial, comercial, iluminação pública, rural, empresas de serviço público, tração, poderes públicos, consumo próprio e outros. A evolução do consumo industrial foi correlacionada à evolução da produção no mesmo setor, enquanto a demanda residencial foi tomada em função da evolução do número de domicílios, nível de atendimento, consumo por residência e saturação do consumo em relação à renda disponível. Os demais setores foram abordados, de acordo com a conveniência, em correlação com o setor residencial ou levando-se em conta estimativas de execução de projetos e políticas governamentais. Nesse mesmo trabalho desenvolveu-se um estudo com o objetivo de avaliar as possibilidades de substituição de outras formas de energia, principalmente os derivados de petróleo, por eletricidade; em que pese o fato de ter sido todo ele fundamentado em considerações e suposições, deve-se ressaltar

seu aspecto pioneiro.

As metodologias de análise e previsão do mercado de eletricidade adotadas pela ELETROBRÁS não sofreram mudanças substanciais nos últimos anos, conforme pode ser constatado numa publicação mais recente da empresa [ELETROBRÁS, 1981]. A única alteração de relevância resume-se à abordagem do setor industrial onde as projeções de longo prazo são antecedidas por uma análise do mercado a curto e médio prazo. Este é subdividido num segmento chamado de extrato tendencial, com projeção do consumo a partir de sua evolução histórica, e um outro grupo em que estão as grandes cargas, que são estudadas em separado e caso a caso. A projeção do consumo industrial de eletricidade a longo prazo propriamente dita, é feita em correlação com estimativas da renda interna do setor secundário, e posterior ajuste desses resultados tendo por base características das áreas em estudo e informações da locação de cargas especiais utilizadas nas projeções de curto e médio prazo.

2.3.2. Modelos com Abordagem Superficial na Questão de Substituição

Os trabalhos apresentados nessa seção representam um avanço em relação aos modelos simplificados descritos anteriormente. Em que pese o fato de adotarem explicitamente como variáveis fatores relevantes como o preço, a questão da substituição entre insumos energéticos, no entanto, é abordada ainda de forma bastante superficial.

Verleger [1973] descreve um misto de modelo econômico com análise insumo-produto. O ferramental de análise insumo-produto é utilizado para descrever o status da economia num dado instante, enquanto o modelo econométrico é empregado na caracterização de mudanças ao longo do tempo. O consumo de energia per capita é calculado em função de valores monetários deflacionados da despesa per capita, do preço relativo da energia e o valor defasado em um período do consumo de energia per capita. Embora o escopo do estudo abranja sete diferentes formas energéticas, não é feita qualquer consideração acerca das possibilidades de substituição.

Num estudo que visa a projeção da demanda de energia elétrica, Uri [1975] considera que esta pode ser determinada pelo preço da própria fonte energética, população, renda per capita, preço dos energéticos concorrentes (neste caso particular somente o

gás é considerado) e o preço de produtos complementares, tais como aparelhos eletrodomésticos no setor residencial e máquinas, nos setores comercial e industrial. Na formulação do modelo, alguns conceitos de interesse foram incorporados, tal como o uso de um modelo de ajuste parcial para a demanda, associando-a a um valor desejado no período de projeção e ao valor real defasado do período anterior. Como recurso para a obtenção de uma base de dados mais consistente, utilizam-se séries temporais, com informações anuais, e em seção transversal ("cross-section"), segundo nove diferentes regiões dos Estados Unidos. A fim de captar diferenças regionais, Uri lança mão de um modelo de elasticidade variável com inclusão de variáveis mudas. As três equações de projeção da demanda, que correspondem aos três setores considerados, são estimadas separadamente, empregando-se como método de ajuste os mínimos quadrados simples.

Em publicação bem mais recente, o mesmo Uri [1981] descreve alguns modelos de projeção da demanda energética formulados pelo Office of Applied Analysis of Energy Information Administration - EUA, os quais o próprio autor considera como "tradicionais". A metodologia empregada no modelo para consumo de energia industrial com horizonte de projeção a médio-prazo toma a demanda per capita em função dos preços, do nível de atividade econômica (representado no caso pelo índice de produção industrial), temperatura e demandas verificadas em períodos anteriores. A demanda total é computada como um índice da quantidade de energia consumida. O modelo também é alimentado com dados em séries temporais e em seção transversal.

Tsvetanov [1975] descreve um método baseado em análise econométrica para estudos da demanda energética que foi aplicado a seis países da Europa Ocidental e aos Estados Unidos. O trabalho adota tanto uma abordagem agregada quanto uma desagregada, segundo os setores doméstico, de transportes, industrial e de energia, seguindo uma metodologia em que a demanda é tomada como função do preço relativo líquido das formas energéticas e PNB real per capita. Na análise em que cada país é considerado isoladamente, utiliza-se uma estrutura polinomial com termos defasados e fatores de ponderação quadráticos. Na outra abordagem tomam-se os dados de todos os países conjuntamente.

2.3.3. Modelos Econométricos Mais Elaborados

O conceito de parcelas de mercado é utilizado por Erickson et alii [1973] na formulação de modelos de projeção da demanda energética nos setores residencial e comercial. A metodologia estabelece que a demanda de uma dada forma de energia é função do número de estabelecimentos, do consumo médio por estabelecimento, e da parcela de mercado desse energético. Essa por sua vez, é determinada pela parcela de mercado no período anterior, e pelo balanço entre as frações de mercado ganha e perdida no ano em questão. O trabalho é desenvolvido com a consideração básica de que gás, óleo e eletricidade são insumos concorrentes no aquecimento ambiental. As relações explicativas do consumo de gás e óleo estabelecem como variáveis explanatórias o preço relativo entre os energéticos, a renda real per capita, um índice de urbanização, dimensões físicas de novas construções, temperaturas de inverno, e um índice para captar a penetração do ar-condicionado.

O trabalho de Baughman [1972] descreve um modelo que permite a identificação explícita das funções de demanda em um dado setor que são ou não sensíveis a alterações dos preços das formas energéticas. A parcela não influenciada pelos preços é chamada de demanda base, enquanto a porção sensível, denominada demanda sensível de mercado, é subdividida em substitutiva e incremental. Propõe-se que o único fator determinante na escolha entre diversas formas energéticas seja o preço, atribuindo-se importância secundária a outros fatores, tais como limpeza e segurança na manipulação, nível de investimento, etc. O autor advoga a conveniência do emprego de dados em séries temporais e em seção transversal na aplicação do modelo.

Short [1984] descreve um modelo integrado: oferta-demanda para projeção do consumo global na Grã-Bretanha. Adotando um determinado ano para servir como base, a metodologia prevê os seguintes passos principais: a) ajuste das variáveis exógenas (PNB, preço de energéticos, população, etc.) de entrada; b) recálculo dos preços utilizando-se de tabelas insumo-produto; c) determinação dos pontos ótimos de substituição energia-capital, dados os preços correntes de energia e uma certa inércia comportamental para aplicações de capital; d) determinação de novo perfil de distribuição entre energéticos levando-se em conta preços relativos, renda e incorporando-se as elasticidades apropriadas; e) determinação da demanda

bruta de energéticos e comodidades, pela inversão da matriz insumo-produto. Os valores finais da demanda de energéticos são obtidos após o ajuste dos resultados às previsões dos níveis de importação e exportação. A formulação original prevê a desagregação da atividade econômica em 24 diferentes setores. Embora o autor considere factível a aplicação desse modelo em países em desenvolvimento, a partir da simplificação da formulação, é preciso que se tenha em conta que diante da usual precariedade das informações básicas necessárias ao modelo nesses países, como por exemplo a matriz insumo-produto, o mesmo perde muito de sua força explanatória.

2.3.4. Teoria Microeconômica Aplicada a Modelos Econométricos

Nesse bloco veremos alguns exemplos de modelos de projeção de demanda energética baseados fortemente em conceitos de teoria microeconômica.

Um trabalho representativo é o de Jorgenson [1976], no qual propõe-se como metodologia a alocação das despesas do consumidor residencial entre serviços de capital (bens duráveis), energia (derivados de petróleo, eletricidade, carvão e gás) e bens não duráveis (todos os demais itens do orçamento do consumidor). Em cada um desses grupos, os preços e quantidades consumidas são tomadas na forma de números-índice. A alocação das despesas de consumo pessoal é baseada num sistema de funções de demanda, onde cada função dá a quantidade consumida em cada um dos grupos de comodidades em correlação com a despesa total e preços. O autor explorou a dualidade entre preços e a quantidade de bens consumidos, estabelecida pela teoria de demanda do consumidor, que implica na existência de uma função utilidade indireta, definida sobre as despesas totais e preços de todas as comodidades. A utilidade é diretamente proporcional à despesa total e inversamente ao preço de cada uma das comodidades, de maneira que se esses fatores sofrerem alterações proporcionais, o orçamento do consumidor manter-se-á inalterado. Assim, a utilidade pode ser expressa como uma função das relações de preços de todas as comodidades em relação às despesas totais. Jorgenson apresentou a função utilidade indireta como sendo uma função quadrática nos logarítmos das relações de preço e a despesa total e no tempo, o que permite, com sua inclusão, a captação de alterações de preferências. As expressões das parcelas que cada um dos três

grupos de comodidades representam no orçamento total podem ser obtidas por diferenciação da função de utilidade indireta; a restrição básica do orçamento estabelece que a soma dessas três parcelas deve ser igual à unidade. Uma vez que desejava-se evitar a imposição de restrições à alocação das despesas de consumo pessoal além daquelas advindas da hipótese de maximização da utilidade, restrições adicionais de preferência foram tomadas como hipóteses a serem testadas estatisticamente. O modelo foi aplicado nos Estados Unidos, com dados de despesas de consumo pessoal no período 1947-1971.

Fuss et alii [1976], num trabalho exclusivo para o setor industrial, considerou a função produção definida em termos de energia, capital e trabalho, e definiu a função custo como dependente dos preços de cada um dos fatores e dos níveis de produção. O objetivo do problema está na minimização da função custo, tomada como um sistema de equações - uma para cada parcela de custo dos fatores de produção -, e submetida a restrições que garantem a coerência da formulação.

Mais recentemente Kümmel [1982] utilizou-se de uma metodologia baseada num grupo de equações diferenciais, propostas na descrição do sistema industrial, num estudo para avaliação do impacto dos fatores de produção no crescimento industrial. Para tanto, estabeleceu uma função de produção baseada, como no caso anterior, nos insumos energia, trabalho e capital. A formulação teórica foi testada através da aplicação do modelo à Alemanha Ocidental e Estados Unidos.

Na análise dos impactos de incentivos à conservação de energia no setor industrial, Reister [1982] estabelece uma metodologia na qual a demanda é calculada a partir da minimização de uma função custo de produção. Os valores ótimos da demanda energética, assim como dos demais insumos, são calculados através de derivadas parciais desta função custo. Em trabalho anterior [1981], o autor havia concluído que as funções CES (constant elasticity of substitution) são as de forma mais adequada para as funções custo em modelos de tal natureza.

2.3.5. Modelos baseados na abordagem em parcelas do mercado energético

Os modelos dessa categoria tratam o problema da projeção da demanda energética em dois passos distintos e bem definidos.

O primeiro deles envolve a determinação da demanda energética total para o setor econômico e região em estudo; o segundo passo consiste no estabelecimento das parcelas deste mercado que serão ocupadas por cada uma das principais formas energéticas. Na determinação das parcelas está implícito o conceito de eficiência de utilização de cada uma das formas energéticas em estudo, o que leva a que as projeções sejam feitas em termos de energia útil. Modelos que utilizam a metodologia das parcelas de mercado foram desenvolvidos e aplicados com sucesso em vários países do mundo.

Hatfield et alii[1974] descrevem o modelo utilizado pela Central Electricity Generating Board (CEGB) - Grã-Bretanha - para projeção da demanda de eletricidade, seguindo uma metodologia denominada pelos autores como "balanço de energia". O trabalho analisa os setores doméstico, comercial, industrial e de transportes, considerando de maneira explícita a eletricidade, o gás, o óleo, carvão e outros combustíveis sólidos como energéticos aptos a satisfazerem as necessidades. Na determinação da demanda de energia global se estabelece uma relação entre a taxa de crescimento do consumo de energia útil e o crescimento do PNB, sendo que o efeito dos preços mostrou-se irrelevante no período relativo à base de dados. Numa formulação alternativa, equações específicas para a demanda de energia global são definidas para cada um dos setores em estudo, nos quais a taxa de crescimento do consumo de energia é associada à taxa de crescimento de algum parâmetro que representa a tendência da economia no setor (utilizou-se o PNB para os setores comercial e de transportes, despesas de consumo no setor doméstico e índice de produção no setor industrial).

Na determinação das parcelas de mercado entre os energéticos potenciais, cada mercado foi analisado em separado, como forma de melhor captar os fatores determinantes do fracionamento. Para esses setores da economia fez-se uma análise das causas que determinam variações nas participações relativas, e uma previsão até certo ponto especulativa do futuro. Propôs-se que essas variações fossem explicadas, em parte pelos preços relativos dos energéticos e em menor proporção por um efeito misto de viabilidade e preferências do consumidor. Embora os próprios autores reconheçam nesse ponto uma deficiência do modelo, as elasticidades - preço não são consideradas, uma vez que na época (período do primeiro choque do petróleo), fatores que determinaram uma relação passada seriam totalmente diferentes no futuro.

O trabalho de Davies [1976] descreve um modelo desenvolvido e aplicado pela mesma CEEB na projeção da demanda de energia elétrica a médio prazo. A metodologia de uma forma geral é bastante semelhante a do modelo anteriormente descrito, a menos de pequenas variações tais como a adição do preço de energéticos em relação ao índice de preço no varejo e da temperatura média no inverno como variáveis explanatórias na equação de demanda energética global para o setor residencial, e também da temperatura média no inverno no setor comercial. O autor prevê a possibilidade de serem feitos ajustes às projeções na tentativa de levar em conta pressões que visem a adoção de medidas de conservação de energia.

Chern [1978] apresenta um modelo de projeção de demanda integrado para uma combinação dos setores residencial e comercial. A metodologia estabelece a abordagem do problema em duas etapas, sendo que na primeira determina-se a demanda energética de forma agregada, enquanto na segunda estima-se as parcelas de mercado para eletricidade, gás natural e derivados de petróleo. Assume-se que a demanda agregada de energia seja função dos preços médios de energia ponderados entre as formas energéticas consideradas, renda pessoal e um parâmetro que avalia as necessidades de aquecimento e resfriamento; a equação de regressão é expressa na forma linear. As equações de parcelas de mercado, também lineares, são expressas em função do preço do energético, preços dos energéticos concorrentes e um termo que expressa níveis de aquecimento e/ou resfriamento necessários. A demanda de uma forma energética específica é dada pelo produto entre a demanda global e a respectiva parcela de mercado. As equações do modelo são estimadas por mínimos quadrados simples.

O IFSD (Interfuel Substitution Demand Model), descrito por Sahi [1978], foi desenvolvido pelo Departamento de Minas e Energia do Canadá. Tal qual nos outros trabalhos descritos nesta seção, adota-se uma abordagem de cima para baixo, isto é, inicialmente estabelece-se a demanda de energia útil total para cada mercado analisado, com posterior fracionamento em parcelas de mercado.

Para o setor residencial, o consumo global por residência, é tomado em função do índice de preço energético residencial real, da renda disponível por residência, do número de famílias que moram em habitações simples, de um parâmetro normalizado que reflete a temperatura média, e de variáveis dependentes defasadas em um período. Já no setor comercial, a demanda per capita é

relacionada ao índice de preço comercial real, à renda real disponível per capita, ao mesmo parâmetro de temperatura média, número de famílias que moram em habitações múltiplas e às variáveis dependentes defasadas em um período. A formulação para o setor industrial estabelece que a demanda de energia útil por unidade de produto real industrial seja associada ao índice de preço energético real no setor, à razão capital/produção, à temperatura média normalizada e às variáveis dependentes defasadas em um período. No estudo das parcelas de mercado o modelo prevê a abordagem explícita dos três principais energéticos, sendo que os demais são estudados em cada setor num sub-grupo residual. As variáveis explanatórias das três equações de parcelas de mercado são o preço relativo entre formas de energia concorrentes, temperatura - no caso dos setores residencial e comercial, e capacidade de abastecimento do sistema de gás - ainda no caso dos mercados residencial e comercial. As estimativas das equações foram feitas tomando-se por base dados em séries temporais e em seção transversal para sete diferentes regiões do Canadá.

2.4. Modelos de Uso Final da Energia

Os modelos de uso final da energia adotam como metodologia de análise e projeção da demanda, o estudo das diversas aplicações energéticas em cada um dos segmentos sociais de interesse.

Dentre essa categoria destacam-se os modelos de projeção da demanda energética baseados em simulação do uso final da energia, amplamente desenvolvidos no Institut Economique et Juridique de l'Energie (IEJE), em Grenoble, França. Dois bons exemplos dessa metodologia são os trabalhos de Chateau [1975] e Lapillonne [1978].

O objetivo do trabalho de Chateau é propor um modelo que supere as limitações metodológicas de análises econométricas determinadas por certas particularidades do mercado energético, tais como o aumento do preço real da energia e restrições ao suprimento; para tanto, Chateau lança mão da análise de sistemas e de técnicas de simulação. O estudo estabelece a desagregação da estrutura sócio-econômica em seis sub-sistemas: residencial urbano, produtivo-composto do setor de serviços, do sub-sistema industrial e do sub-sistema energético -, transportes, político, científico e tecnológico e ecológico. A interrelação entre eles é alcançada em três níveis distintos: (i) de trocas físicas; (ii) conexões econômicas -

- relacionadas implicitamente às funções de suprimento e demanda -, e (iii) conexões políticas - expressas através de pressões, dispositivos reguladores e incentivos.

Na metodologia proposta, deve-se distinguir duas fases distintas. Na primeira delas, chamada de descritiva, tem-se a preocupação de identificar os fatores determinantes da demanda num dado instante e que podem ser classificados como variáveis técnicas, sócio econômicas ou de decisão. Já a segunda fase é exploratória, com a tentativa de definição de quais alterações serão induzidas por esses fatores determinantes, ao longo do tempo, sobre o consumo.

Dada a projeção da demanda energética final, por uso e por usuário, um modelo de otimização empregando programação linear escolhe os níveis de investimento e as fontes energéticas, alocando os diversos insumos potencialmente substituíveis entre os vários usos previstos de maneira a minimizar o custo total para a coletividade. Algumas restrições estabelecem as interrelações entre o sistema energético, composto por quatro setores de produção: eletricidade, petróleo, gás e carvão, e os outros sistemas em estudo. Antes que se tenham as projeções de demanda definitivas, devem ser vencidas mais duas etapas. Na primeira, estudam-se as repercussões na demanda devido às tendências do sistema sócio-econômico, enquanto na segunda, empregando-se técnicas de cenários, analisam-se as consequências de possíveis alterações no mercado de energia.

O Medee 2 (Modele d'Evolution de la Demande d' Energie) constitui-se na segunda versão dos modelos de projeção da demanda energética, de mesmo nome, desenvolvidos no IEJE. O objetivo básico de sua criação é de que constitua-se numa ferramenta para exploração da influência de mudanças sociais, econômicas, tecnológicas e políticas na demanda de energia.

A metodologia proposta pelo Medee envolve o detalhamento do padrão de consumo com o fracionamento da demanda total de energia em múltiplas categorias de uso final. A análise dos sistemas econômico, social e tecnológico permite a identificação, ao nível de desagregação adotado, dos principais fatores determinantes da demanda, e que são organizados numa estrutura hierárquica. Através de um modelo de simulação, formulado simplificando-se a estrutura e com agrupamento dos fatores determinantes do consumo de energia em variáveis endógenas (calculadas ou simuladas dentro do modelo), exógenas (calculadas fora do modelo) e indicadores de cenário (indicadores sócio-econômicos e tecnológicos, modelados na forma de

cenários), faz-se a projeção da demanda energética. Numa primeira etapa são estabelecidas a demanda de energia útil para as aplicações que podem ser atendidas por vários insumos, e a demanda de energia final para aquelas aplicações que correspondem a usos específicos.

A demanda de energia final é obtida a partir da taxa de penetração das várias formas energéticas concorrentes, e das eficiências de utilização. As taxas de penetração podem ser obtidas num modelo de simulação auxiliar que leva em conta os preços relativos, ou são introduzidos de forma exógena. O Medee 2 não trata explicitamente o problema da substituição entre energéticos porque esse depende em última análise dos preços relativos das formas energéticas finais, e o modelo não associa diretamente a demanda aos preços por meio de coeficientes de elasticidade. A indiscutível interdependência entre preço e demanda é observada através da análise de possibilidades tecnológicas de redução do consumo em decorrência do aumento dos preços, e pela consideração de custos de investimento e economia de energia associadas à adoção de medidas de conservação.

Lapillonne justifica a não inclusão dos preços de energéticos como variáveis explanatórias por considerar que os dados históricos disponíveis quando da formulação do modelo (imediatamente posterior à crise de 1973) não podiam refletir a situação energética real do momento. Se tal constatação era verdadeira logo após 1973, hoje está destituída de qualquer fundamentação.

O modelo Medee encontrou relativa receptividade em estudos de demanda energética desenvolvidos nos últimos anos no Brasil; podemos citar dois trabalhos de Prado et alii [1981] e Lima [1981], que avaliam o consumo nacional de energia nos anos 2000 e 2020, respectivamente. Em que pese o fato de ser uma ferramenta extremamente poderosa na compreensão do mercado energético e de suas particularidades, o Medee, como simples modelo de projeção de demanda, tem limitações. Por exemplo, a necessidade de desagregação da demanda em múltiplas categorias de uso final, afim de permitir o maior detalhamento e compreensão do mercado, tem sérias restrições atualmente na disponibilidade dos dados, especialmente no caso brasileiro.

Um outro exemplo de modelos de uso final é descrito por Ross [1981], que utiliza um modelo de projeção em que o consumo é tomado como função do crescimento da demanda de aplicações energéticas e do consumo específico associado a essas aplicações. Adota-se como nível de agregação para as aplicações energéticas os seguintes

grupos: acionamento mecânico, calor para processos industriais, aquecimento ambiental, eletrólise, emprego do carvão com finalidades metalúrgicas, uso carburante, e outros de menor importância. A projeção da demanda de aplicações energéticas é feita em correlação com o PNB, valor agregado ou nível de consumo esperado de certos materiais, dependendo do grupo considerado. A determinação dos consumos específicos esperados dentro do horizonte de planejamento é feita através da fixação de objetivos para cada grupo de aplicações, objetivos esses considerados prováveis dentro de cenários factíveis.

Procedimento semelhante já havia sido utilizado por Chesshire e Surrey [1978] na elaboração de um possível cenário de consumo para o ano 2000 na Grã-Bretanha. O estudo envolvia a desagregação da sociedade nos setores de transporte, residencial, indústria manufatureira e outros consumidores finais. A metodologia baseia-se na análise do perfil de consumo energético em cada setor, e identificação dos principais fatores determinantes. Através da elaboração de cenários ou de premissas baseadas em considerações técnicas, econômicas ou até mesmo de puro "bom senso", estabelecem-se então os níveis de consumo presumíveis para o ano 2000. Trata-se obviamente de um procedimento altamente especulativo para determinação da demanda energética, muito embora possa se constituir numa técnica de grande valor usada para complementar resultados obtidos por modelos mais elaborados.

2.5. Modelos Mistos

Os chamados modelos mistos constituem-se numa combinação das técnicas de projeção dos modelos econométricos com análise de uso final da energia.

Em um estudo de projeção da demanda de energia elétrica para o Estado da Califórnia, Mooz [1973] estabelece uma abordagem desagregada com ênfase especial aos setores residencial, comercial e industrial. A demanda residencial, cujo estudo no caso representa o melhor exemplo de modelos mistos, é analisada segundo dezesseis diferentes aplicações típicas de eletricidade, tomando-se como parâmetros determinantes a população, preços de energéticos e níveis de saturação. O setor industrial, por sua vez, é estudado de maneira extremamente pulverizada, com abordagem explícita de 25 diferentes tipos de indústrias manufatureiras ou de extração. A demanda

industrial é colocada em função da produção (efeito captado pelo valor agregado), preço de eletricidade e gás, e nível de consumo de energia elétrica por ramo industrial, tomado em termos de Kwh por dólar de valor agregado.

A metodologia descrita por Broehl [1981], desenvolvida pela Battelle Columbus Division - EUA - para determinação da demanda diária e horária de energia elétrica, é um exemplo típico de modelos mistos. O conceito de energia útil ("end use") é empregado no submodelo residencial que relaciona a demanda por aplicação ao número de aplicações, à carga conectada por aplicação, e à fração destas que operam numa dada hora. Nos submodelos industrial e comercial, face à diversidade de usos, a determinação da demanda horária segue caminho diferente. O primeiro passo consiste-se na projeção do consumo energético anual por correlação com o nível de atividade econômica (medida pelo nº de empregos, valor agregado e produção física no setor industrial, e nível de empregos no setor comercial). O consumo mensal e horário, por dia característico, é calculado então como sendo uma dada fração da demanda energética anual.

Os modelos desenvolvidos por Foel [1975] permitem a projeção da demanda de energia elétrica nos setores residencial, comercial e industrial. Para o setor residencial, no qual aplica-se um modelo notadamente misto, assume-se quatro fatores determinantes: população e tamanho das famílias, tipo de residências, aplicações da energia elétrica e o consumo por aplicação. Cada um desses fatores é analisado detalhadamente, identificando-se assim sub-divisões e sub-fatores determinantes. O setor industrial, fracionado em vinte diferentes categorias, tem sua demanda energética estimada pelo nível de produção industrial e pelo consumo específico de energia elétrica, fatores esses determinados por projeção das tendências verificadas no passado. Finalmente no setor comercial o consumo energético é associado à população e ao nível de vendas per capita. Taxas de crescimento são incorporadas aos prognósticos como forma de corrigir tendências.

Sebesta [1978] descreve o trabalho desenvolvido pela Portland General Electric Co. - EUA - com utilização de duas diferentes metodologias: um modelo econométrico que estabelece intervalos de confiança para os resultados, e outro, chamado "company composite", baseado em análises de uso-final, pesquisas de campo e planejamento da atividade econômica nos setores comercial e industrial. O "company composite" diferencia os consumidores em três

grupos: residencial, grandes indústrias e outros consumidores não residenciais: O setor residencial é subdividido em 28 diferentes categorias de consumo, sendo que em cada uma é determinado o número de consumidores e o consumo por consumidor, que é baseado em análise de uso final e diferencia aplicações específicas. No caso dos grandes consumidores industriais optou-se por entrevistas individuais como forma de obter-se informações das demandas futuras de eletricidade, valores que são combinados com análises de taxas de crescimento, mudanças entre níveis de tensão, etc. Os demais consumidores não residenciais têm seu consumo determinado, em primeira instância, como função da produção e alterações do consumo específico de eletricidade. De acordo com o código de classificação, grupos tarifários são subdivididos em 13 categorias, sendo que cada uma é analisada, do ponto de vista da demanda, em correlação com o nível de atividade econômica correspondente. O impacto de esforços de conservação de energia sobre a demanda é avaliado através da análise de usos final.

Já os modelos econométricos descritos por Sebesta são aplicados aos setores residencial, industrial e comercial, numa classificação que não corresponde diretamente a do procedimento anterior. Nesse caso a melhor aplicação do modelo é no desenvolvimento de um intervalo de confiança em torno dos pontos projetados, a fim de estabelecer distribuições de probabilidades para as variáveis-chave independentes (população, preço real do óleo, renda pessoal, etc.). A partir de uma lista de alternativas possíveis, elegese o cenário mais provável, estabelecendo-se uma distribuição de probabilidades que é então usada para gerar intervalos de confiança de 80%, 90% e 95%.

Os modelos apresentados representam diferentes tendências de abordagem do problema de projeção da demanda de energia. Por se constituírem em importante ferramental em trabalhos de planejamento energético, é importante que sejam analisadas as principais vantagens e desvantagens intrínsecas aos procedimentos básicos de projeção segundo a classificação adotada.

Os modelos econométricos, em geral, permitem ao planejador o entendimento das interrelações entre a demanda energética e os parâmetros econométricos adotados como variáveis explanatórias (preço, nível de investimento, etc.). Tal procedimento tem como principal limitação a impossibilidade de captar de maneira explícita particularidades do mercado, em especial as relacionadas às

diversas aplicações de energia.

Já nos modelos de uso final essa restrição é minimizada pelo nível de detalhamento em que é feita a análise do consumo energético, o que permite muitas vezes a caracterização minuciosa do mercado em estudo. Muito embora seja essa sua principal virtude, a eventual precariedade da base de dados necessária à aplicação do modelo impõe sérias limitações, seja na minimização do poder explanatório face à necessidade de redução do nível de detalhamento, ou na perda de precisão dos resultados devido à adoção de suposições ou considerações pouco fundamentadas.

A grande vantagem dos modelos mistos está no fato de conjugarem as principais características dos modelos econométricos e de uso final de energia. Metodologias de projeção baseadas em tal técnica apresentam grande potencial de desenvolvimento, com possibilidade de refinamento na medida em que melhores informações tornem-se disponíveis. No caso brasileiro, em que o mercado já é tão complexo a ponto de não encontrar satisfatoriedade na aplicação de simples modelos econométricos, e em que a pesquisa estatística e os esforços dispendidos na formação de bancos de dados são ainda tão irrelevantes, restringindo assim o uso eficiente de modelos de uso final, os modelos mistos constituem-se em ferramental de grande importância nos futuros estudos de demanda.

CAPÍTULO 3

O MODELO ADOTADO

3.1. O Modelo de Projeção de Demanda Adotado

3.1.1. Descrição Geral

O modelo de projeção da demanda de energia adotado neste trabalho de avaliação dos efeitos de programas de conservação sobre o consumo industrial do Estado de São Paulo, é um modelo de base econométrica com abordagem em parcelas de mercado ("market shares"), proposto por [Bajay, 1981]. Fundamentalmente, a opção feita por um modelo econométrico deve-se ao fato de se ter encontrado enorme dificuldade na constituição de uma base de dados adequada, o que inviabilizou a aplicação de modelos mistos: uso final-econométrico.

Na formulação do modelo procurou-se estabelecer uma solução de compromisso entre a necessidade de se levar em conta algumas características de extrema importância no mercado de energia, tais como a questão da substituição entre energéticos, efeitos de políticas de conservação, penetração no mercado de novas tecnologias, influência dos preços dos insumos sobre a demanda, e a questão de contorno mais geral, que é a precariedade das informações disponíveis no país.

Uma importante característica da abordagem através de parcelas de mercado é a de que o potencial de substituição entre energéticos, num dado mercado, pode ser tratado de maneira mais objetiva. Na prática, pode-se identificar dois passos distintos na aplicação desse modelo de projeção da demanda: no primeiro faz-se a projeção da demanda energética útil total para cada sub-setor industrial considerado, em cada uma das sub-regiões da região objeto de estudo, e no segundo, essa demanda total é sub-dividida em parcelas relativas às formas energéticas específicas.

Deve-se salientar que em se fazendo a projeção da demanda energética total de maneira autônoma, há mais chance de se chegar a resultados precisos. Isso porque a elasticidade-preço para a demanda total é muito menor que a para fontes específicas, e ao seguirmos esta abordagem evitamos possíveis distorções advindas da acumulação, na demanda total, de erros cometidos na projeção da de-

manda das diversas formas energéticas que atendem o mercado [Bajay & Walter, 1984].

O modelo adotado estabelece como base de análise e de projeção o conceito de energia útil a fim de que se possa fazer um exame preciso da demanda energética real e dos fatores que a influenciam. É interessante notar que avanços tecnológicos determinados, por exemplo, por restrições de ordem política ou econômica ao uso de energéticos podem ser levados em conta ao serem consideradas novas eficiências médias de utilização de energia em cada sub-setor industrial.

Uma última característica de ordem geral a ser destacada no modelo é o fato de que a base de dados para as estimativas constitui-se numa agregação de dados em séries temporais, com base anual, com dados em seção transversal, obtidos através da divisão da região objeto de estudo em sub-regiões. Grande parte dos trabalhos mencionados no capítulo anterior alertam para a dificuldade de se obter resultados confiáveis a partir de qualquer uma das duas bases de dados, exclusivamente.

3.1.2. As Equações de Parcelas de Mercado

A abordagem escolhida para a determinação das equações de parcela de mercado prevê o tratamento explícito das três principais formas energéticas em cada sub-setor industrial considerado, sendo as demais agrupadas num quarto grupo e tratadas como resíduo. Cada parcela de mercado é designada por S_{ijt} , onde o subscrito $i=1, 2, 3$ refere-se às três formas de energia principais e $i=4$ ao resíduo, j define a sub-região e t o período de tempo considerado.

A fim de que seja captado o efeito da inércia comportamental do consumidor e da inércia causada pelos custos associados à substituição entre formas energéticas adota-se um modelo de ajuste parcial para S_{ijt} conforme especificado abaixo:

$$S_{ijt} - S_{ij(t-1)} = \gamma_s (S_{ijt}^* - S_{ij(t-1)}) + u_t, \quad 0 < \gamma_s < 1 \quad (3.1)$$

onde S_{ijt}^* representa o valor ótimo de S_{ijt} , valor este não observado na prática, mas que pode ser associado a variáveis explanatórias, e u_t é a perturbação estocástica. O modelo de ajuste parcial, portanto, é definido de maneira que a variação da parcela de mercado de um dado energético, numa dada sub-região, entre dois anos subse-

quentes é, a menos do termo de perturbação, uma fração da diferença entre a parcela de mercado ótima para o energético i , na sub-região j , no ano t , e a parcela de mercado verificada no ano anterior. O termo γ é chamado proporção de ajuste, sendo que quanto mais próximo ele estiver da unidade, menor será a influência do valor defasado sobre o período considerado.

O valor ótimo da parcela de mercado S_{ijt}^* é associado a relações de preço entre os energéticos concorrentes e ao valor agregado industrial. A escolha das relações de preço entre energéticos concorrentes deve-se ao fato de que os consumidores fazem sua escolha entre formas energéticas levando em conta alterações entre os preços relativos destas, hipótese que é bastante razoável quando não há limitações institucionais, tecnológicas ou de processo.

No entanto, deve-se considerar que outros fatores também podem ser levados em conta, tais como conveniência, disponibilidade, segurança e limpeza. Conceitualmente, quanto maior a renda de um dado sub-setor, maior deverá ser a influência desses fatores sobre a decisão de qual energético utilizar, motivo pelo qual inclui-se em cada equação de parcela de mercado uma variável que possa representar o grau de afluência do sub-setor em estudo. Nesse trabalho empregamos como tal o valor agregado industrial, ou valor de transformação industrial.

É interessante notar que os preços dos energéticos e o próprio valor agregado industrial podem produzir efeitos defasados sobre as variáveis dependentes, situação que pode ser contornada através do tratamento desses dados com uma sequência de declínio geométrico. É necessária a realização de testes a priori a fim de que se determinem os valores das taxas de declínio geométrico λ_j que propiciam os melhores ajustes nas equações de regressão.

O modelo trabalha com níveis de preços correntes, cujos coeficientes de regressão compreendem uma parte constante e outra parte dependente da taxa de alteração em relação ao período anterior.

A equação de regressão para o valor ótimo das parcelas de mercado, na forma semi-logarítmica, é:

$$S_{ijt} = a_{ij} + b_{i1} \ln(P_{ijt}/P_{1jt}) + b_{i2} \ln(P_{ijt}/P_{2jt}) + c_i \ln(Z_{jt}^*) \quad (3.2)$$

$$b_{i1} = b_{i1_1} + b_{i1_2} \left(\frac{P_{ijt}/P_{1jt} - P_{ij(t-1)}/P_{1j(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{1j(t-1)}} \right) \quad (3.3)$$

$$b_{i2} = b_{i2_1} + b_{i2_2} \left(\frac{P_{ij t} / P_{2jt} - P_{ij(t-1)} / P_{2j(t-1)}}{P_{ij(t-1)} / P_{2j(t-1)}} \right) \quad (3.4)$$

$$Z_{jt}^* = (1-\lambda_z) Z_{jt} + (1-\lambda_z) \lambda_z Z_{j(t-1)} + (1-\lambda_z) \lambda_z^2 Z_{j(t-2)} + \\ + (1-\lambda_z) \lambda_z^3 Z_{j(t-3)} \quad (3.5)$$

onde $P_{ij t}$ refere-se ao preço corrente do energético i e P_{1jt} e P_{2jt} aos preços de seus competidores; Z_{jt}^* designa as variáveis, afora preço, que apresentam efeitos defasado; nessa aplicação o único parâmetro considerado é o valor de transformação industrial.

Substituindo as equações (3.2), (3.3), (3.4) e (3.5) em (3.1), teremos a equação de regressão múltipla para as parcelas de mercado:

$$S_{ijt} = \gamma_s a_{ij} + \gamma_s b_{i1_1} \ln(P_{ij t} / P_{1jt}) + \\ + \gamma_s b_{i1_2} \left(\frac{P_{ij t} / P_{1jt} - P_{ij(t-1)} / P_{1j(t-1)}}{P_{ij(t-1)} / P_{1j(t-1)}} \right) \ln \left(\frac{P_{ij t}}{P_{1jt}} \right) + \\ + \gamma_s b_{i2_1} \ln(P_{ij t} / P_{2jt}) + \gamma_s b_{i2_2} \left(\frac{P_{ij t} / P_{2jt} - P_{ij(t-1)} / P_{2j(t-1)}}{P_{ij(t-1)} / P_{2j(t-1)}} \right) \\ \ln \left(\frac{P_{ij t}}{P_{2jt}} \right) + \gamma_s c_i \ln(Z_{jt}^*) + \\ + (1-\gamma_s) S_{ij(t-1)} \quad (3.6)$$

De acordo com a teoria econômica, os preços dos energéticos, enquanto variáveis explanatórias, devem estar submetidos a algumas restrições, de forma a garantir a consistência do modelo especificado. O primeiro ponto a ser respeitado é a homogeneidade de grau zero, que estabelece que as parcelas de mercado de cada energético devem se manter inalteradas quando todos os energéticos sofrerem alterações de mesma magnitude em seus preços. Essa restrição é automaticamente respeitada quando da especificação dessa variável na forma de logarítmos de quocientes.

O segundo ponto refere-se aos efeitos simétricos de al

terações nos preços, isto é, a parcela de mercado de uma dada forma energética deve sofrer alterações devido à mudanças nos preços de uma outra, na mesma proporção em que deve se alterar a participação no mercado do segundo energético em resposta a mesma alteração nos preços da primeira forma. Essa condição é satisfeita na imposição da igualdade entre os coeficientes de regressão das variáveis preço, isto é:

$$b_{i1_1} = b_{1i_1} \quad e \quad b_{i2_1} = b_{2i_1}$$

e mais

$$b_{i1_2} = b_{1i_2} \quad e \quad b_{i2_2} = b_{2i_2}$$

Nos casos em que houverem alterações nas variáveis que representam o grau de aflluência e o valor defasado da variável dependente, mas as variáveis associadas aos preços se mantiverem constantes, a soma das alterações nas parcelas de mercado para todos os energéticos deve ser nula. Essa condição é satisfeita pela seguinte restrição:

$$\sum_i \gamma_s c_i = \gamma_s \sum_i c_i = 0$$

$$e \sum_i c_i = 0 \quad \text{se } \gamma_s \neq 0$$

Outro aspecto importante a ser destacado é que dado um certo conjunto de valores para as variáveis independentes, inclusive os preços, a soma das parcelas de mercado deve ser igual à unidade. Essa restrição, chamada condição de agregação de Engel, obriga a imposição de uma restrição sobre os termos de intersecção de cada uma das quatro equações, de maneira que a soma de suas parcelas de mercado seja igual a 1 quando os coeficientes de todas variáveis independentes forem levados a zero [Bajay, 1981]. A restrição a seguir garante essa condição de agregação na presença de termos de ajuste defasados:

$$1 = 1 - \gamma_s + \sum_i \gamma_s a_{ij}$$

$$\therefore \sum_i a_{ij} = 1$$

Ainda com o objetivo de garantir a consistência do modelo, um último ponto a ser evidenciado baseia-se no fato de que

uma vez que qualquer mudança na participação de mercado de um energético em resposta às alterações em variáveis independentes deve ser exatamente igual às mudanças na participação dos demais energéticos, num dado período de tempo; quando houver apenas um termo de ajuste parcial, seu coeficiente deve ser idêntico em cada equação. Isso já estava garantido uma vez que o coeficiente de ajuste parcial nas equações de parcela de mercado do modelo adotado vale $(1-\gamma_s)$, e γ_s tem valor idêntico em todas equações.

As três equações de parcelas de mercado, em cada sub-setor, são resolvidas inicialmente de maneira independente, através do método de mínimos quadrados simples, impondo-se a restrição de igualdade entre os coeficientes de regressão das variáveis preço, e a condição que γ_s seja o mesmo em todas as equações em que $S_{ij}(t-1)$ for significativa. Alternativamente resolve-se o sistema de equações de regressão utilizando-se para tanto do método de mínimos quadrados generalizado de Zellner [Johnston, 1972]. A comparação dos ajustes obtidos pela aplicação dos dois métodos a cada conjunto de equações, para os vários sub-setores em estudo, determinará, em cada caso, qual dos resultados será escolhido. Só após a escolha do ajuste entre os dois obtidos por esses métodos é que se calculam os coeficientes da equação dos energéticos residuais. Isso é feito submetendo-se os resultados das três equações principais às restrições anteriormente expostas.

Existe a possibilidade de que o erro das estimativas para sub-regiões específicas assumam valores significativos, a ponto de tornar bastante ruim a qualidade do ajuste para estas sub-regiões. Dependendo se os erros sub-regionais forem relativamente constantes ou proporcionais ao nível das variáveis dependentes, são empregados ajustes aditivos ou multiplicativos na forma de variáveis mudas.

3.1.3. Equações de Energia Útil Total

Assim como nas equações de parcela de mercado, também na equação de energia útil total é utilizado um modelo de ajuste parcial a fim de levar em conta o aspecto dinâmico da demanda de energia. O nível de equilíbrio da variável dependente só é atingido algum tempo depois das alterações nas variáveis independentes, face aos custos envolvidos nas transformações necessárias e devido ao comportamento inercial do consumidor. O modelo de ajuste parcial empregado é semelhante ao utilizado nas equações de parcela de mercado:

$$E_{kjt} - E_{kj(t-1)} = \gamma_{Ek} (E_{kjt}^* - E_{kj(t-1)}) + u_t, \quad 0 < \gamma_{Ek} < 1 \quad (3.7)$$

onde E_{kjt} é a demanda total de energia útil no sub-setor industrial k , na sub-região j e no ano t , u representa as perturbações estocásticas e E_{kjt}^* o valor ótimo de E_{kjt} , não observado, mas que pode ser associado à variáveis explanatórias.

A energia útil total é tomada como função do índice de preços de energia e do nível de atividade econômica do sub-setor, na sub-região e períodos considerados. A utilização de um índice de base anual e sub-regional deve-se ao interesse de ter captadas todas as possíveis alterações desse fator.

O procedimento de cálculo do índice está baseado na indexação ideal de Fischer, que apresenta vantagens teóricas sobre outros procedimentos mais simples e normalmente empregados com maior frequência [Wonnacott, 1977]. O índice é calculado de maneira que a contribuição de cada energético seja proporcional a sua parcela no consumo total do sub-setor.

É interessante notar que não há necessidade de considerarmos explicitamente valores defasados para os índices de preço na equação de regressão, já que este efeito é considerado implicitamente pela variável dependente defasada. Além disso, uma vez que a elasticidade-preço para a demanda de energia total é muito menor que para uma forma energética particular, há muito pouco interesse em se definir uma estrutura defasada explícita para o índice de preço.

A equação da energia industrial total na sua forma final fica sendo:

$$\begin{aligned} \ln(E_{kjt}/VA_{kjt}) = & \gamma_{Ek}\alpha_k + \gamma_{Ek}\beta_k \ln PE_{kjt} + \gamma_{Ek}\delta_k \ln(\Delta K/VA)_{kjt}^* + \\ & + (1-\gamma_{Ek}) \ln(E_{kj(t-1)}/VA_{kj(t-1)}) \end{aligned} \quad (3.8)$$

onde:

$$\begin{aligned} (\Delta K/VA)_{kjt}^* = & (1-\lambda_k) \left(\frac{\Delta K}{VA}\right)_{kjt} + (1-\lambda_k)\lambda_k \left(\frac{\Delta K}{VA}\right)_{kj(t-1)} + \\ & + (1-\lambda_k)\lambda_k^2 \left(\frac{\Delta K}{VA}\right)_{kj(t-2)} + (1-\lambda_k)\lambda_k^3 \left(\frac{\Delta K}{VA}\right)_{kj(t-3)} \end{aligned} \quad (3.9)$$

VA_{kjt} designa o valor agregado real do sub-setor industrial k , na sub-região j , ano t ;

ΔK_{kjt} refere-se ao investimento líquido real em máquinas, equipamentos e construção, no sub-setor industrial k, sub-região j, ano t.

O nível de investimento líquido realizado na melhoria ou ampliação das instalações, por unidade de valor agregado, é um bom indicador do investimento produtivo unitário realizado; ele representa bem o nível de atividade econômica do sub-setor, no que diz respeito aos fatores determinantes do consumo energético total específico. A utilização desse quociente, $\Delta K/VA$, ao invés do numerador e do denominador separadamente como variáveis explanatórias, evita também uma provável colinearidade entre ambos. O consumo específico, ou seja, o consumo de energia útil total por unidade de valor agregado, também é normalmente "melhor explicado" pelas diversas variáveis explanatórias recomendadas pela teoria econômica do que o consumo "per si", já que as variáveis independentes, absolutas e não específicas, que a explicam, em geral são fortemente correlacionadas (problema de multicolinearidade).

Todos os parâmetros monetários utilizados no modelo devem ser deflacionados em relação a um período referência, a fim de que se tenha idéia clara de sua evolução real. Nessa aplicação utilizou-se como elemento deflator o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI).

A equação (3.8) é estimada pelo método dos mínimos quadrados simples.

3.1.4. Procedimento para Aplicação do Modelo

Descritos os procedimentos básicos da formulação do modelo e suas equações de regressão, será visto agora a seqüência de passos necessários à aplicação do modelo.

A primeira etapa a ser vencida constitui-se na projeção do nível de atividade econômica, em cada sub-setor industrial e cada sub-região, e na determinação da evolução dos preços dos energéticos dentro do horizonte de planejamento.

De posse dessas duas informações é possível então alimentar as equações de parcelas de mercado. Os resultados dessas equações e os preços das formas energéticas possibilitam o cálculo dos índices de preço, que por sua vez, conjuntamente com as estimativas do nível de atividade econômica, alimentam as equações de projeção da demanda de energia.

Conhecidas as estimativas da demanda energética útil, ou demanda energética terciária, podemos calcular a demanda secundária, isto é, o volume de energéticos a ser efetivamente adquirido no mercado, multiplicando-se a primeira pela parcela de mercado projetada para cada energético, e dividindo o resultado pela eficiência de utilização do energético. Os valores de eficiência considerados podem diferir dos empregados na construção da base de dados de alimentação do modelo, se for factível supor evolução tecnológica no período de análise.

É possível a alteração dos resultados de projeção do modelo em alguns anos ou em todo o horizonte de planejamento, a fim de poder incorporar aos resultados mudanças esperadas na demanda energética, que não puderam ser estatisticamente capturadas com base na experiência observada. Alguns exemplos típicos são programas de conservação e substituição institucionais que não podem ser explicados pelas variáveis explanatórias das equações de regressão, mudanças comportamentais do consumidor ou evolução tecnológica. A alteração das projeções, nesses casos, é feita pela simples introdução de um fator de correção. É importante ressaltar que tais alterações devem estar baseadas em análises detalhadas do mercado, a fim de não gerar padrões de ajuste desassociados com a realidade.

3.2. A Base de Dados Utilizada

O modelo de projeção de demanda foi aplicado nesse trabalho aos seis principais segmentos da indústria de transformação do Estado de São Paulo, relevância esta atribuída, obviamente, do ponto de vista energético. O nível de agregação adotado segue a classificação usual do IBGE, uma vez que este foi o nível mais detalhado a que pudemos chegar por imposição dos dados disponíveis.

Na prática tal fato representa uma séria limitação ao poder exploratório do modelo, visto que torna-se impossível a abordagem explícita de segmentos tão importantes como: a indústria siderúrgica e cimenteira.

De acordo com a classificação adotada, foram selecionados os seguintes sub-setores industriais:

- Metalúrgica;
- Produtos Alimentares e Bebidas;
- Química;
- Transformação de Produtos Minerais não Metálicos;

- Papel e Celulose;
- Têxtil.

Juntos estes sub-setores respondem por cerca de 80% da demanda energética industrial total [Ministério das Minas e Energia, 1985; IBGE, 1980].

A sub-divisão do Estado de São Paulo em diferentes regiões segue a distribuição geográfica das empresas concessionárias de energia elétrica no Estado. Esse foi o melhor nível de desagregação possível face à limitação imposta pelos dados de consumo de eletricidade industrial. Assim como no caso anterior, tal nível de sub-divisão impõe restrições à qualidade do trabalho, uma vez que a distribuição das áreas de concessão não obedece, no geral, nenhum critério de homogeneidade econômica, tecnológica ou proximidade geográfica. Desta forma, trabalhando com sub-regiões internamente díspares, perde-se a oportunidade de se caracterizar melhor a demanda energética em São Paulo.

O Estado foi sub-dividido em quatro áreas, sendo que três delas correspondem às regiões de atuação das três principais empresas concessionárias, a saber: CESP, CPFL e ELETROPAULO. A quarta sub-região constitui-se num agregado das áreas atendidas por todas as demais empresas, denominada genericamente como OUTRAS.

Os dados de consumo energético, exceto as informações de energia elétrica, foram obtidos das Pesquisas de Consumo de Energia do Conselho Nacional do Petróleo. Essas pesquisas, conhecidas como planilhas CNP-DIPLAN, são realizadas anualmente junto aos maiores consumidores industriais; em 1980 o critério de obrigatoriedade para respondê-la era apresentar consumo superior a 500 toneladas de óleos pesados por ano, critério esse que passou a ser 500 toneladas equivalentes de óleos pesados por ano a partir de 1981.

De acordo com dados do próprio Conselho Nacional do Petróleo, 2614 empresas responderam a essa pesquisa em 1980 e 2300 o fizeram em 1981.

As informações das indústrias do Estado de São Paulo contidas nas planilhas foram tabuladas de forma especial, de maneira a se ter séries históricas de consumo energético para o período 1976-1981, para cada sub-setor industrial escolhido, agrupadas de acordo com a sub-divisão definida para o Estado.

Os dados obtidos a partir das planilhas do Conselho Nacional do Petróleo foram comparadas às informações de outras fontes a fim de se verificar sua precisão. As comparações foram feitas a ní

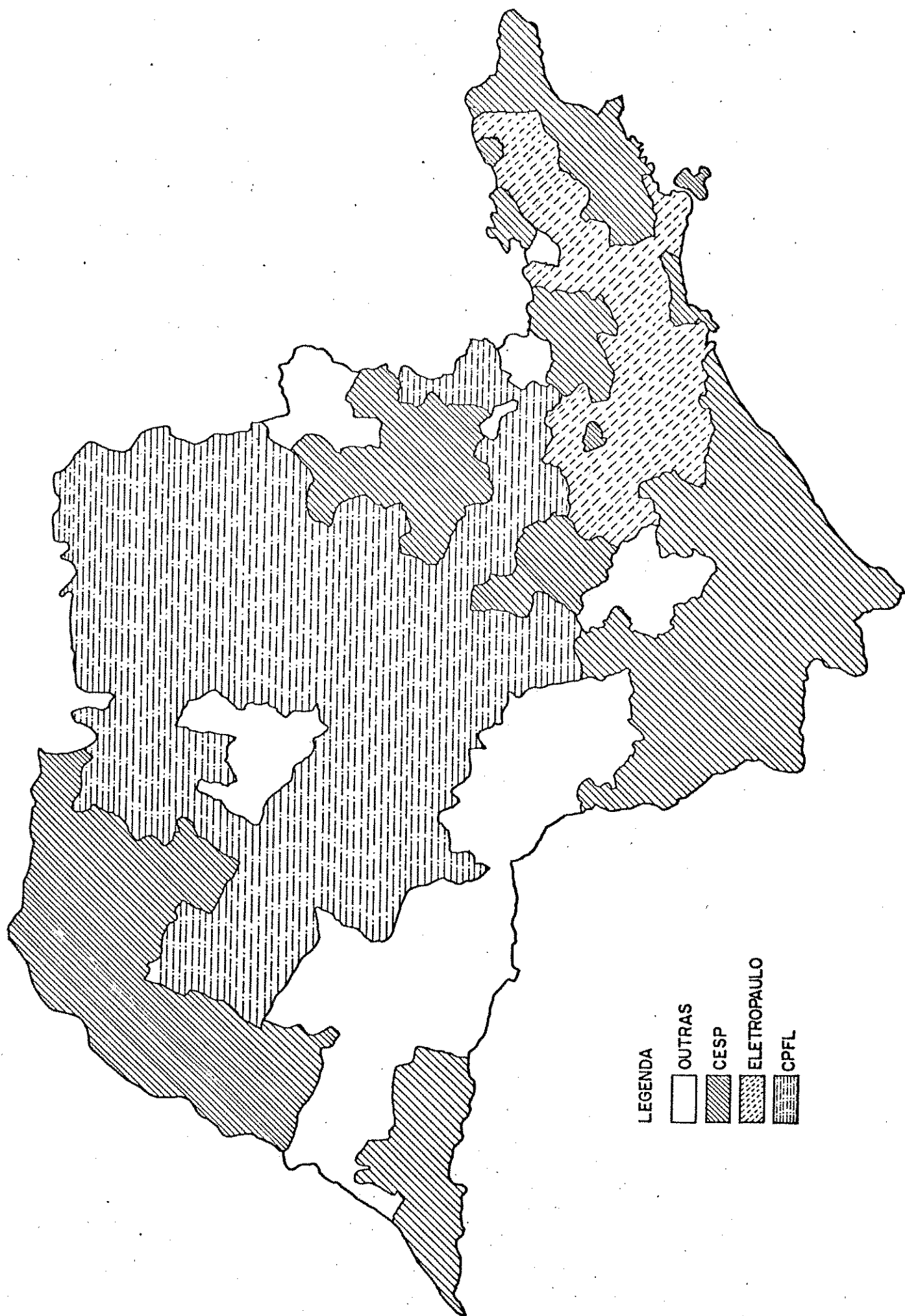


Figura:03-Áreas de Desagregação do Estado de São Paulo

vel nacional, para o período 1976-1980, com o Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1984], para os cinco principais grupos de combustíveis, e com os Anuários Estatísticos do CNP, somente no caso dos derivados de petróleo. Para o Estado de São Paulo, a comparação foi feita entre os dados das planilhas do CNP e os do Censo Industrial de 1980 [IBGE, 1984], e entre as informações da planilha e as do Anuário Estatístico do CNP, edição de 1981 [Conselho Nacional do Petróleo, 1981].

Adotou-se o procedimento de se atribuir a fonte de dados base de comparação o índice 100, medindo-se em relação a esse parâmetro o desvio dos dados das planilhas. Os resultados estão apresentados graficamente nas figuras 04 e 05.

Nota-se claramente que os dados de consumo dos óleos pesados são de uma forma geral bastante razoáveis, principalmente quando comparados aos dos Anuários do CNP. No caso das comparações efetuadas para o Estado de São Paulo os resultados foram ainda mais satisfatórios.

O mesmo não ocorre, infelizmente, com os demais derivados de petróleo. No caso do GLP, a comparação realizada para São Paulo apresenta resultados aceitáveis, muito embora para o Brasil estes sejam bastante ruins. No caso dos óleos leves, qualquer que seja a base de comparação ou o período em que esta é realizada, a discrepância é sempre muito grande.

Para os combustíveis alternativos, entre os quais destacam-se o carvão mineral e a lenha, a diferença obtida da comparação dos dados revela-se ainda mais crítica. No caso do carvão mineral as informações das planilhas do CNP são muito maiores do que o consumo reconhecido pelo Balanço Energético Nacional, ocorrendo situação totalmente inversa no caso da lenha.

Algumas considerações devem ser feitas com relação a escolha da base de dados da Pesquisa de Consumo de Energia do CNP para alimentação do modelo de projeção de demanda. O primeiro ponto é que essas informações eram as únicas disponíveis que podiam ser adequadas à realização desse trabalho conforme se propôs desde o início. Em segundo lugar, embora trate-se de uma pesquisa realizada com apenas um segmento do universo de indústrias do país, os dados de consumo de óleos combustíveis, segundo energético mais importante no período em análise para o total de empresas do país e o primeiro dentro dos sub-setores considerados nesse trabalho [Ministério das Minas e Energia, 1984; Conselho Nacional do Petróleo, 1980 e 1981], representam,

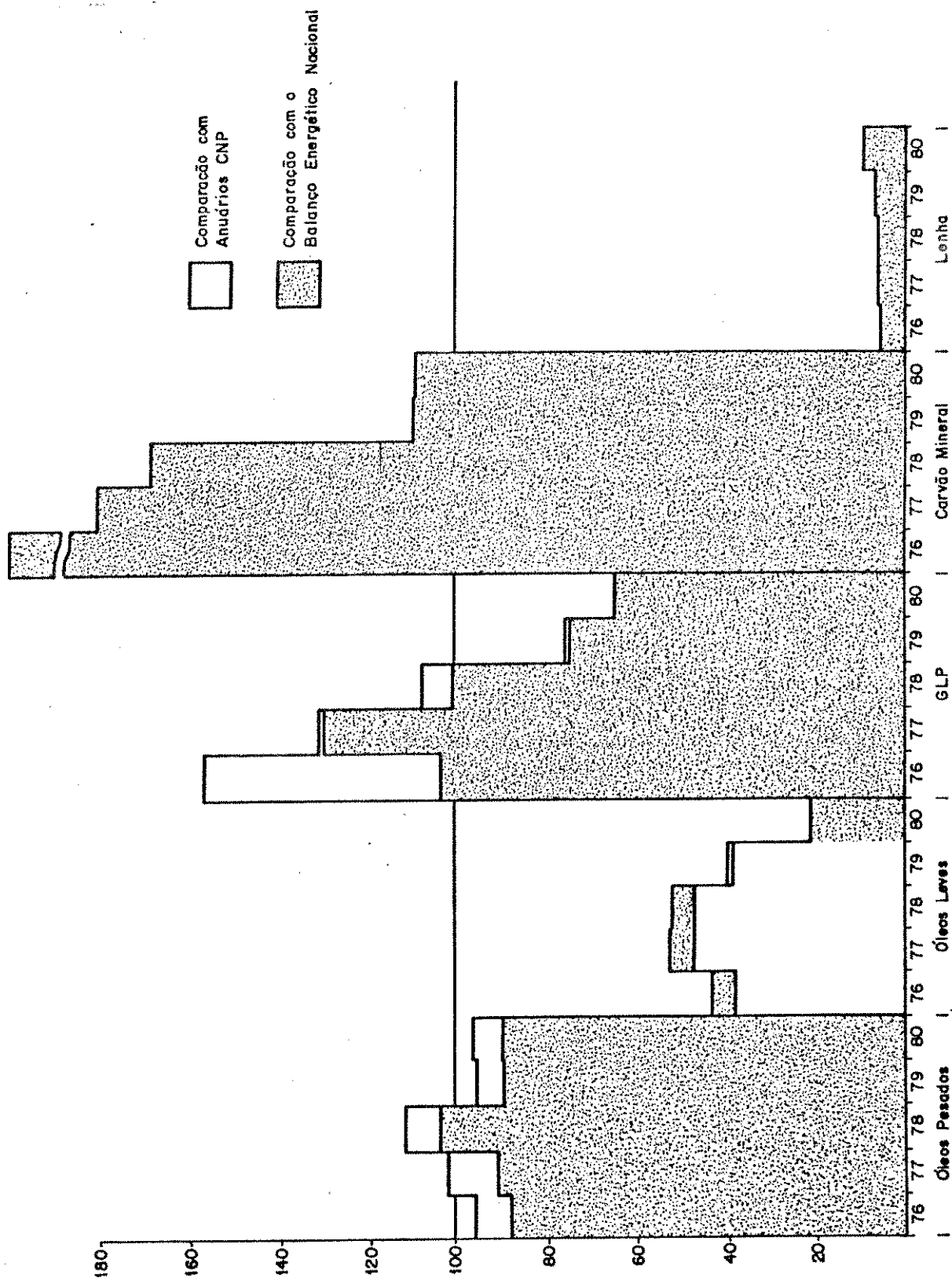


Figura 04-Comparação entre dados de Consumo Energético Industrial - Brasil

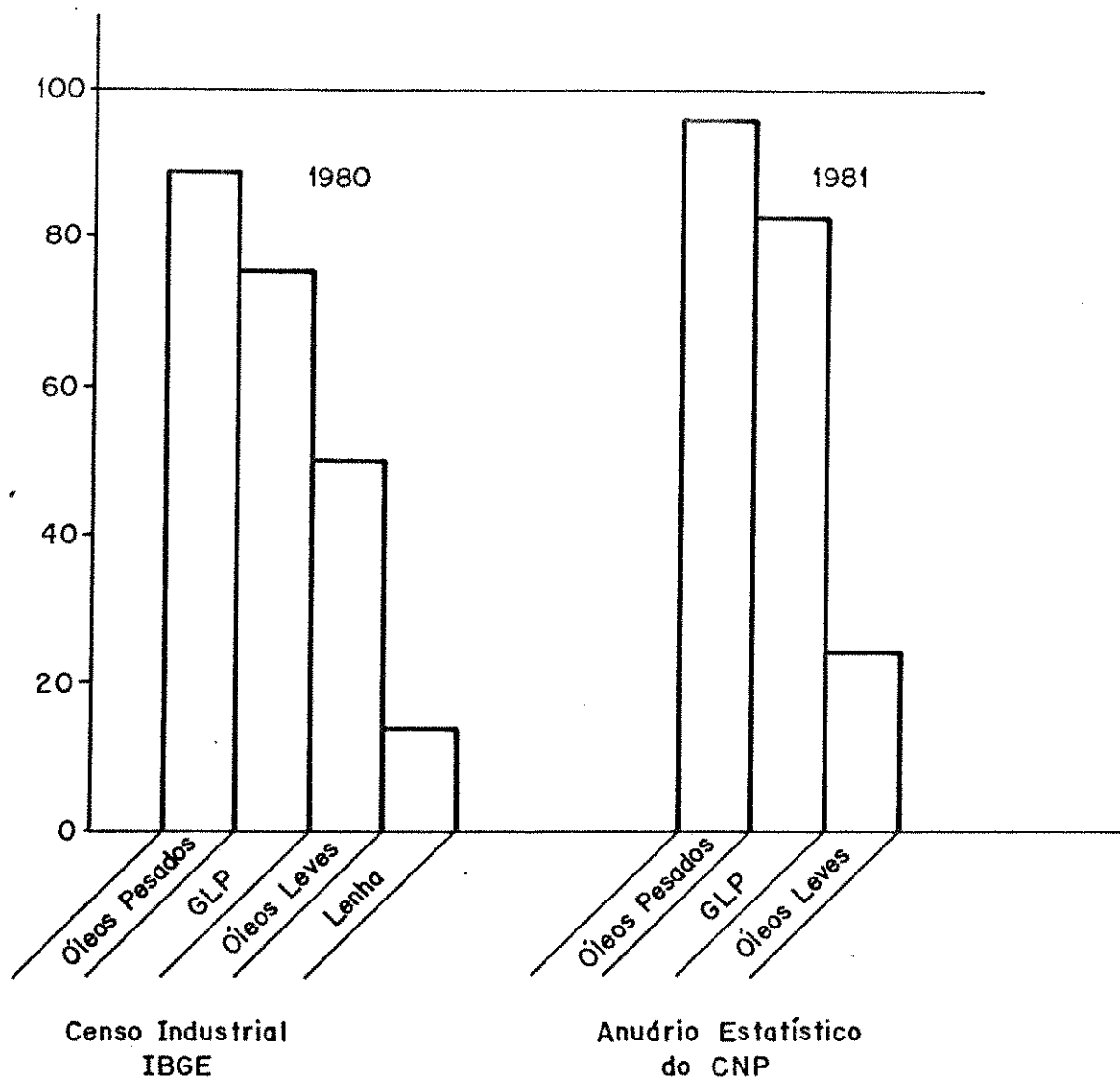


Figura:05-Comparação entre dados de Consumo Energético Industrial-
Estado de São Paulo.

em média, mais de 90% do consumo total.

Outro aspecto de grande importância é a incongruência das informações apresentadas pelo Balanço Energético Nacional e pelos Anuários Estatísticos do CNP relativas ao consumo de derivados de petróleo, mesmo sendo o próprio CNP uma das principais fontes de dados para a realização do Balanço.

Não havendo portanto, um trabalho confiável que pudesse servir de referencial único, e mais, sendo pública a desconfiança da precisão das informações de energéticos alternativos apresentadas pelo Balanço, e sendo, no geral, pequena a participação dos combustíveis alternativos nos mercados analisados nos anos de histórico, decidiu-se pela escolha dos dados das Planilhas do CNP para constituir parte do banco de dados necessários à implantação do modelo.

Os dados de consumo de energia elétrica não são os da Pesquisa de Consumo de Energia do CNP, visto que não há uniformidade na série, face à problemas causados pela indefinição de critérios na especificação do que era considerado consumo de eletricidade para uso geral e consumo de eletricidade para fins térmicos. Optou-se então pela utilização dos dados das companhias concessionárias do Estado de São Paulo para o total de indústrias em cada sub-setor considerado.

O emprego de informações de duas fontes diferentes, o que implica em dados de duas amostras também diferentes, na constituição do banco de dados de consumo energético, não causa maiores problemas à qualidade do trabalho, visto que a energia elétrica e os óleos pesados constituem-se nas duas principais formas energéticas para todos os sub-setores industriais no período de histórico, respondendo, conjuntamente, por grande parte da demanda de energia, conforme pode ser verificado nas tabelas de consumo apresentadas no Anexo A.

Os erros existentes na base de dados devem-se, portanto, ao fato de que o consumo de óleos pesados não corresponde exatamente 100% do consumo estadual dentro dos seis segmentos industriais selecionados, e às distorções causadas pela imprecisão, não quantificada, dos dados de consumo de energéticos alternativos.

Os dados de valor de transformação industrial e de nível de investimento foram tomados das Pesquisas Industriais Anuais e do Censo Industrial do IBGE, para os mesmos anos da série histórica de consumo de energia. Infelizmente não se dispunha de recursos financeiros necessários a aquisição de tabulações especiais, que permiti-

riam se trabalhar com diferentes séries históricas, uma para cada sub-região, conforme especificado no modelo.

Em vista dessa limitação não houve outra alternativa a não ser utilizar os dados do Estado de São Paulo como um todo em cada uma das quatro sub-áreas. Teoricamente perdeu-se com isso poder explanatório, uma vez que não foi possível captar tendências de desenvolvimento econômico diferenciado entre as sub-regiões.

Deve-se ressaltar que embora esses parâmetros econômicos tenham sido obtidos de pesquisa realizada sobre uma amostragem diferente daquela empregada no caso dos dados de consumo energético, não há introdução de erro uma vez que essas informações indicam, no modelo, apenas a tendência de evolução econômica.

As séries históricas de preço dos energéticos foram obtidas junto a Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da CPFL. As séries do IGP-DI, elemento deflator dos valores monetários, são as publicadas mensalmente em revistas especializadas.

Finalmente as informações de eficiência média de utilização de cada energético em cada um dos sub-setores, empregadas na conversão dos dados de energia secundária para energia útil, e vice-versa, foram obtidas junto à Fundação para Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia - FDTE -, que realizou um balanço de energia útil a partir das Planilhas de consumo do CNP [Ministério das Minas e Energia, 1984].

Todos os dados que constituem a base de informações para implantação do modelo são apresentados no Anexo A.

CAPÍTULO 4

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODELO

4.1. As Equações de Regressão

Como descrito no capítulo anterior, o modelo de projeção da demanda de energia foi aplicado aos seis mais representativos segmentos da indústria de transformação do Estado de São Paulo, sob o ponto de vista do consumo de energia. Na apresentação desse exemplo de aplicação discorreremos com maiores detalhes o caso do sub-setor industrial de Alimentos e Bebidas, apresentando de maneira sucinta os demais grupos industriais.

Construído o banco de dados necessário à alimentação do modelo, o primeiro passo na aplicação efetiva do mesmo consistiu na determinação das equações de regressão que melhor reflitiam a evolução da demanda de energia útil total e das parcelas de mercado dos três principais energéticos em cada um dos sub-setores industriais em estudo. No caso do segmento de Alimentos e Bebidas, as três principais formas energéticas dentro do período histórico considerado são, por ordem de relevância: óleos pesados, energia elétrica e lenha. Na determinação das principais formas de energia adotou-se sempre como procedimento a comparação dos consumos, globalizados para o Estado de São Paulo, dos principais energéticos, na forma de energia útil. Nos casos em que houve alterações ao longo dos anos do histórico, a escolha recaiu sempre sobre as três principais formas de energia no último ano da série, 1981.

No quadro a seguir apresentam-se os energéticos considerados explicitamente em cada um dos seis sub-setores industriais estudados.

TABELA 03

TRÊS PRINCIPAIS ENERGÉTICOS POR SUB-SETOR INDUSTRIAL

Metalurgia	Carvão Mineral	Eletricidade	Óleos Pesados
Alimentos e Be bidas	Óleos Pesados	Eletricidade	Lenha
Química	Óleos Pesados	Eletricidade	Outros Gases
Minerais não Me tálicos	Óleos Pesados	Eletricidade	Carvão Mineral
Papel e Celulo se	Óleos Pesados	Eletricidade	Lenha
Têxtil	Óleos Pesados	Eletricidade	Óleos Leves

Dentro da classificação Óleos Pesados estão consideradas todas as formas de óleos residuais derivados de petróleo, com exceção das várias misturas e do OC-4. Em Óleos Leves agregam-se os consumos de óleo diesel e querosene. No agrupamento Carvão Mineral estão todas as espécies de carvão vapor, metalúrgico, redutor e coque, enquanto que por Outros Gases deve-se entender todos os combustíveis gasosos com exceção do GLP e do gás natural.

De acordo com o modelo proposto no capítulo anterior existem três possíveis variáveis explanatórias na equação de energia útil total, e seis possíveis regressores em cada uma das equações de parcelas de mercado. Nos casos em que não foi possível levantar uma série histórica de preços para algum dos energéticos esse número foi reduzido, como nas equações de óleos pesados e eletricidade em Alimentos e Bebidas. (face à não disponibilidade de preços confiáveis para a lenha), onde só conseguimos quatro variáveis explanatórias candidatas, e apenas duas para a equação de lenha. O mesmo problema existiu nos segmentos de Química e Papel e Celulose, onde não obtivemos preços para Outros Gases e Lenha, respectivamente.

Associadas a cada um dos possíveis regressores nas equações de energia útil e parcelas de mercado podiam existir três variáveis mudas (variáveis "dummy") para captar comportamentos diferenciados entre as quatro sub-regiões estudadas, proporcionais aos valores das variáveis explanatórias. Nesse caso diz-se que as variáveis mudas são multiplicativas. É possível que num dado segmento industrial existisse diferenciação constante entre as sub-regiões, e nesse caso

utilizaram-se, então, variáveis mudas aditivas, num total de três possíveis em cada equação. Em ambos os casos o modelo foi aplicado de maneira a que a sub-região da CPFL servisse de referencial, não sendo portanto a ela atribuída explicitamente uma variável muda. Essas variáveis para as regiões da CESP, ELETROPAULO e Outras são designadas por D_2 , D_3 e D_4 , respectivamente, no caso de variáveis mudas aditivas, e D_2^I , D_3^I , D_4^I , no caso das variáveis mudas multiplicativas, onde i assume valores de I a III nas equações de energia útil total, e de I a VI nas equações de parcelas de mercado.

As equações de energia útil total para cada uma das sub-regiões estudadas, com as respectivas variáveis mudas, estão apresentadas a seguir:

Região da CPFL:

$$\ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kjt} = \beta_{01} + \beta_{11} \ln(PE)_{kjt} + \beta_{21} \ln \left(\frac{\Delta K}{VA} \right)_{kjt} + \beta_{31} \ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kj(t-1)} \quad (4.1)$$

Região da CESP:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kjt} = & \beta_{01} + \beta_{02} D_2 + (\beta_{11} + \beta_{12} D_2^I) \ln(PE)_{kjt} + (\beta_{21} + \beta_{22} D_2^{II}) \\ & \ln \left(\frac{\Delta K}{VA} \right)_{kjt} + (\beta_{31} + \beta_{32} D_2^{III}) \ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kj(t-1)} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Região da ELETROPAULO:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kjt} = & \beta_{01} + \beta_{03} D_3 + (\beta_{11} + \beta_{13} D_3^I) \ln(PE)_{kjt} + (\beta_{21} + \beta_{23} D_3^{II}) \\ & \ln \left(\frac{\Delta K}{VA} \right)_{kjt} + (\beta_{31} + \beta_{33} D_3^{III}) + \ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kj(t-1)} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Região Outras:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kjt} = & \beta_{01} + \beta_{04} D_4 + (\beta_{11} + \beta_{14} D_4^I) \ln(PE)_{kjt} + (\beta_{21} + \beta_{24} D_4^{II}) \\ & \ln \left(\frac{\Delta K}{VA} \right)_{kjt} + (\beta_{31} + \beta_{34} D_4^{III}) \ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kj(t-1)} \end{aligned} \quad (4.4)$$

De maneira análoga escrevem-se as equações de parcelas de mercado:

Região da CPFL:

$$\begin{aligned}
 S_{ijt} = & \beta_{01} + \beta_{11} \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} + \beta_{21} \frac{P_{ijt}/P_{Ijt} - P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} \\
 & + \beta_{31} \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} + \beta_{41} \frac{P_{ijt}/P_{IIjt} - P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} \\
 & + \beta_{51} \ln(VA^*)_{jt} + \beta_{61} S_{ij(t-1)} \quad (4.5)
 \end{aligned}$$

Região da CESP:

$$\begin{aligned}
 S_{ijt} = & \beta_{01} + \beta_{02} D_2 + (\beta_{11} + \beta_{12} D_2^I) \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} + \\
 & + (\beta_{21} + \beta_{22} D_2^{II}) \frac{P_{ijt}/P_{Ijt} - P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} \\
 & + (\beta_{31} + \beta_{32} D_2^{III}) \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} + (\beta_{41} + \beta_{42} D_2^{IV}) \\
 & \frac{P_{ijt}/P_{IIjt} - P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} + \\
 & + (\beta_{51} + \beta_{52} D_2^V) \ln(VA^*)_{jt} + (\beta_{61} + \beta_{62} D_2^{VI}) S_{ij(t-1)} \quad (4.6)
 \end{aligned}$$

Região da ELETROPAULO:

$$\begin{aligned}
 S_{ijt} = & \beta_{01} + \beta_{03}D_3 + (\beta_{11} + \beta_{13}D_3^I) \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} + \\
 & + (\beta_{21} + \beta_{23}D_3^{II}) \frac{P_{ijt}/P_{Ijt} - P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} \\
 & + (\beta_{31} + \beta_{33}D_3^{III}) \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} + (\beta_{41} + \beta_{43}D_3^{IV}) \\
 & \frac{P_{ijt}/P_{IIjt} - P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} + \\
 & + (\beta_{51} + \beta_{53}D_3^V) \ln(VA^*)_{jt} + (\beta_{61} + \beta_{63}D_3^{VI}) S_{ij(t-1)} \quad (4.7)
 \end{aligned}$$

Região Outras:

$$\begin{aligned}
 S_{ijt} = & \beta_{01} + \beta_{04}D_4 + (\beta_{11} + \beta_{14}D_4^I) \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} \\
 & + (\beta_{21} + \beta_{24}D_4^{II}) \frac{P_{ijt}/P_{Ijt} - P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{Ij(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_I}\right)_{jt} \\
 & + (\beta_{31} + \beta_{34}D_4^{III}) \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} + (\beta_{41} + \beta_{44}D_4^{IV}) \\
 & \frac{P_{ijt}/P_{IIjt} - P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}}{P_{ij(t-1)}/P_{IIj(t-1)}} \ln\left(\frac{P_i}{P_{II}}\right)_{jt} \\
 & + (\beta_{51} + \beta_{54}D_4^V) \ln(VA^*)_{jt} + (\beta_{61} + \beta_{64}D_4^{VI}) S_{ij(t-1)} \quad (4.8)
 \end{aligned}$$

Deve-se ressaltar que nos sub-setores de Metalurgia, Química e Papel e Celulose trabalhamos apenas com três sub-regiões, face a não existência de instalações industriais do gênero na região denominada como Outras, ou devido a inconsistência das informações disponíveis. Nessas condições, todas as equações desses três segmentos tiveram apenas duas variáveis mudas aditivas possíveis, mais duas variáveis mudas multiplicativas possíveis por regressor.

Computacionalmente, as equações de regressão para energia útil total foram ajustadas à base de dados anteriormente construída, escolhendo-se nesse procedimento as taxas de declínio geométrico ideais e eliminando-se os regressores que mostraram ter baixo poder explanatório ou que foram teoricamente inconsistentes. Nessa etapa utilizou-se o método de Mínimos Quadrados Simples. As equações assim obtidas são as equações definitivas dentro do modelo. Essas equações para os seis segmentos industriais estudados estão apresentadas em sua forma final na tabela 04.

Já quanto às equações de parcelas de mercado, o procedimento não é tão simples. É interessante notar que no processo de escolha dos regressores para cada uma das três equações desse sistema, já é preciso observar as restrições que garantem a consistência do modelo, e que foram descritas no capítulo anterior. No ajuste das equações de regressão por Mínimos Quadrados Simples, que é o primeiro passo do procedimento de obtenção dos coeficientes das equações de parcelas de mercado, cada uma das três equações é ajustada de forma independente das outras. O passo seguinte é a imposição de igualdade entre os coeficientes de alguns regressores dessas equações, o que é feito através do ajuste computacional de uma única equação de regressão, ainda por Mínimos Quadrados Simples, à base combinada de dados.

Tomemos o sub-setor de Alimentos e Bebidas para exemplificação do procedimento. O primeiro passo, que consiste no ajuste independente das três equações, levou-nos a obter as relações de parcelas de mercado apresentadas na tabela 05.

A imposição de igualdade entre coeficientes de algumas variáveis explanatórias de diferentes equações é feita de acordo com o procedimento geral descrito no capítulo anterior, sendo possível então identificar os coeficientes dos regressores de cada uma das equações do sistema. Para o segmento industrial de Alimentos e Bebidas, essas relações estão apresentadas na tabela 06. Deve-se ressaltar que neste passo do procedimento perde-se a significância do

TABELA 04

COEFICIENTES DOS REGRESSORES DAS EQUAÇÕES DE ENERGIA ÚTIL TOTAL

Sub-Setor	Intersecção	$\ln (P_E)_{kjt}$	$\ln \left(\frac{\Delta K}{VA} \right)_{kjt}$	$\ln \left(\frac{E}{VA} \right)_{kj(t-1)}$
Metalurgia G.L. = 11 $\bar{R}^2 = 99,8\%$ F = 637,01%	B_0^1	B_1^1	B_2^1	B_3^1
	B_0^{20}	B_1^{20}	B_2^{20}	B_3^{20}
	B_0^{30}	B_1^{30}	B_2^{30}	B_3^{30}
	B_0^{40}	B_1^{40}	B_2^{40}	B_3^{40}
Alimentos e Bebidas G.L. = 15 $\bar{R}^2 = 99,0\%$ F = 131,96%	B_0^1	B_1^1	B_2^1	B_3^1
	B_0^{20}	B_1^{20}	B_2^{20}	B_3^{20}
	B_0^{30}	B_1^{30}	B_2^{30}	B_3^{30}
	B_0^{40}	B_1^{40}	B_2^{40}	B_3^{40}
Química G.L. = 11 $\bar{R}^2 = 99,4\%$ F = 216,96%	B_0^1	B_1^1	B_2^1	B_3^1
	B_0^{20}	B_1^{20}	B_2^{20}	B_3^{20}
	B_0^{30}	B_1^{30}	B_2^{30}	B_3^{30}
	B_0^{40}	B_1^{40}	B_2^{40}	B_3^{40}
Minerais não metálicos G.L. = 15 $\bar{R}^2 = 99,5\%$ F = 238,91	B_0^1	B_1^1	B_2^1	B_3^1
	B_0^{20}	B_1^{20}	B_2^{20}	B_3^{20}
	B_0^{30}	B_1^{30}	B_2^{30}	B_3^{30}
	B_0^{40}	B_1^{40}	B_2^{40}	B_3^{40}
Papel e Celulose G.L. = 11 $\bar{R}^2 = 95,6\%$ F = 27,68	B_0^1	B_1^1	B_2^1	B_3^1
	B_0^{20}	B_1^{20}	B_2^{20}	B_3^{20}
	B_0^{30}	B_1^{30}	B_2^{30}	B_3^{30}
	B_0^{40}	B_1^{40}	B_2^{40}	B_3^{40}
Têxtil G.L. = 12 $\bar{R}^2 = 99,8\%$ F = 783,66	B_0^1	B_1^1	B_2^1	B_3^1
	B_0^{20}	B_1^{20}	B_2^{20}	B_3^{20}
	B_0^{30}	B_1^{30}	B_2^{30}	B_3^{30}
	B_0^{40}	B_1^{40}	B_2^{40}	B_3^{40}

TABELA 05

SUB-SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS - EQUAÇÕES DE PARCELA DE MERCADO SEM IMPOSIÇÃO DE IGUALDADE ENTRE OS COEFICIENTES

Energético

Óleos Pesados (S _{opt})	$S_{opt} = 0,700361 - 0,055059 D_2^I \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - 0,111340 D_3^I \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t + 0,058570 D_4^{II} \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t \frac{\left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_{t-1}}{\left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_{t-1}}$			
	(0,008174)	(0,007717)	(0,029870)	(0,023270)
	$- 0,314490 D_3^{VI} S_{op(t-1)}$			
	(0,073660)			
	$R^2 = 88,3\%$ $\bar{R}^2 = 85,2\%$ $G.L. = 15$			

Eletricidade (S _{elt})	$S_{elt} = 0,229202 - 0,030525 D_2^I \ln \left(\frac{P_{el}}{P_{op}} \right)_t - 0,080060 D_3^I \ln \left(\frac{P_{el}}{P_{op}} \right)_t - 0,057710 D_4^{II} \ln \left(\frac{P_{el}}{P_{op}} \right)_t \frac{\left(\frac{P_{el}}{P_{op}} \right)_t - \left(\frac{P_{el}}{P_{op}} \right)_{t-1}}{\left(\frac{P_{el}}{P_{op}} \right)_{t-1}}$			
	(0,005805)	(0,005373)	(0,018930)	(0,026840)
	$- 0,088630 D_3^V \ln (VA^*)_{(\lambda = 0,9)_t}$			
	(0,015760)			
	$R^2 = 89,6\%$ $\bar{R}^2 = 86,8\%$ $G.L. = 15$			

Lenha (S _{let})	$S_{let} = 0,189680 - 0,038588 D_2 - 0,049807 D_3 + 0,067140 \ln (VA^*)_{(\lambda = 0,9)_t}$			
	(0,082290)	(0,007302)	(0,007302)	(0,040070)
	$R^2 = 78,8\%$ $\bar{R}^2 = 74,8\%$ $G.L. = 16$			

Desvios-padrão entre parênteses.

R^2 = Coeficiente de correlação múltipla.

$\bar{R}^2$ = Coeficientes de correlação múltipla corrigido para o número de graus de liberdade.

G.L. = Graus de liberdade da equação ajustada.

SUB-SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS - EQUAÇÕES DE PARCELAS DE MERCADO COM IMPOSIÇÃO DE IGUALDADE ENTRE OS COEFICIENTES - AJUSTE PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS SIMPLES

Energético	
Óleos Pesados (S _{opt})	$S_{opt} = 0,702400 - 0,047033 D_2^I \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - 0,093880 D_3^I \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t + 0,040150 D_4^{II} \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - \frac{\left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_{t-1}}{\left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_{t-1}}$ $(0,136512) \quad (0,005042) \quad (0,019585) \quad (0,018406)$ $-0,276080 D_3^{VI} S_{op}(t-1)$ $(0,049719)$
Eletricidade (S _{elt})	$S_{elt} = 0,245900 - 0,047033 D_2^I \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - 0,093880 D_3^I \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t + 0,040150 D_4^{II} \ln \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - \frac{\left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_t - \left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_{t-1}}{\left(\frac{P_{op}}{P_{el}} \right)_{t-1}}$ $(0,093912) \quad (0,003469) \quad (0,013475) \quad (0,012663)$ $- 0,091480 D_3^V \ln (VA^*) (\lambda = 0,9)_t$ $(0,011455)$
Lenha (S _{let})	$S_{let} = 0,189700 - 0,038590 D_2 - 0,049810 D_3 + 0,067140 \ln (VA^*) (\lambda = 0,9)_t$ $(0,079760) \quad (0,007078) \quad (0,007078) \quad (0,038836)$

coeficiente de correlação múltipla, $\bar{R}^2$, e do parâmetro estatístico F como instrumentos de medida da qualidade do ajuste efetuado em cada equação de parcela de mercado, motivo pelo qual não são mais apresentados.

Como citamos no capítulo 3, pode-se resolver esse sistema de equações de regressão também através do método de Mínimos Quadrados Generalizado de Zellner. Nesse trabalho optamos pela aplicação de ambos os métodos de solução ao conjunto de equações. A seleção final de um desses critérios baseou-se na análise: (i) dos ajustes obtidos, (ii) da normalidade da distribuição dos resíduos, e (iii) do grau de correlação dos resíduos com as variáveis da equação. É interessante mencionar que em nenhum dos casos verificou-se uma supremacia flagrante de um dos métodos sobre o outro. No caso das indústrias de Alimentos e Bebidas optamos pelo ajuste obtido por Mínimos Quadrados Simples.

Nas tabelas 07 a 09 estão apresentados os coeficientes das equações finais de parcelas de mercado para os seis segmentos industriais estudados.

4.2. O Cenário Básico

Definidas as equações de regressão de energia útil total e parcelas de mercado para todos os sub-setores industriais, a etapa seguinte no procedimento de aplicação do modelo consiste na definição de um cenário de evolução dos diversos parâmetros associados a ele, dentro do horizonte de planejamento.

Em primeiro lugar, optamos por estabelecer projeções da demanda de energia até o ano de 1990. Como a base de dados se restringe a uma série histórica de cinco anos (1977 a 1981), é de se esperar que surjam problemas de precisão nos resultados dos últimos anos do período de projeção, que é de nove anos. Tal procedimento, no entanto, permite a verificação da precisão do modelo quando da substituição de alguns dos valores reais das variáveis do modelo, verificadas de 1982 a 1985. Estabeleceu-se um exercício de projeção propriamente dito de 1986 a 1990.

Para os anos de 1982 a 1985 dispúnhamos apenas dos preços dos energéticos com valores exatos, uma vez que não pudemos obter a tempo os dados de valor de transformação industrial e inversões de capital do IBGE.

Na determinação da evolução do valor de transformação in

TABELA 07 - COEFICIENTES DOS REGRESSORES DAS EQUAÇÕES DE PARCELAS DE MERCADO - SUB-SETORES DE METALURGIA E ALIMENTOS E BEBIDAS

Sub-Sector	Energético	Interseção	$\Delta n \left(\frac{P_i}{P_I} \right)_{jt}$	$\left[\frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t}} \cdot \frac{P_{i,t-1}}{P_{i,t-1}} \right]_{jt}$	$\Delta n \left(\frac{P_i}{P_I} \right)_{jt}$	$\Delta n \left(\frac{P_i}{P_I} \right)_{jt}$	$\left[\frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t}} \cdot \frac{P_{i,t-1}}{P_{i,t-1}} \right]_{jt}$	$\Delta n \left(\frac{P_i}{P_I} \right)_{jt}$	$S_{ij}(t-1)$
Metalurgia Solução por Zellner	Carvão Mineral (i) $\lambda = 0,2$	B_0^1 [0,023422 (0,004374)]	B_1^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_2^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1		B_3^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_4^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_5^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_6^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1
		B_0^2 [0,023422 (0,005842)]	B_1^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_2^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2		B_3^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_4^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_5^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_6^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2
		B_0^3 [0,023422 (0,005842)]	B_1^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_2^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3		B_3^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_4^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_5^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_6^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3
		B_0^4 [0,023422 (0,005842)]	B_1^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_2^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4		B_3^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_4^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_5^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_6^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4
Metalurgia Solução por Zellner	Eletricidade (I) $\lambda = 0,9$	B_0^1 [0,023422 (0,004374)]	B_1^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_2^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1		B_3^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_4^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_5^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_6^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1
		B_0^2 [0,023422 (0,005842)]	B_1^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_2^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2		B_3^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_4^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_5^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_6^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2
		B_0^3 [0,023422 (0,005842)]	B_1^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_2^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3		B_3^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_4^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_5^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_6^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3
		B_0^4 [0,023422 (0,005842)]	B_1^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_2^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4		B_3^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_4^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_5^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_6^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4
Alimentos e Bebidas Solução por Mínimos Quadrados Simples	Óleos Pesados (i) $\lambda = 0,5$	B_0^1 [0,023422 (0,004374)]	B_1^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_2^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1		B_3^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_4^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_5^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_6^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1
		B_0^2 [0,023422 (0,005842)]	B_1^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_2^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2		B_3^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_4^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_5^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_6^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2
		B_0^3 [0,023422 (0,005842)]	B_1^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_2^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3		B_3^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_4^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_5^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_6^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3
		B_0^4 [0,023422 (0,005842)]	B_1^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_2^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4		B_3^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_4^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_5^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_6^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4
Alimentos e Bebidas Solução por Mínimos Quadrados Simples	Eletricidade (I) $\lambda = 0,9$	B_0^1 [0,023422 (0,004374)]	B_1^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_2^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1		B_3^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_4^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_5^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1	B_6^1 B_{20}^1 B_{30}^1 B_{40}^1
		B_0^2 [0,023422 (0,005842)]	B_1^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_2^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2		B_3^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_4^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_5^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2	B_6^2 B_{20}^2 B_{30}^2 B_{40}^2
		B_0^3 [0,023422 (0,005842)]	B_1^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_2^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3		B_3^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_4^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_5^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3	B_6^3 B_{20}^3 B_{30}^3 B_{40}^3
		B_0^4 [0,023422 (0,005842)]	B_1^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_2^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4		B_3^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_4^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_5^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4	B_6^4 B_{20}^4 B_{30}^4 B_{40}^4

Devido ao padrão entre parênteses

TABELA 08 - COEFICIENTES DOS REGRESSORES DAS EQUAÇÕES DE PARCELAS DE MERCADO
SUB-SETORES QUÍMICA E MINERAIS NÃO METÁLICOS

Sub-Sector	Energético	Intersecção	$ln(\frac{P_i}{P_I})_{jt}$	$\left[\frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t}} \cdot \frac{P_{I,t-1}}{P_{I,t}} \right]$	$ln(\frac{P_i}{P_I})_{jt}$	$ln(\frac{P_i}{P_I})_{jt}$	$\left[\frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t}} \cdot \frac{P_{I,t-1}}{P_{I,t}} \right]$	$ln(\frac{P_i}{P_I})_{jt}$	$ln(VAR)_{jt}$	$S_{ij}(t-1)$
Química Soluções por Zellner	Óleos Pesados (I) $\lambda = 0,4$	$B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$ [0,780514 (0,006805) [-0,201435 (0,010783) [0,292646 (0,012653) [-0,108492 (0,021356) $B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$	$B_{1,1}$ $B_{1,2}$ $B_{1,3}$ $B_{1,4}$	$B_{2,1}$ $B_{2,2}$ $B_{2,3}$ $B_{2,4}$	$B_{3,1}$ $B_{3,2}$ $B_{3,3}$ $B_{3,4}$	$B_{4,1}$ $B_{4,2}$ $B_{4,3}$ $B_{4,4}$	$B_{5,1}$ $B_{5,2}$ $B_{5,3}$ $B_{5,4}$	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$	[0,437003 (0,029601)	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$
	Eleticidade (I)	$B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$	$B_{1,1}$ $B_{1,2}$ $B_{1,3}$ $B_{1,4}$	$B_{2,1}$ $B_{2,2}$ $B_{2,3}$ $B_{2,4}$	$B_{3,1}$ $B_{3,2}$ $B_{3,3}$ $B_{3,4}$	$B_{4,1}$ $B_{4,2}$ $B_{4,3}$ $B_{4,4}$	$B_{5,1}$ $B_{5,2}$ $B_{5,3}$ $B_{5,4}$	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$	[0,617955 (0,025997)	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$
	Outros Gases (II)	$B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$	$B_{1,1}$ $B_{1,2}$ $B_{1,3}$ $B_{1,4}$	$B_{2,1}$ $B_{2,2}$ $B_{2,3}$ $B_{2,4}$	$B_{3,1}$ $B_{3,2}$ $B_{3,3}$ $B_{3,4}$	$B_{4,1}$ $B_{4,2}$ $B_{4,3}$ $B_{4,4}$	$B_{5,1}$ $B_{5,2}$ $B_{5,3}$ $B_{5,4}$	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$	[0,112430 (0,002552)	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$
	$\lambda = 0,9$	$B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$	$B_{1,1}$ $B_{1,2}$ $B_{1,3}$ $B_{1,4}$	$B_{2,1}$ $B_{2,2}$ $B_{2,3}$ $B_{2,4}$	$B_{3,1}$ $B_{3,2}$ $B_{3,3}$ $B_{3,4}$	$B_{4,1}$ $B_{4,2}$ $B_{4,3}$ $B_{4,4}$	$B_{5,1}$ $B_{5,2}$ $B_{5,3}$ $B_{5,4}$	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$		
Minerais não Me- tálicos Solução por Zellner	Óleos Pesados (I)	$B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$ [0,526579 (0,019618) [0,069545 (0,015987) $B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$	$B_{1,1}$ $B_{1,2}$ $B_{1,3}$ $B_{1,4}$	$B_{2,1}$ $B_{2,2}$ $B_{2,3}$ $B_{2,4}$	$B_{3,1}$ $B_{3,2}$ $B_{3,3}$ $B_{3,4}$	$B_{4,1}$ $B_{4,2}$ $B_{4,3}$ $B_{4,4}$	$B_{5,1}$ $B_{5,2}$ $B_{5,3}$ $B_{5,4}$	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$	[0,017293 (0,003177)	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$
	Eleticidade (I)	$B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$ [0,378174 (0,019264) [-0,078977 (0,015477) $B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$	$B_{1,1}$ $B_{1,2}$ $B_{1,3}$ $B_{1,4}$	$B_{2,1}$ $B_{2,2}$ $B_{2,3}$ $B_{2,4}$	$B_{3,1}$ $B_{3,2}$ $B_{3,3}$ $B_{3,4}$	$B_{4,1}$ $B_{4,2}$ $B_{4,3}$ $B_{4,4}$	$B_{5,1}$ $B_{5,2}$ $B_{5,3}$ $B_{5,4}$	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$		
	Carvão Mineral (II)	$B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$ [0,000192 (0,001709) [0,008950 (0,003432) $B_{0,1}$ $B_{0,2}$ $B_{0,3}$ $B_{0,4}$	$B_{1,1}$ $B_{1,2}$ $B_{1,3}$ $B_{1,4}$	$B_{2,1}$ $B_{2,2}$ $B_{2,3}$ $B_{2,4}$	$B_{3,1}$ $B_{3,2}$ $B_{3,3}$ $B_{3,4}$	$B_{4,1}$ $B_{4,2}$ $B_{4,3}$ $B_{4,4}$	$B_{5,1}$ $B_{5,2}$ $B_{5,3}$ $B_{5,4}$	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$	[0,017293 (0,003177)	$B_{6,1}$ $B_{6,2}$ $B_{6,3}$ $B_{6,4}$
										[1,576590 (0,007513)

Desvios-padrão entre parênteses

TABELA 09: COEFICIENTES DOS REGRESSORES DAS EQUAÇÕES DE PARCELAS DE MÉR-
CADO - SUB-SETORES PAPEL E CELULOSE E TÊXTIL

Sub-Sector	Energético	Interação	$\ln \left(\frac{P_i}{P_I} \right)_{jt}$	$\left[\frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t} P_{i,t-1}} \right]_{jt}$	$\ln \left(\frac{P_i}{P_I} \right)_{jt}$	$\left[\frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t} P_{i,t-1}} \right]_{jt}$	$\ln (VA)_{jt}$	$S_{ij}(t-1)$
Papel e Celulose	Óleos Pesados I $\lambda = 0,4$	β_0 [0,659262 (0,017170)]	β_1 [-0,106960 (0,011100)]	β_2 [-0,024810 (0,013735)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,021224)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,021224)]	β_5 [-0,050620 (0,013162)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,021224)]
		β_0 [0,292502 (0,012452)]	β_1 [-0,106960 (0,008542)]	β_2 [-0,024810 (0,010570)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,016335)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,016335)]	β_5 [0,037250 (0,010129)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,010129)]
		β_0 [0,292502 (0,012452)]	β_1 [-0,106960 (0,008542)]	β_2 [-0,024810 (0,010570)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,016335)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,016335)]	β_5 [0,037250 (0,010129)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,010129)]
		β_0 [0,292502 (0,012452)]	β_1 [-0,106960 (0,008542)]	β_2 [-0,024810 (0,010570)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,016335)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,016335)]	β_5 [0,037250 (0,010129)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,010129)]
Têxtil	Óleos Pesados I $\lambda = 0,5$	β_0 [0,40030 (0,024192)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,087105 (0,010049)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,010049)]
		β_0 [0,40030 (0,024192)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,087105 (0,010049)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,010049)]
		β_0 [0,40030 (0,024192)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,087105 (0,010049)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,010049)]
		β_0 [0,40030 (0,024192)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,087105 (0,010049)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,010049)]
Solução por Zellner	Elettricidade I $\lambda = 0,2$	β_0 [0,507362 (0,025096)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,064999 (0,008963)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,008963)]
		β_0 [0,507362 (0,025096)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,064999 (0,008963)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,008963)]
		β_0 [0,507362 (0,025096)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,064999 (0,008963)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,008963)]
		β_0 [0,507362 (0,025096)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,064999 (0,008963)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,008963)]
	Óleos Leves II $\lambda = 0,1$	β_0 [0,109013 (0,014550)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,055908 (0,011181)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,011181)]
		β_0 [0,109013 (0,014550)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,055908 (0,011181)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,011181)]
		β_0 [0,109013 (0,014550)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,055908 (0,011181)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,011181)]
		β_0 [0,109013 (0,014550)]	β_1 [-0,060996 (0,014050)]	β_2 [-0,060996 (0,014050)]	β_3 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_4 [0,20 2 [0,071260 (0,031271)]	β_5 [-0,055908 (0,011181)]	β_6 [0,20 2 [0,071260 (0,011181)]

Desvios-padrão entre parênteses

dustrial no período de 1982 a 1984, concluímos pela aplicação das taxas médias de crescimento do índice de atividade por sub-setor da Fundação IBGE (FIBGE), no período em questão. Os valores utilizados estão relacionados na Tabela 10.

TABELA 10

TAXAS MÉDIAS DE CRESCIMENTO DO ÍNDICE DE ATIVIDADE
POR SUB-SETOR INDUSTRIAL NO PERÍODO 1981-1984

Sub-setor Industrial	Taxas Percentuais de Crescimento
Metalurgia	2,67% ao ano
Alimentos	2,73% ao ano
Química	0,70% ao ano
Minerais não Metálicos	-5,63% ao ano
Papel e Celulose	3,47% ao ano
Têxtil	-4,97% ao ano

FONTE: FIBGE/Conjuntura Econômica

Para o período 1985-1990, a hipótese de evolução do valor de transformação industrial formulada baseia-se em comparações efetuadas, para o período anterior a 1982, entre as informações de valor agregado e o PIB nacional. Verificou-se que para os sub-setores de Alimentos e Bebidas, Papel e Celulose e Têxtil, a evolução do valor de transformação foi muito próxima das taxas de crescimento da economia nacional como um todo. O mesmo comportamento, no entanto, não foi encontrado quando da análise dos segmentos de Metalurgia, Minerais não Metálicos e Química, sendo os dois primeiros afetados pelos primeiros sinais da recessão econômica, e o último pelos efeitos benéficos da política governamental de capacitação do país na área química.

Em vista dessas observações a hipótese de evolução do valor de transformação industrial estabelece taxas de crescimento iguais às taxas de crescimento do PIB para as indústrias alimentícias, de papel e celulose e têxteis. Para os demais segmentos industriais, foram estabelecidas algumas diferenciações em relação ao crescimento médio da economia seja porque preve-se que alguns setores deverão ter maior participação no processo de retomada do crescimento, como é o caso da indústria química, seja porque, imaginou-se uma certa inércia no reaquecimento dos investimentos em construção civil, in-

dústria naval e indústrias em geral.

As hipótese de evolução da economia nacional estão fundamentadas no "Cenário de Retomada do Crescimento da Economia Brasileira", formulado pelo BNDES [1985]. Optamos por utilizar essa referência por ser esse o mais recente trabalho do gênero, e por concordarmos com suas projeções econômicas para os próximos anos.

Na tabela 11 são apresentadas as taxas de crescimento anual do valor de transformação industrial utilizadas em cada um dos seis sub-setores industriais estudados. Cabe ressaltar que os dados do PIB de 1982 a 1985 são os valores reais observados.

TABELA 11

TAXAS PERCENTUAIS DE CRESCIMENTO ANUAL DO VALOR DE
TRANSFORMAÇÃO INDUSTRIAL

	PIB	Metalurgia	Alimentos	Química	M.n.Metá licos	Papel/ Cel.	Têxtil
1982	0,9	-0,3	1,7	-0,2	0,7	0,0	1,0
1983	-3,2	-5,4	8,1	-8,2	-14,8	3,3	-8,2
1984	4,5	13,7	-1,6	10,5	-2,8	7,1	-7,7
1985	8,3	8,3	8,3	10,3	4,3	8,3	8,3
1986	8,5	7,5	8,5	10,5	6,5	8,5	8,5
1987	7,0	7,0	7,0	9,0	7,0	7,0	7,0
1988	8,0	8,0	8,0	10,0	8,0	8,0	8,0
1989	8,0	8,0	8,0	10,0	8,0	8,0	8,0
1990	9,0	9,0	9,0	11,0	9,0	9,0	9,0

Para determinarmos a evolução dos investimentos nos segmentos industriais considerados, adotamos um procedimento semelhante ao aplicado aos dados de valor de transformação industrial. No período 1982-1984 estabelecemos a hipótese de crescimento médio anual de 0,15% sobre a média dos valores de inversão de capital nos anos de 1980 e 1981, para todos os sub-setores. Na falta de informações mais detalhadas que nos possibilitassem a definição de um padrão mais preciso de evolução desse parâmetro, optamos por homogeneizar o comportamento sub-setorial, atribuindo a estes a taxa média de crescimento do nível de investimentos na economia brasileira no período 1981-1984 [BNDES, 1985].

Para o período 1985-1990 consideramos que os sub-setores

de Alimentos e Bebidas, Papel e Celulose e Têxtil devam apresentar crescimentos percentuais dos níveis de investimento real idênticos às taxas apresentadas pelo BNDES para a economia como um todo no cenário de retomada de crescimento [BNDES, 1985].

Já para os segmentos de Química, Metalurgia e Minerais não metálicos, da mesma forma quando do estabelecimento de níveis de crescimento para o valor de transformação industrial, imaginamos diferenciação em relação ao padrão geral da economia. Para o setor químico partimos do princípio que este deverá ser um dos carros-chefe da economia nacional, motivo pelo qual a ele são atribuídas taxas superiores às taxas médias previstas pelo BNDES a partir de 1986. Para as indústrias de Minerais não metálicos e Metalurgia partimos da consideração de que existirá capacidade ociosa nos primeiros instantes do processo de retomada do crescimento econômico, e assim os investimentos reais nesses sub-setores industriais deverão crescer progressivamente até atingirem as taxas médias esperadas para a economia como um todo.

As taxas de crescimento dos investimentos reais nos seis sub-setores industriais estudados considerados na elaboração desse cenário estão apresentadas na tabela 12.

TABELA 12

TAXAS PERCENTUAIS DE CRESCIMENTO ANUAL DOS INVESTIMENTOS

	Metalurgia	Alimentos	Química	M.n.Metálicos	Papel/ Cel.	Têxtil
1982	0,15	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15
1983	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
1984	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
1985	8,00	10,00	10,00	8,00	10,00	10,00
1986	11,30	13,30	14,30	11,30	13,30	13,30
1987	7,00	7,00	8,50	7,00	7,00	7,00
1988	12,70	13,70	14,70	12,70	13,70	13,70
1989	14,60	14,60	15,00	14,60	14,60	14,60
1990	13,70	13,70	14,00	13,70	13,70	13,70

O último fator de constituição do cenário básico de evolução econômica a ser analisado é o conjunto de preços dos principais energéticos do setor industrial. Cabe lembrar que na implantação do

modelo não consideramos os preços da lenha e de "outros gases" pela impossibilidade de acesso às séries históricas de seus preços.

No cálculo de preços para os óleos pesados assumimos sempre a igualdade com o preço do óleo combustível tipo A (BPF), mesmo sabendo que estamos incorrendo em pequenos erros nos últimos anos face à maior penetração dos óleos ultra-viscosos, de preço de venda mais reduzido. Para os óleos leves no sub-setor têxtil assumimos um fator de ponderação entre os preços de óleo diesel e querosene igual à ponderação do consumo energético desses dois combustíveis no ano de 1981. No caso do carvão mineral, utilizamos os preços do CE-4500 de Santa Catarina por ser o único para o qual tínhamos uma série completa de preços. Finalmente, para o caso da eletricidade, o cálculo do valor da tarifa foi feito a partir dos valores conhecidos das tarifas de consumo e demanda e considerações de fator de carga de parte das instalações industriais, que determinam o sub-grupo e em última análise o preço da energia elétrica, para os vários segmentos de indústrias nas várias sub-regiões. Essas considerações estão baseadas em dados e informações da CPFL [1982]. Na tabela 13 estão apresentadas as hipóteses assumidas no cálculo dos preços de energia elétrica.

Para o período 1982-1986 utilizamos os valores reais de venda desses energéticos, imaginando que durante todo o ano de 1986 esses preços mantenham-se congelados nos valores que tinham quando da decretação do pacote econômico. A partir de 1987, estabelecemos a hipótese de crescimento gradativo e uniforme dos preços de venda dos derivados de petróleo, de maneira a que em 1990 atinja-se o valor real verificado em 1981, quando estes atingiram o máximo nos últimos anos. Os preços da eletricidade e do carvão mineral para esse período foram calculados procurando-se manter inalterada a relação média de preços verificada de 1981 a 1985 entre esses energéticos e os derivados de petróleo competidores.

Um último comentário deve ser feito com relação ao preço esperado para venda do gás natural em São Paulo a partir de fins de 1987. Estabelecemos como procedimento básico a manutenção da relação de preços existente em 1986 entre o gás natural e óleos combustíveis nas indústrias do Estado do Rio de Janeiro.

Todos os dados dos parâmetros econômicos considerados dentro desse cenário básico estão apresentados na forma de tabelas no anexo B.

TABELA 13

FATOR DE CARGA E SUB-GRUPO PARA SUB-SETORES INDUSTRIAIS

Sub-setor		CPFL	CESP	ELETRIPAULO	OUTROS
Metalurgia	Fator de carga	0,62	0,43	0,75	--
	Sub-grupo	$0,16A_2 + 0,54 \frac{(A_3 + A_4)^*}{2}$	$(A_3 + A_4)/2$	$0,75A_2 + 0,25(A_3 + A_4)/2^*$	--
Alimentos	Fator de carga	0,40	0,40	0,40	0,40
	Sub-grupo	A_4	A_4	A_4	A_4
Química	Fator de carga	0,37	0,37	0,37	--
	Sub-grupo	$(A_3 + A_4)/2$	$(A_3 + A_4)/2$	$(A_3 + A_4)/2$	--
M.n.Metálicos	Fator de carga	0,50	0,70	0,75	0,38
	Sub-grupo	$(A_3 + A_4)/2$	A_3	$(A_2 + A_3)/2$	A_4
Papel e Celulose	Fator de carga	0,62	0,62	0,62	--
	Sub-grupo	$(A_3 + A_4)/2$	$(A_3 + A_4)/2$	$(A_3 + A_4)/2$	--
Têxtil	Fator de carga	0,43	0,43	0,43	0,43
	Sub-grupo	A_4	A_4	A_4	A_4

* Devido à ponderação entre indústrias siderúrgicas e metalúrgicas.

4.3. As Projeções da Demanda de Energia e das Parcelas de Mercado

Seguindo a sequência de etapas do procedimento de aplicação do modelo, conforme descrito no terceiro capítulo desse trabalho, estamos agora em condições de estabelecer as projeções de parcelas de mercado e demanda de energia útil para os sub-setores estudados. Isso é feito através da substituição dos dados calculados a partir das hipóteses definidas no cenário básico nas equações de regressão.

Algumas considerações bastante importantes devem ser feitas com relação aos resultados da aplicação do modelo. A primeira delas diz respeito às distorções entre os valores projetados de demanda de energia útil total e os valores reais observados no período 1982-1984. Cabe ressaltar que tal fato era esperado uma vez que as equações de regressão foram determinadas sobre uma base de dados que refletia majoritariamente uma tendência econômica crescente, não sendo possível captar com maior precisão o comportamento da demanda energética ao longo dos anos de recessão.

Deve também ser realçada a dificuldade das equações econométricas refletirem a tendência de substituição entre formas energéticas, verificada no mesmo período, motivada por programas governamentais de incentivo (como foi o caso da eletrotermia), acordos institucionais (protocolos de substituição nas indústrias de cimento, siderúrgicas e de papel e celulose) e iniciativas individuais face a receios de elevação dos preços de alguns energéticos, ou restrições à oferta, e que motivaram uma maior penetração de formas de energia alternativas na matriz industrial.

Diante do exposto, optamos pela inserção no período 1982-1984 dos valores reais de consumo dos diversos insumos energéticos, ao invés das projeções fornecidas pelas equações. Essas correções basearam-se nas informações dos relatórios das Pesquisas de Consumo de Energia do CNP, para os anos de 1982, 1983 e 1984 e no Balanço Energético Estadual [Conselho Estadual de Energia - SP, 1986].

Os valores de consumo neste período das diversas formas de energia, com exceção da eletricidade, para cada sub-setor industrial no Estado, foram distribuídos entre as sub-regiões consideradas de acordo com o perfil de distribuição regional verificado em 1981. Para a energia elétrica foram feitas correções a partir dos consumos reais de 1981, incidindo-se a estas taxas anuais de crescimento calculadas a partir de dados do Balanço Energético Estadual.

Adotou-se tal procedimento face à impossibilidade de desagregação das informações obtidas junto ao CNP, e à não disponibilidade de dados de consumo de energia elétrica segundo a classificação empregada neste trabalho para o período 1982-1984.

Tomando por base as considerações efetuadas quando da elaboração do cenário básico de evolução econômica, imaginamos que a partir de 1985 as tendências de crescimento do consumo de energia obtidas a partir da aplicação das equações do modelo possam ser utilizadas sem incorrermos em erros maiores. Assim, a partir do perfil de demanda de energia de 1984, e das taxas de crescimento anual calculadas a partir das equações econométricas, estabelecemos uma nova projeção da demanda de energia útil total para cada sub-setor industrial. Essas projeções são definitivas dentro desse contexto, a menos dos segmentos industriais em que o índice de preço dos energéticos seja variável explanatória da demanda de energia total, face às razões que se expõe a seguir.

Outro ponto a ser destacado diz respeito à equação de energéticos residuais que deveria ter sido calculada a partir das três equações de parcelas de mercado em cada sub-setor industrial, e das restrições impostas ao modelo. No entanto, quando optamos pela eliminação nas equações de parcela de mercado de todas as variáveis explanatórias que se mostrassem teoricamente inconsistentes ou irrelevantes ao ajuste das equações, do ponto de vista estatístico, perdemos as condições necessárias ao cálculo das equações de energéticos residuais.

Tomando por exemplo as equações de parcelas de mercado do segmento de Alimentos e Bebidas, pode-se observar que a equação relativa à lenha é absolutamente independente das demais. Assim, as parcelas de mercado dos três principais energéticos veem a somar mais do que 100% em alguns anos do horizonte de projeção.

Esse problema pode ser mais ou menos relevante num dado segmento industrial dependendo de quão independente as equações de parcelas de mercado possam ser uma das outras, e das tendências de crescimento na participação de cada energético, determinadas pelas equações de regressão e pelas hipóteses consideradas no cenário.

Conforme prevê-se no modelo, esse inconveniente pode ser contornado efetuando-se correções nos resultados. No entanto, é importante realçar que essas correções devem ser feitas com muita cautela, de maneira a evitar resultados irrealistas.

Tomemos mais uma vez como exemplo as indústrias de Ali

mentos e Bebidas, em que no grupo de energéticos residuais estão insumos como resíduos de processo ou resíduos agrícolas, e com menor importância o carvão mineral, vapor adquirido e outros derivados de petróleo. O ajuste feito às parcelas de mercado procurou levar em conta o maior ou menor potencial de penetração desses insumos, com a preocupação de também avaliar outros fatores que pudessem afetar a incidência da lenha, eletricidade e óleos pesados, e que não puderam ser captados pelo modelo, tais como restrições à oferta de lenha, incentivo à eletrotermia e sua recente restrição face aos problemas de suprimento, e a esperada penetração do gás natural na matriz energética do Estado.

A hipótese básica estabelecida para as correções das parcelas de mercado dos energéticos residuais foi a de que em não havendo restrições previsíveis de oferta, estas parcelas deverão se manter, e eventualmente crescer, dentro do horizonte de planejamento. Dessa forma, para cada sub-setor industrial foram calculadas suas respectivas parcelas de incidência no mercado, de 1981 a 1984, e identificados os principais energéticos constituintes. Com base na análise desses parâmetros, efetuaram-se as correções.

Procedimento semelhante e simultâneo foi aplicado às séries projetadas de consumo de alguns energéticos, como a lenha nas indústrias de Papel e Celulose e o carvão mineral nas indústrias Metalúrgicas, que apresentavam algumas distorções.

Uma outra correção feita à série de parcelas de mercado projetada inicialmente diz respeito à substituição da eletricidade aplicada à eletrotermia. Essa correção deve-se ao fato de que as cargas que foram inseridas no sistema elétrico durante a época de fornecimento de energia elétrica a tarifas subsidiadas (1981-1984) se desativadas, via substituição por outro energético, poderão propiciar significativa redução na demanda de energia elétrica.

É certo que após o fim de 1986 quando vencem os contratos que garantem um fornecimento barato de energia elétrica, os usuários teriam que optar pela substituição em sua grande maioria. Além disso, devido ao atual grande risco de racionamento de eletricidade as empresas concessionárias tem oferecido a opção de substituição ainda em 1986, através do pagamento da despesa operacional adicional para uso de óleos pesados.

Não é fácil, de qualquer forma, saber quantas indústrias deverão optar pela substituição em 1986, ou mesmo em 1987. Adotamos como procedimento nesse trabalho a avaliação das cargas liga-

das em eletrotermia, por aplicação, por sub-setor e por sub-região em 1984. Consideramos que essas cargas não aumentaram substancialmente até 1986.

Estabelecemos, então, uma priorização na substituição, eliminando primeiramente os usos em geração de vapor, em secagens e fornalhas. Dessa forma, resguardamos as aplicações em fornos, por considerá-las mais eficientes e/ou racionais, especialmente nas indústrias de minerais não metálicos e indústrias metalúrgicas.

Finalmente, consideramos que toda a eletricidade a ser substituída empregada em eletrotermia, o será por óleos pesados. Essa é uma hipótese extremamente simplista que certamente não se verificará integralmente, uma vez que alguns empresários deverão optar pelo uso de outros combustíveis.

No entanto, face à absoluta impossibilidade de obter respostas precisas para uma série de questões relativas ao assunto, decidimos pelo procedimento que pode levar a distorções de menor monta.

Os resultados dessa substituição de eletricidade em aplicações térmicas por óleos pesados estão apresentados na tabela 14.

TABELA 14
ELETRICIDADE APLICADA EM ELETROTHERMIA, SUBSTITUÍDA POR
ÓLEOS PESADOS - Gcal ÚTIL

Sub-Setor		CPFL	CESP	ELETROPAULO	OUTROS
Metalurgia	1986			94.051	
	1987	5.951		357.394	
Alimentos	1986	36.695		53.139	
	1987	139.441	60.848	371.970	39.690
Química	1986			85.166	
	1987	50.352	37.978	323.633	
Minerais não metálicos	1986			5.456	
	1987	1.400	5.030	20.734	1.077
Papel e Celulose	1986			46.208	
	1987	71.081	59.883	175.592	
Têxtil	1986			65.528	
	1987	80.297	30.129	249.007	3.192

O último ponto a ser destacado dentro das correções das séries de consumo projetadas é aquele que se refere à penetração do gás natural na matriz energética do Estado de São Paulo. De acordo com informações que pudemos apurar junto a diferentes fontes, nos parece plausível considerarmos até 1990 apenas o suprimento do gás proveniente da Bacia de Campos (RJ), descartando conseqüentemente dentro desse horizonte de planejamento as possibilidades de importação de gás natural da Bolívia e Argentina, e a exploração comercial do gás da Bacia de Santos (SP).

O gás natural de Campos deverá chegar à São Paulo em fins de 1987 ou início de 1988, quando deverão estar concluídas as obras do gasoduto Volta Redonda-Mauá. Prevê-se para o primeiro ano uma oferta de $600 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$, sendo que este montante poderá chegar a $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dia}$ em 1990, segundo acordo firmado entre a PETROBRÁS e a COMGÁS, ou até mesmo a $6 \text{ ou } 6,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dia}$, que deverá ser a vazão máxima do sistema de transporte.

É na priorização do consumo do gás natural que estão as maiores dificuldades para a realização de nossas correções. De acordo com a portaria do Ministério das Minas e Energia que define o elenco de prioridades, datada de agosto de 1986, o uso generalizado como substituto de combustíveis na Indústria é apenas a quinta delas, atrás das seguintes:

- reinjeção em poços de petróleo, produção de GLP e de gasolina natural;
- substituição do GLP de uso residencial, comercial, industrial e outros;
- utilização como matéria-prima na indústria petroquímica e de fertilizantes;
- substituição de óleo diesel nas frotas de ônibus urbanos e interurbanos, em frotas de serviço público, e em veículos de transporte de cargas.

É interessante notar que alguns dos estudos de priorização da demanda de gás natural nem sequer citam a possibilidade deste vir a ser utilizado como matéria-prima ou como substituto do óleo diesel em sistemas de transporte.

De acordo com o Engenheiro Diomedes Christodoulou, consultor da COMGÁS, é possível que até 1990 toda oferta de gás natural para o Estado de São Paulo seja consumida exclusivamente na região da Grande São Paulo, preferencialmente em instalações residenciais,

comerciais e industriais atualmente ligadas à linha de distribuição de gás de nafta.

Tomando por base as informações recolhidas, é possível estabelecer grupos de prioridades de uso do gás natural nos anos de 1988 e 1990. Para 1988, em que é prevista uma disponibilidade de $600 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$, estima-se a demanda residencial e comercial em $310 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$, restando portanto $290 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ para aplicações industriais. As prioridades, nas indústrias consumidoras de gás de nafta seriam:

- Substituição do gás de nafta nas indústrias de vidro, metalurgia, alimentos e cerâmica;

- Substituição de eletricidade aplicada em eletrotermia, excluídas as aplicações em geração de vapor (que já imaginamos substituída por óleos pesados) e fusão nas indústrias metalúrgicas;

- Substituição de óleos combustíveis nas indústrias de vidro, metalurgia e alimentos;

- Substituição de óleos leves e gases, preferencialmente GLP, nos setores de vidro, metalurgia e alimentos.

Já para 1990, dentro de expectativas mais conservadoras, prevê-se a disponibilidade de $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dia}$; estima-se para esse período o consumo residencial e comercial de $400 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$, possibilitando o uso de até $2,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dia}$ em aplicações industriais. A priorização do consumo define como primeira beneficiária as indústrias já ligadas à rede de distribuição de nafta, obedecendo a seguinte ordem de uso:

- Substituição de todo o gás de nafta nas indústrias consumidoras desse energético;

- Substituição de toda a eletricidade aplicada em eletrotermia;

- Substituição de todo o óleo combustível, óleos leves e gases;

- Substituição do gás de nafta consumido pelos setores residencial, comercial e pequenas indústrias não atendidas pela priorização de 1988;

- Atendimento das indústrias não consumidoras de gás de nafta.

Diante da indefinição existente sobre essa matéria, acabamos por optar pelos critérios de priorização definidos pelo Engenheiro Christodoulou, para dar continuidade a esse trabalho. Para

tanto, levamos em conta o fato de que a curto prazo de verão ser as opções que envolvem baixo investimento que deverão absorver a oferta. Já para os anos de 1989 e 1990, quando deverão haver pressões no sentido de destinar volumes substanciais de gás para uso como matéria-prima industrial e para substituição de óleo diesel em sistemas de transporte, devemos notar que a disponibilidade estimada é muito aquém da máxima capacidade de fornecimento. Assim, se houver mercado para outras aplicações que não as relacionadas na escala de prioridades descrita, e se houver disposição de se investir nessas aplicações, muito provavelmente haverá condições de se atender toda essa demanda.

No procedimento de correção levantamos no ano de 1984 o consumo de gás de nafta em indústrias da região da Grande São Paulo (coincidentemente atendidas apenas pela ELETROPAULO), e para essas mesmas indústrias registramos o consumo de eletricidade em eletrotermia e de óleos pesados. Sobre esses valores aplicamos as taxas de crescimento da demanda de energia para os respectivos sub-setores industriais, calculados a partir das projeções obtidas pelo modelo.

No procedimento de substituição entre insumos energéticos, imaginamos que o gás natural deva ser utilizado em substituição ao gás de nafta com as mesmas eficiências consideradas para esse último nas instalações industriais de cada sub-setor. Já no caso do uso do gás natural em substituição a óleos pesados e eletrotermia, imaginamos que este possa ser empregado com eficiência ligeiramente superior às correspondentes aplicações com queima de óleos residuais. Os valores das eficiências utilizadas estão listados em tabela no Anexo B.

Os números finais de substituição de energéticos por gás natural, que foram utilizados nesse trabalho, estão apresentados na tabela 15. Note-se que o volume de gás destinado ao uso industrial no ano de 1988 é ligeiramente inferior à disponibilidade prevista para as indústrias ($276,8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ contra $290 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$), o mesmo verificando-se para 1990, embora em proporções bem maiores ($1593,8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ contra $2100 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$).

Ocorre que no cálculo da eletricidade e de óleos pesados a serem substituídos por gás natural nas indústrias de vidro, optamos por um procedimento mais cauteloso de não permitir a substituição completa. Assim, é de se imaginar duas alternativas possíveis: a primeira delas baseada no fato de que haverá pressões de grupos

TABELA 15

PENETRAÇÃO DE GÁS NATURAL NO SETOR INDUSTRIAL

Setor	Ano	Gás de Nafta			Eletrotermia			Óleos Pesados			Total		
		Gcal útil	10 ³ m ³ /dia		Gcal útil	10 ³ m ³ /dia		Gcal útil	10 ³ m ³ /dia		Gcal útil	10 ³ m ³ /dia	
Indústria	1988	53.546	32,6					40.646	23,2		94.192	55,8	
	1989	79.251	48,2		168.192	96,0		139.459	79,6		386.902	223,8	
	1990	104.956	63,9		336.384	192,0		238.272	136,0		679.612	391,9	
Setor	1988	25.135	25,6		3.796	1,3		30.076	10,3		59.007	37,2	
	1989	36.034	36,7		7.738	2,7		366.898	125,7		410.670	165,1	
	1990	46.932	47,8		11.680	4,0		703.720	241,0		762.332	292,8	
Setor	1988												
	1989							271.469	87,5		271.469	87,5	
	1990							542.938	175,0		542.938	175,0	
Setor	1988	97.667	89,2		14.856	9,0		143.722	85,6		256.245	183,8	
	1989	104.241	95,2		136.732	83,0		448.355	267,0		689.328	445,2	
	1990	110.815	101,2		258.608	157,0		752.987	448,5		1.122.410	706,7	
Setor	1988												
	1989	3.942	1,2					38.782	12,5		42.724	13,7	
	1990	7.884	2,4					77.563	25,0		85.447	27,4	
Setor	1988	176.348	147,4		18.652	10,3		214.444	119,1		409.444	276,8	
	1989	223.468	181,3		312.662	181,7		1.264.963	572,3		1.801.093	935,3	
	1990	270.587	215,3		606.672	353,0		2.135.480	1025,5		3.192.739	1593,8	

Tabela 16 - Projeções da demanda de energia útil total - Alimentos e Bebidas [Gcal.]

ie	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
cada	2.998.986	3.250.152	3.242.238	3.529.449	3.611.685	3.836.693	4.034.614	4.507.065	5.081.718
vida	2.891.293	2.895.136	2.731.371	2.973.327	3.042.606	3.232.160	3.398.895	3.796.904	4.281.011
al	2.891.293	2.895.136	2.731.371	2.978.489	3.056.364	3.275.274	3.444.976	3.848.380	4.339.051
cada	1.424.318	1.556.170	1.550.205	1.703.594	1.737.326	1.853.726	2.071.353	2.313.910	2.608.933
vida	1.301.762	1.303.493	1.229.760	1.351.442	1.378.201	1.470.540	1.643.181	1.835.599	2.069.637
al	1.301.762	1.303.493	1.229.760	1.363.662	1.392.225	1.499.983	1.675.666	1.871.951	2.110.606
cada	2.573.274	2.782.600	2.736.767	2.962.053	3.224.788	3.452.781	3.701.061	4.010.189	4.362.283
vida	2.423.014	2.426.235	2.288.944	2.477.366	2.697.109	2.887.795	3.112.176	3.353.993	3.648.473
al	2.423.014	2.426.235	2.288.944	2.479.007	2.698.130	2.884.566	3.108.828	3.351.026	3.648.635
cada	559.353	607.164	603.995	654.830	670.808	714.613	797.222	890.576	1.004.124
vida	579.386	580.156	547.339	593.406	607.885	647.581	722.441	807.038	909.935
al	579.386	580.156	547.339	594.863	609.610	656.168	732.531	818.339	922.670
cada	7.555.931	8.196.086	8.133.205	8.849.926	9.244.607	9.857.813	10.624.250	11.721.740	13.057.058
vida	7.195.455	7.205.020	6.797.414	7.395.541	7.725.801	8.238.076	8.876.693	9.793.534	10.909.056
al	7.195.455	7.205.020	6.797.414	7.416.021	7.756.329	8.315.991	8.962.001	9.889.696	11.020.962

industriais, mesmo que não atendidos no presente pela rede de gás de nafta, no sentido de serem servidos por esse energético, para utilizá-lo como combustível. Dessa forma é impossível estimar a quem seriam destinados as $500 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dia}$ que restaram no nosso procedimento de cálculo, e mesmo supor se a nossa opção de priorização teria a mínima fundamentação. A segunda possibilidade seria imaginar pressões que priorizassem sua utilização como matéria-prima e substituto de óleo diesel; nessa alternativa, cremos que o excedente seria imediatamente absorvido para fins não combustíveis industriais.

Face mais uma vez às incertezas relativas ao tema, preferimos manter em aberto a questão, não alocando o volume de gás natural excedente da distribuição realizada.

Na tabela 16 e na figura 6 estão apresentados os resultados da metodologia de projeção da demanda de energia útil total para o sub-setor de Alimentos e Bebidas. A série de dados denominada "projetada" refere-se aos resultados da aplicação do modelo segundo as tendências estabelecidas pelo cenário básico, enquanto na série "corrigida" absorvem-se os valores de consumo verificados no período 1982-1984. Finalmente a série "final" deve-se às correções das projeções da demanda de energia face às alterações na estrutura de parcelas de mercado, que afetam a variável explanatória índice de preço das equações de projeção da demanda energética.

Cabe salientar que por esse motivo são necessários ajustes adicionais no perfil de consumo de energia no sub-setor. Nessa última etapa deve-se verificar a consistência das considerações formuladas, bem como promover-se um "ajuste contábil" final nos resultados anteriormente obtidos. A distribuição do consumo por parcelas de mercado em cada sub-região estudada, para as indústrias de Alimentos e Bebidas, é apresentada na tabela 17 e nas figuras 06 e 07.

O conjunto de resultados obtidos da aplicação do cenário básico para os demais sub-setores industriais é apresentado num conjunto de tabelas e figuras no anexo B. A análise desses resultados é feita no início do capítulo 6, servindo de ponto de partida para a discussão e formulação de um cenário alternativo de evolução da demanda energética industrial no Estado de São Paulo.

Finalmente, a discussão qualitativa dos dados de consumo de energia em cada segmento industrial no período 1982-1984, que foram agregados à série projetada com o objetivo de adequá-las à realidade verificada nesses anos, é feita no Capítulo 5 nos itens correspondentes à discussão das tendências em conservação e substituição nas indústrias paulistas, para cada sub-setor.

TABELA 17

DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA PROJETADA ENTRE OS PRINCIPAIS ENERGÉTICOS - ALIMENTOS E BEBIDAS

tico	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Pesados	1.798.073	1.723.178	1.267.339	1.378.993	1.459.339	1.666.972	1.862.213	2.080.353	2.345.577
cidade	703.214	748.219	863.445	939.516	932.561	839.579	937.914	1.047.781	1.181.361
	327.469	342.931	372.104	416.266	425.965	452.502	475.845	531.567	599.342
ais	62.537	80.808	228.483	243.714	238.499	316.221	169.004	188.679	212.771
	2.891.293	2.895.136	2.731.371	2.978.489	3.056.364	3.275.274	3.444.976	3.848.380	4.339.051
Pesados	915.731	877.589	645.438	709.403	735.901	827.211	924.097	1.032.345	1.163.960
cidade	266.171	283.205	326.819	336.240	334.125	306.371	342.258	382.350	431.096
	35.311	36.978	40.124	47.300	48.237	51.469	57.511	64.246	72.437
ais	84.549	105.721	217.379	270.719	273.962	314.932	351.800	393.010	443.113
	1.301.762	1.303.493	1.229.760	1.363.662	1.392.225	1.499.983	1.675.666	1.871.951	2.110.606
Pesados	1.363.668	1.306.867	961.157	1.075.690	1.236.111	1.706.582	1.823.725	1.578.900	1.292.768
cidade	835.237	888.692	1.025.551	1.029.938	1.001.602	748.323	784.629	820.836	859.623
	24.008	25.142	27.281	29.728	32.365	34.654	37.346	40.248	43.782
ais	200.101	205.534	275.005	343.651	428.052	395.007	463.128	911.042	1.452.462
	2.423.014	2.426.235	2.288.944	2.479.007	2.698.130	2.884.566	3.108.828	3.351.026	3.648.635
Pesados	353.518	338.793	249.170	265.913	296.882	330.840	373.595	417.358	470.568
cidade	143.708	152.906	176.452	195.582	216.245	164.708	189.045	211.189	238.113
	66.805	69.959	75.910	82.408	84.419	89.932	100.328	112.076	126.366
ais	15.355	18.498	45.807	50.960	12.064	70.688	69.563	77.716	87.623
	579.386	580.156	547.339	594.863	609.610	656.168	732.531	818.339	922.670
Pesados	4.430.990	4.246.427	3.123.104	3.429.999	3.728.233	4.531.605	4.983.630	5.108.956	5.272.873
cidade	1.948.330	2.073.022	2.392.267	2.501.276	2.484.533	2.058.981	2.253.846	2.462.156	2.710.193
	453.593	475.010	515.419	575.702	590.986	628.557	671.030	748.137	841.927
ais	362.542	410.561	766.634	909.044	952.577	1.096.848	1.053.495	1.570.447	2.195.969
	7.195.455	7.205.020	6.797.414	7.416.021	7.756.329	8.315.991	8.962.001	9.889.696	11.020.962

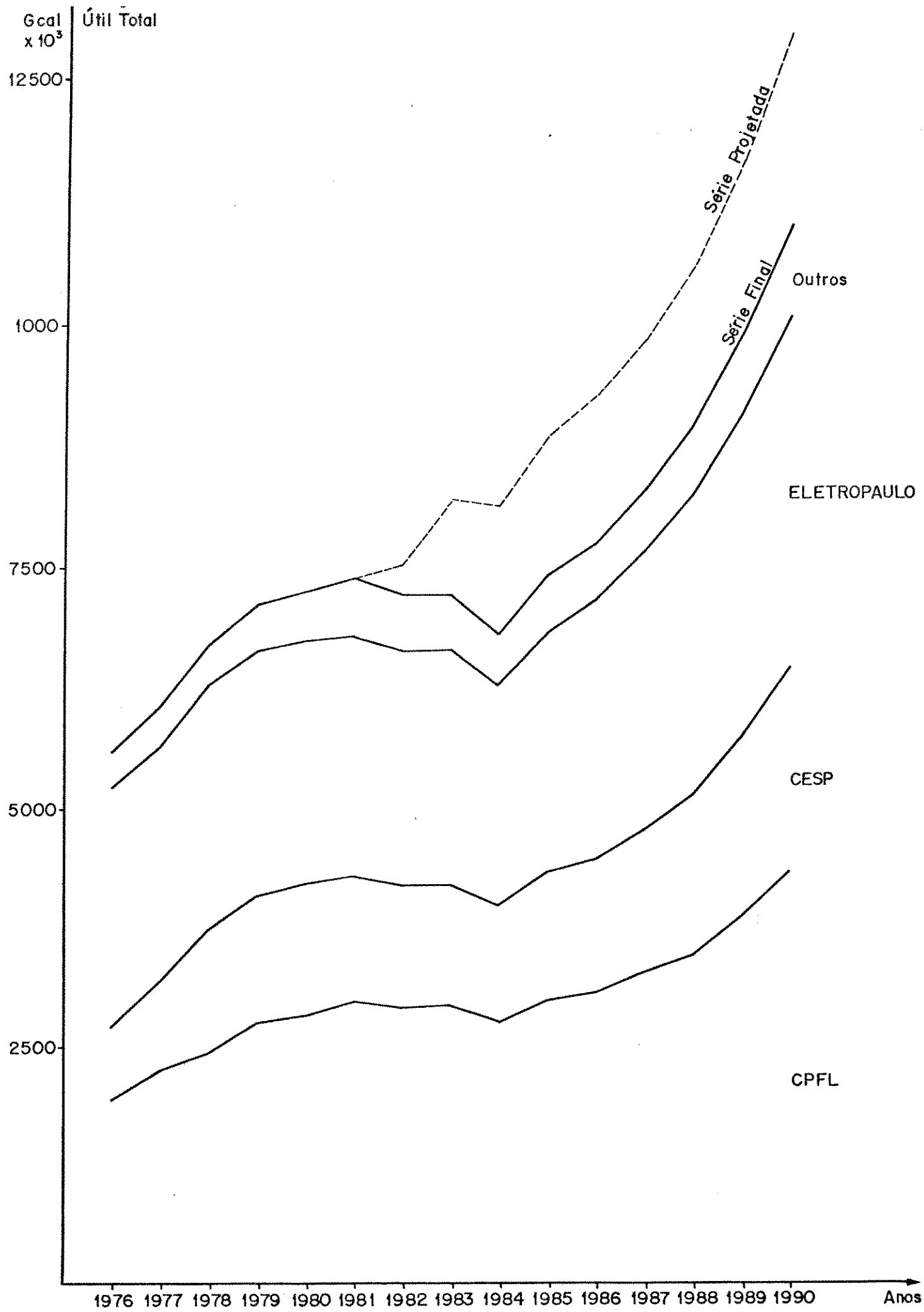


Figura:06-Projeção da Demanda de Energia Útil Total - Alimentos e Bebidas.

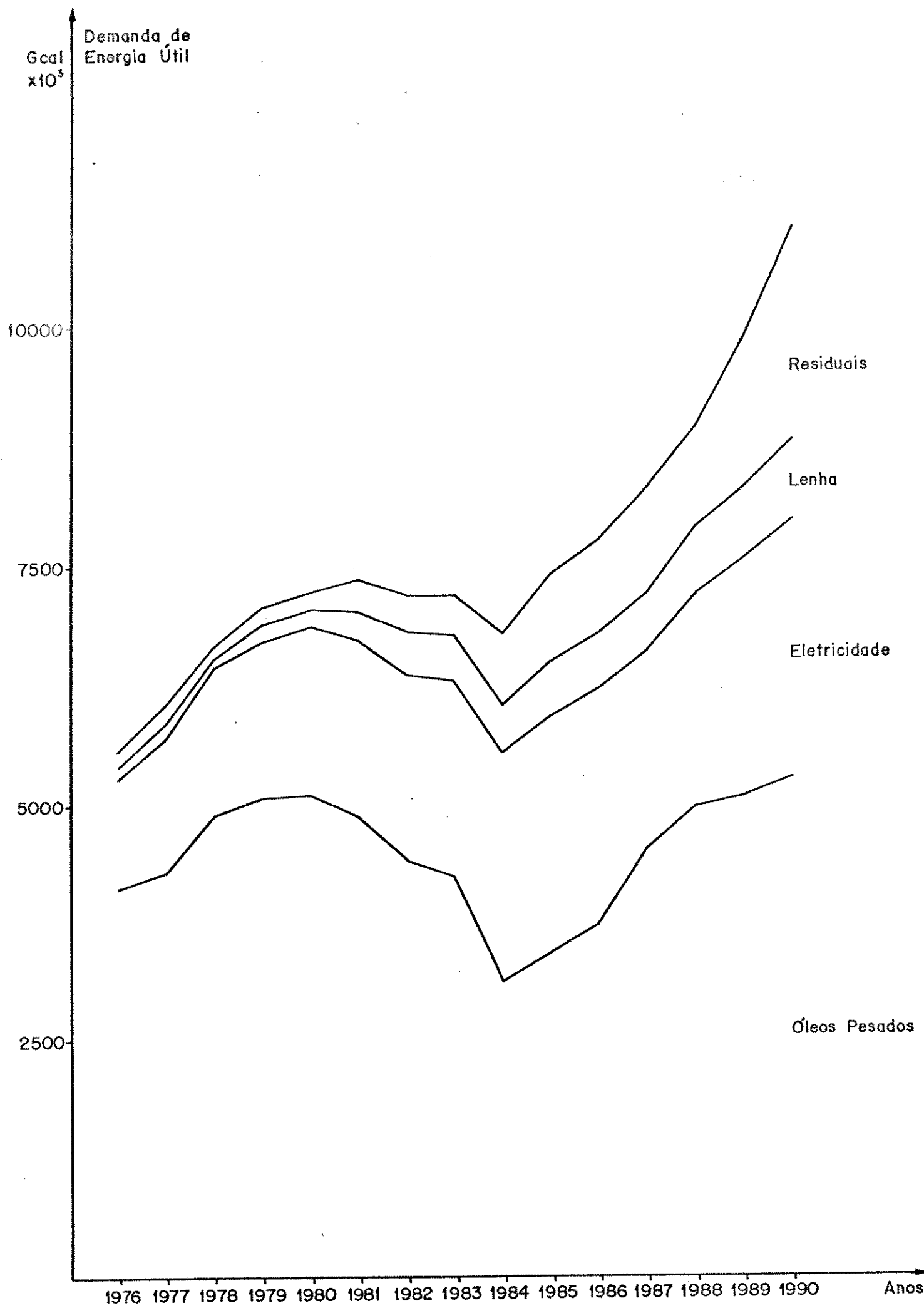


Figura:07-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos - Alimentos e Bebidas.

autor: Arnaldo Cesar S. Walter
orientador: Sérgio Valdir Bajay

DEM/FEC/UNICAMP

Impacto dos Programas de Conservação
na Demanda Energética Industrial
do Estado de São Paulo

07/87

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL USO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA

5.1. Introdução

No capítulo anterior desse trabalho descreve-se um exemplo de aplicação do modelo de projeção da demanda energética adotado aos seis principais sub-setores industriais do Estado de São Paulo do ponto de vista de relevância quanto ao consumo de energia. Foi então estabelecido um cenário de evolução econômica, e de acordo com o conjunto de hipóteses formuladas, projetou-se a demanda energética dentro de um horizonte de planejamento que tinha como limite o ano de 1990.

Deve-se agora analisar os processos de produção em cada segmento industrial objeto de estudo, e determinar, tão detalhadamente quanto possível, de que maneira a energia se insere nesses processos, qual a finalidade de seu emprego em cada etapa, e quais as formas energéticas que atendem à demanda nessas indústrias, no Brasil.

Caracterizada a presença do insumo energia na sequência produtiva, procurar-se-á estabelecer, dentro desse contexto, quais são as possibilidades tecnológicas de redução do consumo específico e/ou de substituição entre formas energéticas. Finalmente será analisada qual tem sido a tendência comportamental de cada sub-setor industrial quanto à conservação e substituição nos últimos anos.

Essa análise servirá de base para que possa ser definido no sexto capítulo um cenário alternativo de evolução da demanda de energia a nível industrial no Estado, levando em consideração possibilidades de conservação e/ou substituição de energia.

5.2. Indústria Metalúrgica

5.2.1. Caracterização Geral

Entendemos por indústrias metalúrgicas o conjunto de unidades fabris que se dedicam à siderurgia e elaboração de produtos siderúrgicos (com ou sem redução de minérios), à metalurgia dos metais não-ferrosos em formas primárias, à metalurgia do pó, à têmpera, cementação e tratamento térmico de aço, recozimento e galvanização, e à outras atividades diversas tais como estamparia, serroteira, fabricação de estruturas, artefatos trefilados, ferragens, ferramentas, etc.

Em linhas gerais essa é a subdivisão adotada em estudos econômicos e pesquisas de coleta de dados, tais como os trabalhos de recenseamento realizados pelo IBGE. Alguns estudos e publicações sobre consumo de energia preferem adotar uma outra classificação, como é o caso dos Balanços Energéticos Nacionais, subdividindo o segmento metalúrgico em produtores de ferro gusa e aço, ferro-ligas e não ferrosos e outros da metalurgia.

Nesse trabalho não foi possível trabalhar com outro nível de agregação que não fosse considerar a indústria metalúrgica como um todo, uma vez que nossa base de dados impôs essa limitação. A nível de análise da estrutura de produção, e com finalidade de melhor compreender de que forma a energia é consumida nessas indústrias, optamos pela sub-divisão em unidades Siderúrgicas e Outras indústrias metalúrgicas.

De acordo com o censo industrial de 1980, do IBGE, o sub-setor metalúrgico respondia nesse ano por 8,1% do número total de estabelecimentos industriais do país, 13,8% do valor total da produção industrial nacional, e empregava 11,3% da mão-de-obra do Brasil alocada em atividades industriais. Ainda de acordo com a mesma fonte, o parque metalúrgico do Estado de São Paulo representava ainda em 1980, 65,1% do total desse segmento industrial em termos de número de instalações, 52,2% quanto ao valor de produção, e 56,3% em relação ao número de empregos.

Em termos energéticos, a indústria metalúrgica (entendida como o conjunto das subdivisões definidas pelo Balanço Energético Nacional) representava 30,2% do consumo total de energia a nível industrial em 1980, e 37,0% em 1984. Isoladamente, o segmento

80

produtor de ferro gusa e aço (o mais importante do ponto de vista do consumo energético) respondia por 20,3% do consumo industrial em 1980, e 24,0% em 1984, o que representa 8,8% e 9,7%, para os anos respectivos, do consumo final energético do país como um todo [Ministério das Minas e Energia, 1985].

5.2.2. Indústria Siderúrgica

5.2.2.1. Processo Produtivo e Consumo Energético

A indústria siderúrgica constitui-se no conjunto de usinas produtoras de laminados de aço, tais como chapas, perfis, barras e tubos. As matérias-primas principais são o minério de ferro, sucatas de ferro e aço, materiais fundentes (calcário e dolomita), carvão mineral, carvão vegetal e coque. O carvão mineral, além de constituir-se em importante matéria-prima dentro do processo produtivo, é a principal fonte energética consumida nas usinas siderúrgicas [CESP/FDTE, 1981].

A produção siderúrgica pode ser dividida em três grandes seções básicas, a saber: redução, refino e laminação. Diz-se que uma usina siderúrgica é integrada quando possui todas as três seções, sendo que na ausência de qualquer uma dessas passa a ser classificada como não-integrada ou semi-integrada [Masuda, 1983].

De acordo com a sua estrutura de produção, as usinas são classificadas pelo Conselho de Não Ferrosos e Siderurgia em quatro diferentes grupos:

Grupo A: Usinas integradas a coque. São responsáveis por mais da metade da produção nacional de aço, e são sempre instalações de grande porte. Exemplos: Companhia Siderúrgica Nacional, Cosipa e Usiminas;

Grupo B: Usinas integradas a carvão vegetal. Respondiam por cerca de 1/5 da produção nacional em 1979, sendo que esse valor deve ter crescido nos últimos anos. Alguns exemplos são a Acesita, a Belgo Mineira e a Mannesmann;

Grupo C₁: Usinas integradas e semi-integradas, com redução direta e produtoras de aços comuns;

Grupo C₂: Usinas integradas e semi-integradas, com redução direta e produtoras de aços especiais.

Na figura 08 apresentam-se os fluxogramas simplificados dos processos de produção de aço em uma usina integrada a coque e numa usina integrada com redução direta. No caso das usinas integradas a carvão vegetal o fluxograma produtivo é bastante semelhante ao da unidade a coque, com a exclusão da coqueria e substituição por uma unidade de carvoejamento.

A produção de aço numa usina integrada a coque se inicia com as etapas de coqueificação e sinterização ou pelotização. A coqueificação é o fenômeno que ocorre quando o carvão é submetido a aquecimento à temperaturas elevadas na ausência de oxigênio, provocando liberação de gases e a formação de um resíduo sólido, poroso, com alta concentração de carbono, que é o coque.

O carvão mineral classificado como metalúrgico e que se presta à coqueificação, deve ter baixo teor de cinzas e de enxofre, além de baixa incidência de matérias voláteis, a fim de não prejudicar a produtividade e o consumo energético nos altos-fornos.

O tempo total para coqueificação da carga nos fornos industrialmente utilizados varia de 13 a 24 horas, sendo função essencialmente da largura do forno, temperatura de operação e densidade do carvão. Após o **desenfornamento** o coque é levado para a extinção da queima, o que pode ser feito com água ou a seco.

O coque na granulometria adequada é usado na alimentação dos altos fornos, sendo que os finos são utilizados na sinterização. Do processo de coqueificação tem-se como sub-produto um gás combustível, chamado gás de coqueria (GCO), que é utilizado como insumo energético na instalação. É interessante notar que o próprio aquecimento da bateria de fornos de coqueificação é normalmente feito com uma mistura de gases de coqueria e de alto forno [Monteiro, 1980].

A sinterização é um processo de semi-fusão redutora - oxidante a que é **submetido** o minério de ferro na presença de fundentes, coque e umidade. Existem dois processos básicos de sinterização: o Greenwalt, que é intermitente, e o Dwight Lloyd, contínuo.

Não existem diferenças básicas no desenvolvimento dos dois processos; em linhas gerais poderíamos dizer que ambos consistem no carregamento da "panela" ou esteira com a mistura a ser sinterizada, aquecimento da mistura com vaporização da água, calcinação dos carbonatos, semi-fusão e aglomeração do material carregado através da queima do próprio coque que constitui a mistura, e britagem do sínter. A fração que se encontrar dentro da granulome-

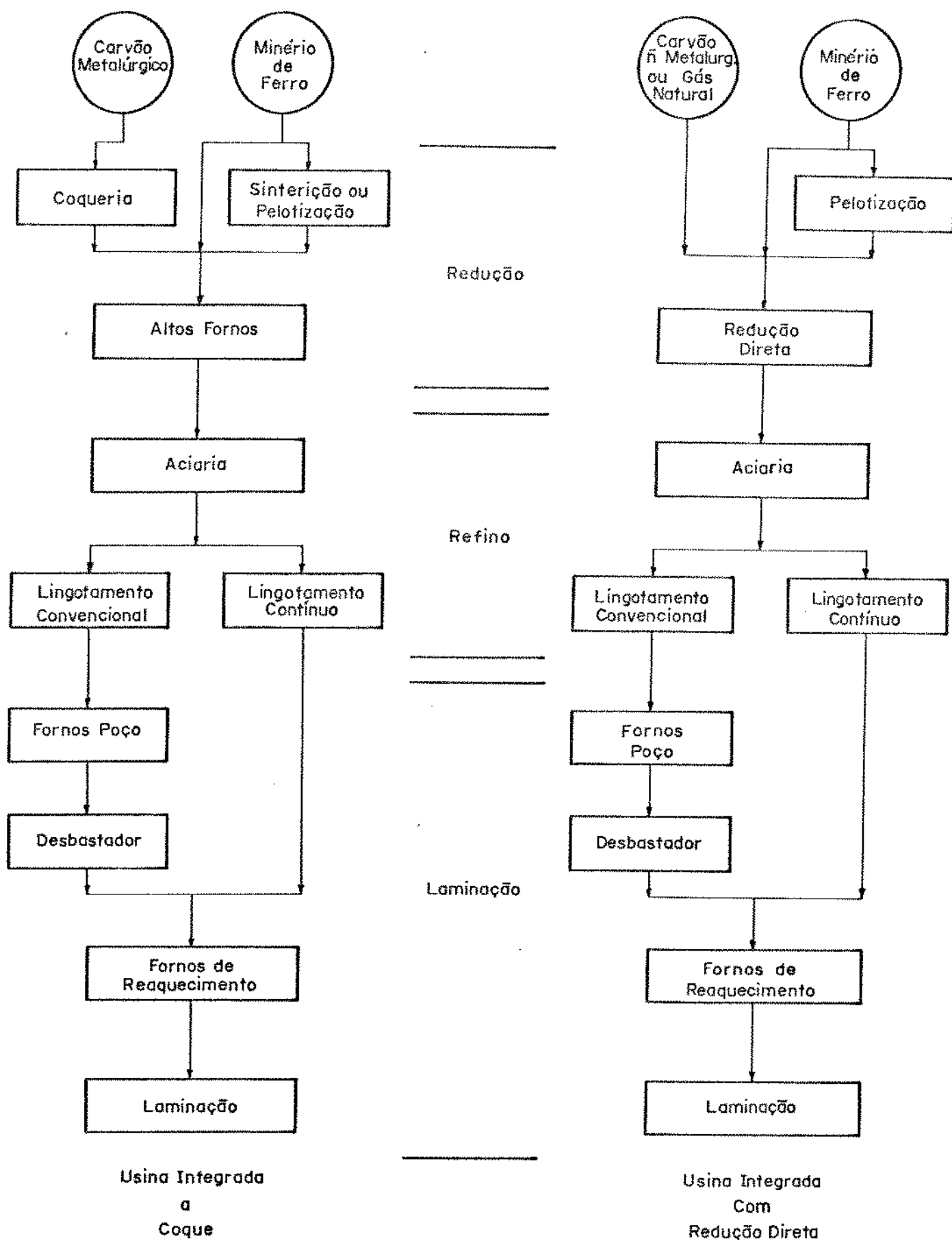


Figura:08-Fluxograma do Processo de Produção Siderúrgica
Fonte: Masuda

tria desejada é destinada ao alto forno.

As reações de sinterização propriamente ditas se dão na faixa de 900 a 1400° C, quando ocorre a formação do magma do sinter (mistura de silicatos e cálcio-ferritas). O sinter em si é o produto da cristalização do magma em conjunto com óxidos de ferro que se formam no resfriamento.

Além do consumo de coque, na sinterização ocorre também consumo de energia elétrica na movimentação da carga e britagem, além de gás de coqueria que é utilizado no forno de ignição ou em auxílio ao próprio processo [Lemos e Nogueira, 1980].

A pelotização é uma etapa alternativa à sinterização e visa a aglomeração do minério de ferro na forma de pelotas, que é hoje aceita como a melhor maneira de alimentar os alto-fornos modernos e as unidades de redução direta. Nesse último caso, apresenta várias vantagens quanto ao produto obtido, tais como alto teor de ferro, uniformidade dimensional e da composição química em faixas rígidas pré-estabelecidas, alta resistência mecânica, maior redutibilidade, melhor aproveitamento metalúrgico dentro do forno, etc.

Também do ponto de vista da mineração, a pelotização é muito importante, pois permite a utilização dos finos de minério, normalmente considerados como rejeitos.

O processo em si se divide em quatro etapas básicas, quais sejam: concentração, preparação da matéria-prima, pelotização e queima. Na primeira delas, eleva-se o teor de ferro dos finos através da eliminação da sílica e de outras impurezas, por efeito mecânico ou eletromagnético. Já a preparação se constitui numa série de operações que visam a adequação do minério à pelotização, quando este é transformado em pelotas cruas pela ação de rolamento em disco ou tambor. Finalmente, é na queima que a pelota adquire as características físicas e metalúrgicas que a tornam apta para as etapas seguintes.

Os fornos de pelotização existentes no Brasil até 1980, sem qualquer exceção, seguiam o processo Lurgi-Dravo, utilizando-se de óleo combustível como insumo energético [Nunes, 1980].

A etapa de redução envolve uma sequência de reações químicas que visam a redução propriamente dita dos óxidos metálicos, em especial os óxidos de ferro. Dentro de uma usina integrada a coque, ou a carvão vegetal, esta etapa desenvolve-se num equipa-

mento denominado alto-forno.

Os altos-fornos foram desenvolvidos nos séculos XV e XVI a partir de sucessivas transformações e melhorias introduzidas à forja catalã (espécie de lareira feita de pedras onde o minério era fundido na presença de carvão vegetal). O primeiro alto-forno para uso de coque de carvão mineral data de 1709; os modernos altos-fornos existentes nas siderúrgicas atuais são equipamentos cilíndricos de grande porte (o maior alto-forno em operação no Brasil, e um dos dez maiores do mundo, da Companhia Siderúrgica de Tubarão, tem 110 metros de altura, 4.400 m^3 de volume interno e capacidade de produção diária de 10 mil toneladas de ferro gusa), de estrutura de aço e revestimento interno de material refratário [Fragoso, 1984].

O alto forno é carregado em camadas de sinter, hematita, calcáreo e coque, que é o elemento redutor, fornecedor de carbono às reações de redução, e também o principal combustível. Tem-se como produtos dessa etapa o ferro gusa líquido, uma mistura de ferro, carbono e manganês, além de silício, potássio e enxofre em proporções menores, escória, que constitui-se de um composto de óxidos de cálcio, silício, alumínio e magnésio, e o gás de alto forno (GAF). Além do coque, os altos fornos podem operar com apoio de uma série de outros combustíveis, tais como óleos, gases, alcatrão e finos de carvão.

A perfeita operação de um alto forno, e por consequência a obtenção de alta produtividade e baixo consumo energético, é função do conhecimento detalhado dos mecanismos de funcionamento do mesmo, bem como perfeita adequação das variáveis metalúrgicas às condições de trabalho. Como veremos mais a frente, é dentro desse espírito que estão as maiores possibilidades de redução do consumo energético na indústria siderúrgica [Andrade, 1980].

É interessante mencionar que o conjunto de etapas denominado redução, que engloba a redução em si mais a coqueificação e a sinterização, representa entre 65 e 70% do consumo energético global em unidades integradas convencionais a coque [Masuda, 1980]. Fica claro, portanto, a importância fundamental das ações de conservação de energia nessa fase da produção.

Alternativamente ao processo de redução em altos-fornos, tem sido utilizado de maneira relativamente difundida o processo de redução direta, no qual os óxidos metálicos sofrem as reações

ções de redução propriamente ditas no estado sólido. Nesse caso, os minérios de ferro empregados constituem-se basicamente de hematita (Fe_2O_3) e magnetita (Fe_3O_4).

O produto desse processo é o ferro esponja, isto é, o minério de ferro do qual foi retirado em grande parte o oxigênio combinado, o que equivale dizer que o minério é enriquecido em ferro sem a incorporação de elementos estranhos à constituição original. O ferro esponja, face às suas características, é uma importante fonte metálica para a indústria siderúrgica.

Os elementos redutores usuais são o hidrogênio, o monóxido de carbono, certas misturas desses dois gases e o carbono [Pineiro, 1980].

O processo de refino para obtenção do aço foi tradicionalmente desenvolvido em fornos Siemens-Martin aquecidos a óleo combustível. Hoje, no Brasil, apenas as usinas que operam com fornos elétricos na etapa de redução ainda se utilizam do processo convencional. As grandes siderúrgicas brasileiras integradas a coque e a carvão vegetal empregam atualmente o processo LD (Linz-Donawitz).

As vantagens básicas do processo LD sobre os fornos Siemens-Martin, e que propiciaram sua rápida difusão, são:

- adaptabilidade a qualquer tipo de ferro gusa;
- balanço térmico favorável;
- possibilidade de obtenção de aços extremamente puros;
- alta produtividade;
- baixo custo de investimento e operacional.

O processo LD é realizado em um vaso basculante a fim de que seja facilitado o vazamento do aço. Consiste basicamente na sopragem de oxigênio verticalmente sobre a superfície do banho metálico. Na zona de impacto do oxigênio a reação com os elementos do banho é violenta e imediata, com temperaturas locais em torno de 2500 a 3000° C. Devido às diferenças de temperatura, concentração, peso específico e formação de gases, ocorre uma **enérgica movimentação** do banho.

A carga num conversor LD é composta basicamente de gusa líquido e sucata. O gusa líquido fornece quase a totalidade da energia necessária ao processo, devido ao alto valor de calor sensível e à oxidação de seus elementos. A quantidade de sucata carre

gada é função da temperatura e do teor de silício do gusa; em geral, emprega-se de 15 a 20% de sucata, sendo ferro-gusa os 80 a 85% restantes.

O tempo de duração do ciclo completo de operação numa aciaria LD varia de usina para usina, sendo que este consta das seguintes etapas:

- carregamento do gusa líquido;
- carregamento da sucata (carga sólida);
- sopro de oxigênio;
- medidas de temperatura e retirada de amostra;
- vazamento e adições;
- retirada da escória.

Tem-se como produto do processo o aço na forma líquida, escória fundida e gás de aciaria (GAC), que é destinado ao sistema de gases da usina [Issa, 1980]. O processo descrito representa muito pouco em termos de consumo energético em relação às necessidades de todo o processo de produção: a demanda de energia nessa etapa é calculada em 3,5% do consumo global.

A partir da obtenção do aço líquido vazado dos conversores LD, eventualmente dos fornos Siemens-Martin, abrem-se duas possibilidades distintas na etapa de lingotamento. Nos processos convencionais o aço é vazado em moldes (lingotes) onde é solidificado. Deve-se, então, ser reaquecido em fornos poço e laminado em laminadores desbastadores, sendo a seguir aparado nas extremidades. Cada fração de aço que é perdida no corte leva, sob uma forma incorporada, todas as parcelas de energia e matéria-prima necessárias à sua produção. Alternativamente, o aço líquido pode ser vazado num equipamento especial, num processo de lingotamento contínuo, produzindo-se o mesmo produto mas com vantagem na qualidade com perdas de aço bastante inferiores, e menor consumo de energia para a usina como um todo [Masuda, 1983].

Se é seguida a linha do lingotamento contínuo, tem-se o produto na forma de placas ou tarugos prontos para as etapas de reaquecimento e laminação. Caso contrário, tem-se intermediariamente o aquecimento em fornos poço e o desbaste.

A função básica dos fornos poço é o aquecimento dos lingotes frios, elevação ou equalização da temperatura dos lingotes vindos da Aciaria. A temperatura necessária nessa etapa do processo varia entre cerca de 1240° C, para aços com alto teor de car

bono, a 1350° C, para aços com baixo teor.

Embora sejam claras as vantagens do lingotamento contínuo sobre o lingotamento convencional, deve-se lembrar que nem todos os produtos siderúrgicos aceitam o processo contínuo, principalmente quando o perfil do produto exigido pelo mercado obriga a produção sob forma quase artesanal. Dessa forma, a importância dos fornos-poço numa usina siderúrgica deverá ser mantida, bem como justificavam-se ações no sentido de se reduzir o consumo de energia nessa etapa.

Na realidade, a unidade industrial "fornos-poço" constitui-se na segunda maior consumidora de energia na forma de combustível na laminação, mas é onde existe o maior potencial de economia de energia com a vantagem de que resultados significativos podem ser alcançados sem a aplicação de tecnologia de ponta.

O consumo de energia nessa etapa ocorre principalmente através da queima de óleos combustíveis, e das diversas formas de gases produzidos internamente à instalação siderúrgica (GCO, GAF e GAC) [Masuda, 1980].

Do ponto de vista do consumo energético a operação de desbaste não tem grande importância dentro do processo produtivo : basicamente é uma etapa de ação mecânica sobre o produto, com considerável consumo de energia elétrica, mas nada representativa em termos de energia térmica.

Da mesma maneira que os fornos poço, os fornos de reaquecimento visam dar aos produtos siderúrgicos intermediários as condições térmicas necessárias ao desenvolvimento econômico da laminação ou forja.

Dentro de uma unidade siderúrgica entende-se por laminação secundária o conjunto de ações que envolvem os fornos de reaquecimento, laminadores de chapas grossas, laminadores de tiras a quente e decapagem contínua. Essa sequência de operações consome cerca de 60% do consumo total da seção de laminação de uma siderúrgica, sendo que a fração mais representativa está associada aos fornos.

Os fornos de reaquecimento podem ser intermitentes ou contínuos. Os primeiros, de concepção mais antiga, são atualmente pouco utilizados, enquanto os equipamentos contínuos, bem mais modernos, dividem-se em circulares e lineares, sendo os últimos os mais utilizados, embora tenham um maior consumo energético.

O alto consumo de energia nos fornos de reaquecimento pode ser explicado pelo fato de que praticamente toda a carga (placas, tarugos e blocos) está à temperatura ambiente no início de operação. Na prática, as peças de aço são resfriadas à temperaturas próximas às ambientais a fim de que seja possível a inspeção e o condicionamento da superfície, necessário à remoção de defeitos, e adequação do aço a processamentos termomecânicos [Masuda, 1980].

A temperatura máxima de aquecimento nesses fornos está em torno de 1300° C. Os combustíveis normalmente utilizados são os óleos pesados e os gases de processo.

Os produtos laminados a frio são geralmente recozidos antes das etapas finais do processamento ou embarque. Os fornos de recozimento não são equipamentos que respondem por parcelas relevantes do consumo global de uma instalação integrada, e também não oferecem possibilidades significativas de economia de energia, motivo pelo qual são normalmente relegados a um plano secundário. Via de regra, o combustível empregado nesses fornos é o gás de coqueria (GCO).

O último comentário a ser feito com relação à caracterização do consumo energético em processos siderúrgicos, é que as usinas possuem sistemas de energia bastante complexos. Numa unidade integrada os sistemas de energia transformam os combustíveis e a energia elétrica em vapor, oxigênio, nitrogênio, ar comprimido e águas industriais de várias espécies, que são distribuídas para diversas finalidades em toda a planta. Para se ter idéia das dimensões e complexidade desse sistema, citamos, a título de exemplificação, que a quantidade de energia elétrica e água consumidas numa siderúrgica integrada a coque de 3.000.000 ton/ano de aço corresponde às necessidades de uma cidade de 3.000.000 de habitantes [Masuda, 1983].

Na figura 09 apresenta-se o fluxograma de energia na produção da USIMINAS, no ano de 1979. Os valores numéricos estão expressos em 10^3 Gcal/ton de aço líquido.

5.2.2.2. Potencial de Conservação

Nas siderurgias a palavra energética é empregada para assuntos relacionados às atividades clássicas dos órgãos de administração de energia, tais como controle de combustão, melhoria do

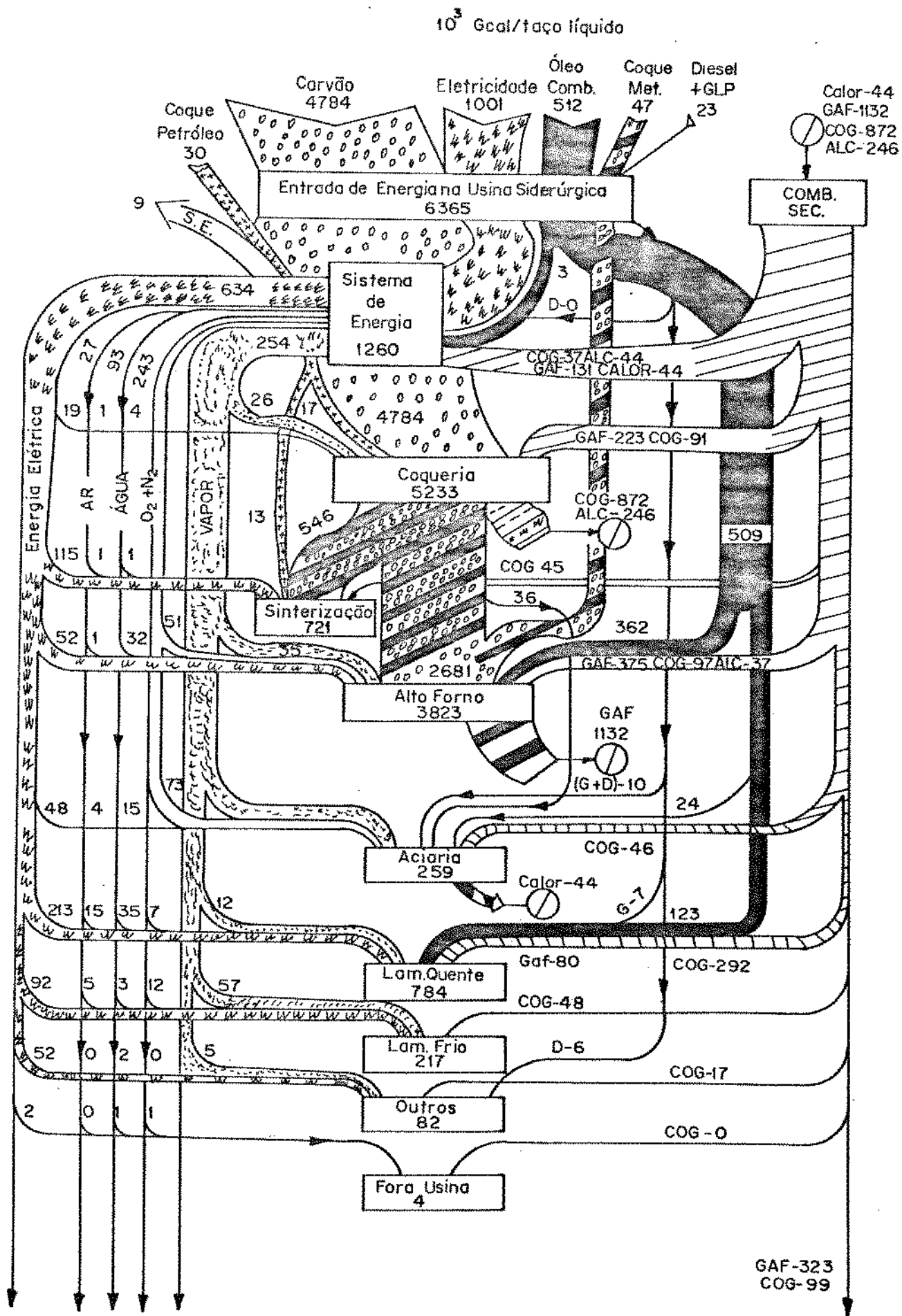


Figura:09 Fluxograma de Energia da Usiminas-1979

Fonte: Usiminas

isolamento térmico dos fornos, eliminação de desperdícios de energia na forma de vazamentos, etc. Por outro lado, a palavra "energística" é um jargão utilizado para se referir aos assuntos relacionados às tecnologias metalúrgicas, dizendo respeito à mudanças nos processos metalúrgicos em si, ou nas variáveis desses processos. Como exemplos podem ser citados:

- Substituição dos fornos Siemens-Martin por conversores LD;
- Substituição do lingotamento convencional por lingotamento contínuo;
- Adoção do carregamento a quente de placas e tarugos nos fornos de reaquecimento.

Iniciaremos essa análise sobre o potencial de conservação nas usinas siderúrgicas discorrendo sobre as possíveis tecnologias energísticas de economia de carvão. Um primeiro aspecto a ser abordado diz respeito à necessidade de homogeneização, tão perfeita quanto possível das matérias-primas siderúrgicas (minério de ferro, carvão e fundentes), o que permite uma composição mais homogênea para o ferro gusa e conseqüentemente menor volume de escória e menor consumo específico de coque ("coke rate"). A importância desse ponto é tão marcante que os japoneses tem trabalhado nos últimos anos no re-arranjo de suas instalações, destinando maiores áreas para essa finalidade [Masuda, 1983].

A redução do consumo de coque pode ser alcançada de maneira significativa através da adequação deste ao funcionamento do alto-forno. Além da necessidade de homogeneização física e química do carvão mineral, medida essa que acabamos de citar, existem tecnologias aplicáveis à área que permitem a obtenção de coque de qualidade metalúrgica superior a partir de uma mesma matéria-prima ou então, um produto de mesma qualidade a partir da mistura de carvão de qualidade inferior, e portanto de custo menor.

O controle do processo de aquecimento afeta de maneira direta o balanço térmico do processo de coqueificação, em especial a granulometria e a reatividade, que diminui com o aumento da temperatura [Monteiro, 1980]. Outras tecnologias possíveis de serem aplicadas à coqueria seriam o enforamento da mistura de carvão já pré-aquecida, a britagem seletiva de carvões, o enforamento de mistura de carvão parcialmente briquetado, e a extinção a seco do coque.

Com relação a esse último ponto é interessante que avancemos um pouco mais na análise. A tecnologia de extinção a seco do coque - "coke dry quenching" (CDQ)-foi desenvolvida na União Soviética e é bastante utilizada desde há alguns anos nas siderúrgicas japonesas. Consiste em um processo em que o coque incandescente à saída do forno é transportado até o alto de uma torre de resfriamento, onde é lançado em contra-corrente com um gás inerte. O tempo de duração do processo varia entre duas e três horas; o gás aquecido passa então por uma etapa de remoção de material particulado e é utilizado em geração de vapor, sendo mantido em recirculação nesse circuito. A Kawasaki Steel instalou uma unidade CDQ em 1977 na usina Chiba Works, tendo sido obtida uma eficiência de cerca de 84% na recuperação de energia sob a forma de vapor (520 kg vapor/ton coque resfriado); uma segunda unidade deve ter sido instalada em 1981, com aproveitamento do vapor em um sistema de co-geração para produção de 18 MW de potência elétrica [Kobayashi, 1981].

Como vimos no item anterior, o minério de ferro, antes de ser enornado nos alto-fornos deve ser aglomerado, recorrendo-se para tanto da sinterização ou pelletização. A importância dessas etapas do ponto de vista da economia de carvão mineral reside no fato de que o "coke rate" na redução pode ser minimizado desde que a composição química dos aglomerados e a homogeneidade físico e química sejam adequadas. As últimas pesquisas tem sido voltadas às suas características de fusibilidade quando submetidos a aquecimento e ação de gases redutores, visando dessa forma o funcionamento ideal do alto-forno [Masuda, 1983].

A principal forma energética utilizada no processo de sinterização é o coque, de maneira que ações visando conservação de energia nessa etapa também resultam em menor consumo de carvão mineral. Um estudo comparativo feito em 1979 entre diversas usinas da Siderbrás e a de Kamaishi, da Nippon Steel Co., mostrou que o consumo específico de coque nas unidades brasileiras, nessa etapa, era superior ao parâmetro japonês tomado como referência, em níveis variáveis entre 24 e 35%. As principais medidas energísticas que poderiam ser aplicadas na sinterização estão associadas ao controle da granulometria e proporção de coque no carregamento, à homogeneidade granulométrica da mistura, à umidade da mesma (que afeta a permeabilidade da carga), e ao controle do ponto final de

queima [Lemos & Nogueira, 1980].

Em sendo o alto-forno o principal equipamento consumidor de energia numa unidade siderúrgica, e em especial o principal ponto de consumo de carvão mineral no processo de produção, é óbvio que a ele devam estar voltadas as maiores atenções em programas de conservação de energia. Grande parte das reduções obtidas no coke-rate dos altos-fornos deve-se ao maior conhecimento do processo metalúrgico de redução de minério e seus aglomerados, e à consequente adoção de mecanismos de controle visando maior aproximação das condições reais de operação às condições ideais, obtidas teoricamente através de modelos matemáticos, como o descrito por Geskin [1980].

Os resultados alcançados no Japão nos últimos anos podem ser creditados em grande parte ao conhecimento adquirido através de pesquisas e estudos de modelagem do funcionamento dos altos-fornos. Os japoneses aproveitaram-se do instante em que decidiu-se substituir instalações antigas por novas, maiores e sofisticadas, trabalhando nos fornos desativados, desmontando-os cuidadosamente, e estudando de maneira detalhada sua coluna de carga. A eficácia dessa política pode ser avaliada através da comparação do coke-rate alcançado nas siderúrgicas do Japão em fins da década de 70, entre 340 e 350 kg coque/ton ferro-gusa, com os índices verificados nos Estados Unidos e Reino Unido à mesma época, 470 e 520 kg coque/ton gusa, respectivamente [Andrade, 1980].

Algumas das principais medidas adotadas pelos japoneses foram: melhoria das propriedades da carga dos altos-fornos, melhoria do controle operacional, aumento da temperatura e pressão de operação, desenvolvimento de novos sistemas de carregamento para distribuição uniforme da carga, redução e controle da umidade do ar de sopro, e injeção de combustível auxiliar nas ventaneiras. Quanto a esse último ponto é interessante mencionar a experiência norte-americana na injeção de finos de carvão, alcançando-se economias na faixa de 12 a 16% no consumo específico de coque para taxas de alimentação coque/carvão iguais a 1,1 [Andrade, 1980]. Voltaremos a comentar algumas outras possibilidades associadas a essa tecnologia mais à frente, quando discutirmos em maiores detalhes as alternativas de substituição entre formas energéticas nas empresas siderúrgicas.

Ainda com relação aos altos-fornos, embora não se cons

titua numa medida energística para redução do consumo de carvão mineral nas usinas, cabe destacar a tecnologia de recuperação da energia de expansão do GAF, através do acoplamento de uma turbina a gás no sistema de captação do GAF para geração de potência elétrica. Essa alternativa é possível em altos-fornos de grande porte, nos quais os gases efluem à alta pressão, sem qualquer prejuízo de seu poder calorífico, sem influência na operação do forno e com baixos custos operacionais. A Kawasaki Steel instalou a primeira unidade TRT ("BF Top Gas Pressure Recovery Turbine Generator" em 1974, na Mizushima Works; o sucesso foi tal, que em 1979 a produção de eletricidade através de sistemas TRT, nas diversas usinas do grupo Kawasaki, chegou a 5% da demanda total de energia elétrica nessas indústrias [Kobayashi, 1981]).

Finalmente, o último ponto relativo às tecnologias energísticas de economia do carvão mineral em altos-fornos. O enxofre é um elemento indesejável no aço, sendo normalmente introduzido no processo via carvão. A produção de ferro gusa com menor teor de enxofre exige do alto-forno maior consumo de coque: a redução do teor desse elemento químico de 0,03% para 0,02% em gusa com 1% de silício, implica em uma elevação do consumo específico de 40 kg de carbono por tonelada de ferro gusa. O procedimento alternativo, que possibilita economia no consumo de coque, é a dessulfuração do gusa líquido à saída dos altos-fornos e antes do carregamento nos conversores da aciaria [Masuda, 1983].

Veremos agora algumas das tecnologias potenciais para economia de óleos combustíveis nas indústrias siderúrgicas. No caso das usinas não integradas que não possuem altos-fornos e coquearias, as medidas de economia de energia são em sua totalidade medidas energéticas clássicas. No entanto, nas unidades integradas a coque e a carvão vegetal, a existência dos gases de coqueria e de alto forno (apenas gás de alto forno nas instalações a carvão vegetal) torna as possibilidades de redução do consumo de óleos combustíveis em geral bastante complexas.

De uma maneira bastante simples pode-se dizer que o consumo de óleos combustíveis em usinas integradas tem como finalidade exclusiva o atendimento de necessidades na eventual carência de gases secundários (GCO, GAF e GAC). Dessa forma, quanto maior for a economia desses gases nas diversas aplicações usuais nas siderúrgicas, maior a disponibilidade para deslocamento da demanda de óleos residuais. Obviamente, existe uma série de fatores

que faz com que o consumo de óleos não possa ser levado a zero, sendo possível, no entanto, minimizá-lo significativamente. Ainda nesta seção, quando comentarmos as possibilidades de substituição, voltaremos a abordar a questão do melhor aproveitamento dos gases secundários.

Vimos algumas das vantagens da substituição do processo de lingotamento convencional por lingotamento contínuo. Aqui deve-se destacar que a inexistência do processo de reaquecimento em fornos-poço nessa última via de produção, torna disponível para outras finalidades o volume de combustíveis aí empregado. Como foi comentado anteriormente, existe um espaço cativo para o lingotamento convencional face certas especificidades requeridas pelos produtos siderúrgicos, de maneira que cabem estudos visando a redução do consumo energético nessa via de produção. O consumo específico nessa etapa é fortemente influenciado pela não sincronização da produção da aciaria e da laminação, o que faz com que os lingotes a serem desbastados tenham que sofrer o processo de aquecimento de maneira praticamente integral nos fornos-poço. A medida energística óbvia é a programação dos tempos de produção de maneira a que os lingotes possam estar pré-aquecidos quando são carregados nos fornos [Masuda, 1980].

As placas ou tarugos provenientes do desbastador ou do lingotamento contínuo normalmente são resfriados até a temperatura ambiente, até serem submetidos à escarfagem, que consiste na remoção a maçarico de defeitos superficiais, sendo em seguida encaminhados aos fornos de reaquecimento para posterior laminação. As técnicas que possibilitam a eliminação da etapa de escarfagem, e consequentemente a eliminação do resfriamento são o lingotamento com redução de defeitos superficiais ou mesmo a escarfagem a quente. Essas tecnologias já estão disponíveis em alguns países do mundo: a Nippon Steel Co., por exemplo, utiliza-se da tecnologia de carregamento dos fornos de reaquecimento a quente e laminação direta, conseguindo dessa forma uma economia bastante representativa no consumo de combustíveis.

No início dos anos 80, a eficiência média dos fornos de reaquecimento contínuo das siderúrgicas brasileiras era da ordem de 25 a 30%. À época estimava-se que muito ainda precisava ser feito, inclusive a adoção das tecnologias energéticas mais elementares, como o efetivo controle da combustão.

Uma experiência bastante interessante visando o aproveitamento do calor sensível das peças siderúrgicas que precisam ser submetidas a processos de resfriamento foi realizada na primeira metade da década de 70 na Migushima Works, da Kawasaki Steel Co., com o desenvolvimento de caldeiras de recuperação. O vapor gerado era empregado no aquecimento de óleos pesados, na atomização em sistemas de queima, em processos industriais diversos e no aquecimento ambiental. Os resultados satisfatórios obtidos levaram à disseminação do emprego dessa tecnologia em várias outras siderúrgicas [Shinohara et alii, 1980].

Com relação ao consumo de óleos combustíveis, ou gases, é evidente que todas as medidas energéticas convencionais, tais como melhorias no isolamento térmico dos fornos, melhor controle da combustão, ações visando melhorias nos rendimentos dos recuperadores de calor, programação dos equipamentos de modo a eliminar ou reduzir tempos ociosos ou regimes intermitentes na produção, etc, propiciam reduções, em alguns casos significativas, no consumo energético.

Na área de substituição entre formas energéticas tem-se duas linhas mestras principais, uma visando o deslocamento da demanda de carvão mineral, e outra que objetiva a substituição dos óleos combustíveis.

Retomemos inicialmente a discussão acerca da injeção de combustíveis auxiliares nos altos-fornos. No período anterior à crise do petróleo, injetava-se óleo combustível nas ventaneiras dos fornos como forma de reduzir o consumo de coque e aumentar a capacidade de produção de ferro-gusa. A tendência mais recente tem sido a de se eliminar o uso de óleos residuais nessa aplicação, sendo que em alguns casos este pode ser levado a zero. A isso muito contribuiu a recessão do mercado de aço, que permitiu a operação dos fornos a marcha reduzida sem a necessidade de apoio do óleo.

Com a retomada do crescimento econômico, e, por consequência, da necessidade de uma maior produção de aço, faz-se necessária a reformulação do projeto dos altos-fornos. As possibilidades que se abrem para a injeção de formas energéticas alternativas são o uso de alcatrão, gás natural ou finos de carvão. A injeção de alcatrão em altos-fornos é uma técnica já dominada, inclusive no Brasil, encontrando problemas na não disponibilidade de uma quantidade suficiente para as necessidades do processo, mesmo em

usinas integradas em que essa substância é sub-produto da coqueificação.

A possibilidade de utilização de gás natural reveste-se de especial interesse no instante em que o país adquire condições para que esse insumo tenha maior penetração na matriz energética. Essa tecnologia é bastante empregada nos países mais industrializados, face principalmente à baixa necessidade de investimentos.

O emprego de finos de carvão pelas ventaneiras dos altos-fornos é a opção considerada mais importante, apesar dos altos custos associados e da sofisticação requerida no processo. A injeção de combustíveis sólidos através das ventaneiras do alto-forno não é uma idéia nova: a patente para injeção de finos de carvão mineral, coque ou carvão vegetal foi emitida em 1877, na Alemanha. De lá até nossos dias várias experiências foram realizadas na União Soviética, Estados Unidos, França e China. Já em fins da década de 70 a tecnologia de uso de carvão mineral era dominada em toda a sua extensão pela ARMCO Co., nos Estados Unidos, e pela Nippon Steel Co., no Japão. No Brasil, a ACESITA optou em 1975 pela técnica de injeção de finos de carvão vegetal tomando por base as conclusões obtidas de um estudo técnico-econômico; em 1980 iniciou a operação de uma planta piloto, e finalmente em outubro de 1981 deu partida à primeira instalação em caráter experimental.

Nos altos-fornos a coque, com ou sem injeção de óleo, ou nos altos-fornos a carvão vegetal com utilização de óleo, a introdução de finos de carvão vegetal em substituição ao coque ou óleo diminui o carregamento de enxofre no equipamento. Como consequência menores volumes de escórias poderão ser utilizados, o que implica em maior produtividade do alto-forno [Assis et alii, 1983].

O carvão vegetal também pode ser utilizado no processo de sinterização nas usinas siderúrgicas que o empregam como redutor. A Belgo Mineira é o exemplo mais marcante dessa aplicação; a USIMINAS também vem progressivamente empregando carvão vegetal na produção de sinter, em substituição à moinha de coque. O uso de carvão vegetal em substituição parcial na mistura de sinterização tem sido efetuado com sucesso até a proporção de 30%. A esse nível não tem-se verificado alterações na qualidade do produto, obtendo-se ainda redução de 5% no gasto de combustível e um aumento de 14% na produtividade do processo [Assis et alii, 1983].

Vejamos agora alguns aspectos relativos à substituição de óleos combustíveis nas usinas siderúrgicas. Os primeiros esforços voltados à substituição entre formas energéticas nesse segmento industrial objetivaram o deslocamento da demanda de óleos, face à restrições da oferta ou ao alto custo desse energético. Conjuntamente com as medidas de conservação de energia, o consumo de óleos residuais decaiu, em geral, de maneira acentuada.

A tendência que se verificou nas indústrias siderúrgicas de grande parte das nações industrializadas deu-se com maior ou menor defasagem em relação à primeira alta acentuada dos preços internacionais do petróleo, dependendo, entre outros fatores, do grau de dependência externa no suprimento de petróleo e seus derivados, e da importância relativa da indústria siderúrgica no contexto econômico do país.

No Brasil, como veremos mais à frente, essa tendência ocorreu com um certo atraso, enquanto no Japão as primeiras medidas foram tomadas já em 1973. Por exemplo, nas usinas da Kawasaki o consumo de óleos combustíveis em 1979 chegou a 54% do consumo verificado em 1973 [Kobayashi, 1981].

O ponto comum entre o que ocorreu nos diversos parques siderúrgicos é que esses resultados devem ser atribuídos em grande parte à maior preocupação no sentido de se utilizar mais racionalmente os gases secundários. No Japão, os esforços de conservação de energia tem se pautado pelo melhor uso dos gases sub-produtos dos processo de produção de ferro e aço, e pela limitação nas compras de combustíveis e energia elétrica. De acordo com Higashi [1982], no início dos anos 80, 40% da demanda energética das siderurgias japonesas era atendida por gases secundários.

Em muitas instalações os gases deslocaram a demanda de óleos combustíveis, principalmente nas operações de pré-aquecimento e aquecimento dos produtos siderúrgicos na etapa de laminação, bem como passaram a ser utilizados em sistemas de geração de potência elétrica.

Finalmente, devem ser mencionados alguns aspectos relativos às possibilidades de se promover economias de energia elétrica nas indústrias siderúrgicas. Novamente, podem ser identificadas duas linhas principais, uma através de ações específicas no controle das instalações e equipamentos elétricos, e outra no sentido a se obter reduções no consumo de eletricidade de maneira indireta,

através de economia de utilidades: águas industriais, ar comprimido e oxigênio. De acordo com alguns relatos sobre tendências neste ramo da indústria, essa última opção é a que se mostra, de forma geral, mais promissora.

5.2.3. Outras Indústrias Metalúrgicas

5.2.3.1. Processo Produtivo e Consumo Energético

De acordo com o exposto no texto de caracterização geral das indústrias metalúrgicas, entendemos por outras indústrias desse segmento industrial todas aquelas que não são fabricantes de produtos de ferro gusa e aço.

Embora a rigor não seja correto restringir a classificação genérica de outras indústrias metalúrgicas ao segmento específico de instalações que se dedicam à atividades de fundição, para efeito da análise a que nos propomos fazer nesse trabalho, a abordagem específica dessa classe de indústrias é mais justificável, face a sua maior relevância do ponto de vista de consumo energético em relação às demais.

Entende-se por indústria de fundição o conjunto dos estabelecimentos industriais que utilizam o processo de fundição para produção de peças metálicas em bases comerciais. A distinção que se faz de outros processos de conformação de metais está no fato de que nas fundições é possível chegar-se à peça conformada diretamente a partir do metal líquido, enquanto nos demais, após a etapa de fusão, a forma **solidificada**, normalmente na forma de lingotes, deve ser laminada e/ou forjada. Via de regra esses produtos são intermediários, podendo ser submetidos a novas operações de conformação plástica, tais como forjamento em matriz, estampagem, extrusão, repuxo, **recalque**, etc e/ou usinagem, e/ou união por solda, até que a forma final seja obtida [IPT, 1981].

Nas fundições, as principais etapas do processo produtivo, do ponto de vista do consumo de energia, são a fusão, o aquecimento de panelas, a moldação e macharia, e o tratamento térmico. A importância de cada uma dessas etapas sobre o consumo global de cada unidade industrial é função do tipo de material processado.

A indústria de fundição é normalmente sub-dividida em instalações produtoras de peças de aço, ferros fundidos e mate-

TABELA 18

ESTRUTURA DE CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO (%)

Sub-divisão	Fusão	Moldagem e macharia	Aquecimento de panelas	Tratamentos térmicos	Outros	Total
Fundações de aço	23,0	6,3	3,1	31,2	36,4	100,0
Fundações de ferros fundidos	60,0	9,8	1,4	12,6	16,2	100,0
Fundações de não- ferrosos	65,0	7,7	6,6	2,4	18,3	100,0
Perfil médio das fundações	55,0	9,0	2,4	14,2	19,4	100,0

FONTE: IPT

riais não-ferrosos. Nas fábricas que trabalham com ferro fundido, a etapa de fusão representa cerca de 60% do consumo energético global, sendo que esse índice está em torno de 65% do consumo total nas indústrias de não-ferrosos, mas apenas 23% nas unidades que trabalham com aço. Na tabela 18 apresenta-se a estrutura de consumo de energia para os três segmentos principais da indústria de fundição.

Para descrição do processo produtivo nas indústrias de fundição vamos adotar como base a sequência de produção de materiais metálicos a partir de ferros fundidos. O fluxograma do processo é apresentado na figura 10.

No segmento de ferros fundidos as matérias-primas normalmente empregadas são o gusa, ferros-ligas e sucatas, mais aportes variáveis de sub-produtos das diversas etapas de produção que são reaproveitados, como por exemplo canais e massalotes, cavacos e rejeitos de usinagem e peças refugadas. O conjunto desses materiais, dosados nas proporções pré-especificadas para o tipo de produto final que se deseja, constitui a carga dos fornos de fusão.

A operação genericamente denominada fusão pode ser entendida como uma sequência de quatro etapas básicas, quais sejam: aquecimento da carga sólida, fusão propriamente dita, superaquecimento e manutenção no estado líquido.

O superaquecimento visa dar ao material temperaturas de vazamento suficientes para o bom escoamento do metal no molde, com pensando a transferência de calor para a panela de vazamento, para o ambiente e para o molde. Embora não seja usual, em alguns casos costuma-se elevar a temperatura a um nível bastante superior à temperatura de fusão de maneira a que haja homogeneização do banho. Por outro lado, a manutenção do metal no estado líquido tem como função evitar perdas enquanto o material não é vazado em sua totalidade, ou durante o tempo necessário às operações de tratamento. Em geral empregam-se fornos especiais para essa última etapa, dada a diferença de potência em relação às etapas anteriores.

A definição do tipo de equipamento utilizado na fusão deve levar em consideração as características dos materiais a serem fundidos, e os demais processos empregados no processo de produção, além das restrições locais ou estratégicas no fornecimento de energia. Na tabela 19 apresentam-se temperaturas típicas de fusão e superaquecimento para vários metais e ligas, bem como os ti-

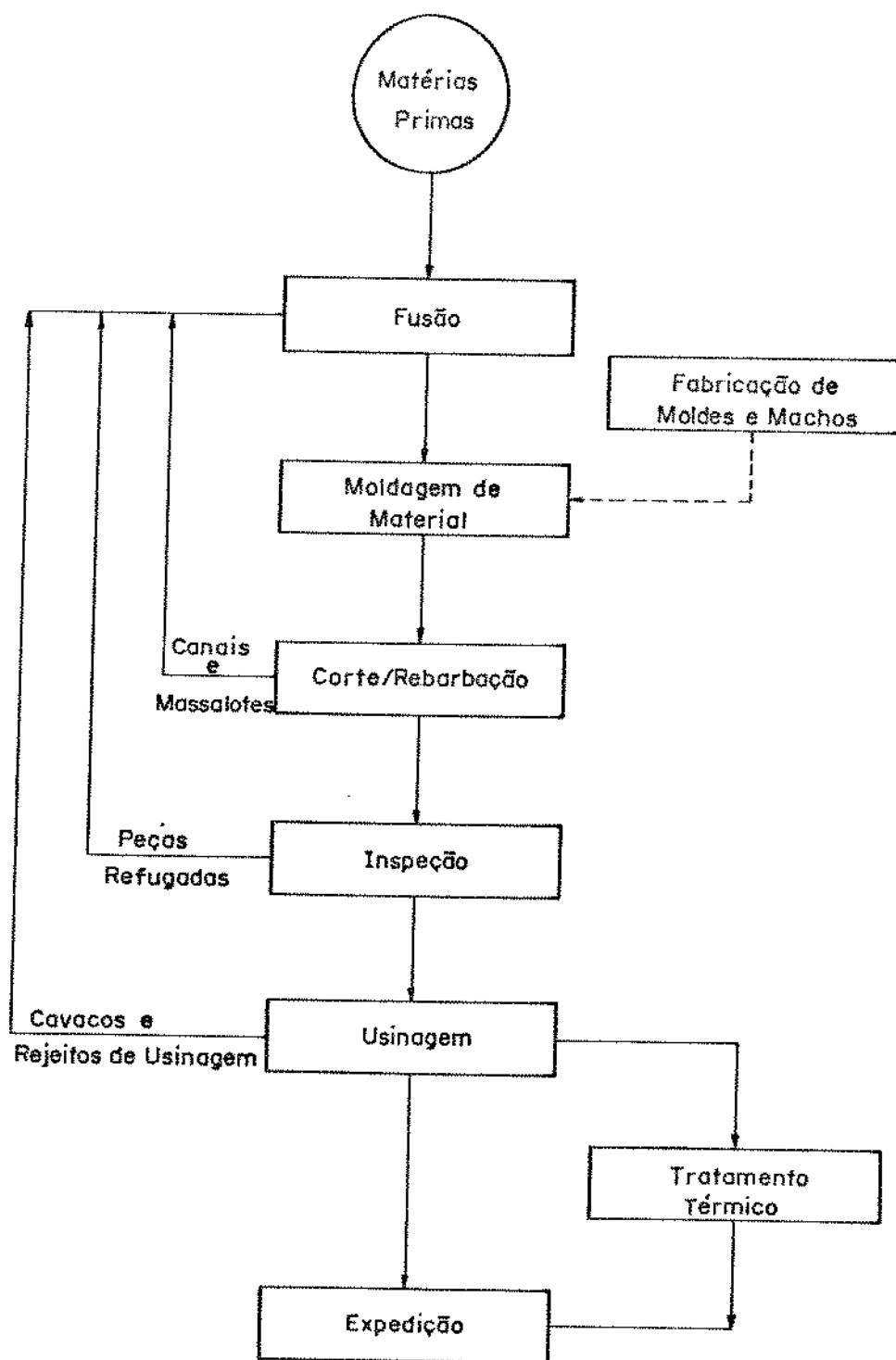


Figura:10- Fluxograma do Processo de Produção de uma Fundição de Ferros Fundidos
Fonte: IPT

pos de fornos usualmente empregados nessa operação. Deve-se destacar o fato de que essas informações são típicas de 1980, tendo havido alterações nesse período, principalmente a substituição dos equipamentos a óleo combustível por equipamentos elétricos.

TABELA 19

CARACTERÍSTICAS DA FUSÃO DE VÁRIAS LIGAS E METAIS

Material	Temperaturas típicas °C		Tipo de Forno
	Fusao	Superaquecimento	
Aços carbono	1470-1520	1550-1620	Arco/Indução
Aços ligados	1400-1520	1550-1650	Arco/Indução
Ferros fundidos nodulares	1150-1200	1450-1550	Cubilô, Cubilô- indução, arco, óleo
Ferros fundidos cinzentos	1150-1250	1300-1450	Cubilô, indução, arco, chama di- reta
Cobre	1080	1280-1300	Cadinho/Indução
Bronzes	990-1030	1050-1300	Cadinho/Indução
Latões	940-1010	1020-1290	Cadinho/Indução
Ligas de Alumí- nio	540- 760	635- 788	Cadinho/Indução /Resistência
Ligas de zinco	386	386- 500	Cadinho/Indução

FONTE: IPT

De acordo com levantamento realizado pelo IPT [1981], o perfil de consumo energético na etapa de fusão caracteriza-se pela incidência marcante da eletricidade nas fundições de aço, da eletricidade, coque e óleos combustíveis nas indústrias de ferros fundidos, e pelo consumo de eletricidade, óleos combustíveis e óleo diesel nas fundições de não-ferrosos. Deve-se ressaltar uma vez mais que essas informações são típicas do fim da década de 70 e início da de 80, não refletindo, portanto, as alterações verificadas nos últimos anos.

Paralelamente ao processo de produção das peças metálicas, as indústrias de fundição possuem um setor responsável pela fabricação de moldes e machos. Do ponto de vista energético, a incidência da Moldagem e Macharia sobre o consumo total da instala-

ção não é muito significativa, conforme pode ser verificado na tabela 18.

Os moldes empregados em fundição são responsáveis pela forma e pelas dimensões da peça final, enquanto os machos são corpos destinados a conformar as partes da peça que não podem ser moldados a partir do modelo. Os moldes podem ser permanentes ou para uso uma única vez, sendo que a escolha de um ou outro depende de uma série de fatores; em geral, empregam-se os moldes permanentes na fundição de ligas de zinco, alumínio e magnésio, e de maneira menos generalizada no caso de ligas de cobre.

No Brasil, são bastante difundidas as tecnologias de moldagem em areia (não permanente), destacando como principais a moldagem em areia/argila, a moldagem em areia ligada com resinas e/ou óleos de cura a frio, moldagem em casca ("shell molding"), moldagem em areia ligada com silicato de sódio e moldagem em areia/cimento.

Com relação aos processos de fabricação de machos, pode-se classificá-los naqueles que necessitam de calor para a cura, como são os casos dos processos areia/óleo, "shell" e "hot box", e nos que não precisam de calor para a cura, também chamados processos frios, destacando-se o "cold box", o dióxido de carbono e vários outros denominados "cura a frio".

O uso de energia nas indústrias de fundição, na etapa de fabricação de moldes não permanentes e machos, está correlacionado à necessidade de manipulação e preparação das matérias-primas, e principalmente à necessidade de submeter os corpos já conformados a processamento térmico, de maneira que possam ocorrer a secagem e a cura de resinas e elementos de ligas. As temperaturas nessa etapa não são elevadas, variando de 90 a 250°C, dependendo da tecnologia empregada.

Ainda de acordo com as informações recolhidas pelo IPT [1981], a estrutura de consumo energético nessa seção é bastante diversificada, com fracionamento da demanda entre óleos combustíveis, energia elétrica, óleo diesel, querosene, carvão mineral e vegetal, e GLP.

O consumo de energia associado à fundição em moldes permanentes difere do processo de moldagem em areia face algumas particularidades do primeiro. Na produção com moldes permanentes cada molde produz um grande número de peças, o que faz com que a

energia de moldagem para cada unidade produzida seja via de regra muito pequena. Um segundo aspecto de interesse é o fato de que a solidificação das peças vazadas é em geral bastante demorada, o que faz com que o tempo de manutenção do metal no forno na forma líquida seja em geral longo, implicando em consumo energético muitas vezes substancial. Além do consumo de energia, tal qual num processo de fusão normal não permanente (aquecimento, fusão e superaquecimento das ligas), tem-se o consumo adicional para manutenção do metal à temperatura de vazamento ou injeção, aquecimento das partes do forno em contato com o metal e manutenção da temperatura da máquina de injeção.

Com relação às etapas de alimentação e moldagem das peças, corte e rebarbação, e usinagem, é interessante notar que estas não possuem altos consumos energéticos por si, embora constituam-se em operações de grande importância do ponto de vista do consumo de energia da instalação como um todo, na medida em que menores índices de peças rejeitadas, menor volume de rejeitos de usinagem e menor quantia de metal na forma de canais e massalotes excluídos da linha efetiva de produção implicam em menor consumo específico. Essas etapas não serão analisadas detalhadamente nesse item, mas voltarão a ser abordadas quando da discussão das possibilidades de conservação nas fundições.

O consumo energético na etapa de tratamento térmico das peças metálicas representa o segundo maior ponto de relevância nas indústrias de fundição, graças à importância que esse processo tem nas instalações que trabalham com aço, e em menor escala na queles que produzem artigos de ferro fundido. A demanda de energia está associada ao aquecimento das peças a serem tratadas, até a temperatura especificada pelo processo em fornos especiais. As principais formas energéticas aplicadas nessa etapa são os óleos combustíveis, óleo Diesel, energia elétrica, carvão vegetal, e, em casos esporádicos, GLP e querosene [IPT, 1981].

O último comentário a ser feito diz respeito à parcela de consumo de energia classificada como "Aquecimento de panelas". Em várias fundições os recipientes de transporte do metal líquido dos fornos até os moldes são aquecidos quando vazios de maneira a que não haja choque térmico e solidificação parcial das camadas de material em contato com as paredes das panelas quando do vazamento em seu interior. A incidência desse consumo sobre a demanda energética total da fábrica é função de uma série de fatores, en-

tre os quais o "lay-out" da instalação e a estrutura organizacional da mesma. Os insumos energéticos aqui empregados são, em geral, os óleos combustíveis, a eletricidade, o óleo diesel e o GLP.

5.2.3.2. Potencial de Conservação

Em instante algum nos últimos anos foi possível identificar uma estratégia única visando a conservação e/ou substituição de energia nas indústrias de fundição. A esse fato concorreram vários fatores, devendo-se destacar a diversidade das empresas desse segmento, tanto no tamanho, quanto na estrutura organizacional, o grau de utilização de tecnologias e a própria dinâmica de mercado. Ressalta-se ainda o fato de que, do ponto de vista da conservação de energia, as possibilidades variam de acordo com a sub-classificação dessas indústrias, isto é, se são empresas que trabalham com aço, ferros fundidos ou não-ferrosos [CESP/FDTE, 1981].

De uma forma bastante genérica pode-se dizer que o potencial de economia de energia nas indústrias de fundição se situa em cada uma das quatro etapas do processo produtivo de maior relevância sob a ótica do consumo energético (fusão, tratamento térmico, moldagem e macharia e aquecimento de placas) e no efetivo controle da produção nas demais etapas em que o nível de material rejeitado e/ou enviado à refusão pode comprometer a economicidade do processo do ponto de vista energético.

Vimos anteriormente que a etapa de fusão é a responsável pela maior parcela do consumo de energia nas indústrias de fundição como um todo. Assim é esse o processo que primeiramente será alvo de atenção nessa análise.

O forno cubilô é o equipamento de fusão de emprego comum na fabricação de ferros fundidos, dada a necessidade de investimento relativamente baixo para instalação da unidade básica, e ao custo de operação também considerado baixo quando comparado a outros processos de fusão. Deve ser mencionado o fato de que a tendência verificada nos últimos anos da década de 70, e início dos anos 80, foi de desativação de algumas unidades cubilô e maior penetração dos fornos elétricos de indução [IPT, 1981; CESP/FDTE, 1981].

O forno cubilô é um equipamento tubular vertical que opera a contracorrente, isto é, a carga sólida, constituída de ma-

teriais metálicos, coque e fundentes, é carregada no topo do forno e desce durante a operação, entrando em contato com os gases de combustão, que se formam na parte inferior e se deslocam em movimento ascendente.

O uso exclusivo de coque nacional nesse tipo de equipamento só tem sido possível com enriquecimento do ar de queima com oxigênio, medida que permite menor consumo de combustível, e adições de calcário à carga, a fim de aumentar a basicidade da escória que se forma de maneira mais abundante face ao maior teor de cinzas do coque [IPT, 1981].

Salvo considerações em contrário, considera-se que um forno cubilô esteja em operação ótima no instante em que for possível obter a máxima temperatura do ferro na bica de corrida para uma dada quantidade de coque carregado. O ponto de operação ótima depende de vários parâmetros de operação, devendo-se destacar que o funcionamento nesse ponto propicia economias diretas no consumo de coque, e economias indiretas no consumo de energia uma vez que são menores as possibilidades de rejeição do material e menores as perdas por oxidação dentro do forno. Dentro desse espírito é preciso tornar clara a necessidade da monitoração e controle dos principais parâmetros de operação do forno, tais como vazão de ar e temperatura do metal líquido, sem o que não é possível atingir as condições ideais de trabalho.

O pré-aquecimento do ar de combustão dos fornos cubilô através da recuperação da energia efluente com os gases de escape é uma das medidas de conservação de maior potencial de economia. Dois aspectos devem ser destacados, um associado ao menor consumo de coque em resposta à introdução do ar pré-aquecido, e outro relacionado à melhoria das condições de operação e qualidades metalúrgicas do metal. Quanto ao primeiro ponto, estudos do IPT [1981] avaliam ser possível obter economias da ordem de 20 a 25% sobre o consumo correspondente à operação do cubilô com ar frio, para pré-aquecimento do ar a níveis de temperatura da ordem de 250° C. Com relação ao segundo ponto as vantagens estariam na menor probabilidade de entupimento das ventaneiras, menor absorção de enxofre pelo metal, menor oxidação do silício, do manganês, ferro e outras ligas, menor custo com refratários e menor gasto com fluxantes.

Uma importante alteração possível de ser feita nos fornos cubilô convencionais, é a adaptação de duas filas de ventanei

ras ao invés de sua disposição tradicional em um único plano horizontal. No caso dessa modificação, passa a ser essencial o controle rígido da proporção de ar que é insuflada em cada uma das duas filas. A melhora nas condições de operação não se dá pelo menor teor de monóxido de carbono no alto do forno (um dos parâmetros para avaliação da operação), mas pelo fato de que dessa forma é possível ampliar a zona de fusão, permitindo maior tempo de contato entre o ferro líquido e o coque incandescente, resultando em uma menor temperatura do metal e um maior conteúdo de carbono e silício [Dryden, 1975].

Os fornos elétricos a indução tiveram facilidade para penetração no mercado em substituição a fornos convencionais a combustível, dada a campanha para ampliação do mercado de eletrotermia nos últimos anos, e também devido a algumas características dos mesmos, tais como flexibilidade de operação e facilidade de controle de temperatura e da composição da carga e do produto. Algumas restrições, no entanto, fizeram com que houvesse uma certa restrição à disseminação de seu uso com limitações de ordem financeira e organizacional, dada a maior necessidade de manutenção, limitações no processo, face à pequena possibilidade de realização de refino, e até maior risco potencial de acidentes [IPT, 1981].

Existem dois tipos de fornos elétricos de indução: os fornos a cadinho e os fornos de canal, cada um com suas vantagens e desvantagens, que acabaram por definir faixas específicas do mercado para cada um deles.

As possibilidades de conservação de energia pelo lado do consumo de eletricidade estão presas à necessidade de escolha do equipamento adequado ao ritmo e volume de produção, enquanto ações visando economia pelo lado da demanda de ponta poderiam ser entendidas na opção por equipamentos de menor potência e operação em horários fora da ponta de carga do sistema.

Os fornos elétricos a arco direto encontraram maior espaço nos processos industriais de fundição de aço, graças à possibilidade de se alcançarem altas temperaturas e de realização da etapa de refino. Do ponto de vista do consumo energético, de acordo com estudos feitos pelo IPT [1981], apenas cerca de 40% da energia fornecida ao equipamento é efetivamente absorvida pelo metal, registrando-se perdas térmicas através das paredes, perdas elétricas e perdas através dos gases do processo, água de alimentação, escó-

ria, etc. Deve-se salientar que economias de energia até certo ponto significativas podem ser obtidas através de ações mais cuidadosas sobre os revestimentos refratários e isolantes, e também via arranjos de produção.

De uma maneira geral, ações desse gênero são necessárias a qualquer tipo de fornos nas indústrias de fundição. É tendência geral o baixo nível de preocupação para com cuidados operacionais e rotinas de manutenção, o que faz com que, via de regra, esses equipamentos operem em condições precárias.

A título de ilustração apresenta-se a experiência desenvolvida na Fundição Tupy S.A. (Joinville - S.C.) [Schmidt, 1981], onde as medidas de economia de energia visaram redução do tempo de aquecimento nos fornos cubilô, melhor programação das cargas nos fornos a indução, controle do fator de carga através de microprocessadores, uso de dupla fileira de ventaneiras nos fornos cubilô e redução do tempo de aquecimento das panelas de vazamento.

As medidas potenciais de conservação de energia na etapa de moldagem em peças de areia se confundem em grande parte com medidas que podem ser preconizadas no sentido de se obter conservação de materiais, isto é, uma maior reciclagem dos materiais utilizados, principalmente a areia. As poucas informações existentes na literatura se prendem exatamente a essa linha de raciocínio, pouco avançando em pontos específicos dos processos de conversão e transferência de energia. Sabe-se que a etapa de secagem de areia envolve cerca de 50% da energia total requerida no processo de fabricação de moldes em areia, o que justifica plenamente a preocupação que se nota para com a reciclagem de materiais.

Tomando por base informações relativas às iniciativas adotadas na Tupy na área de moldagem e macharia, pode-se identificar como medidas possíveis a substituição de processos que requerem maior demanda energética por processos de menor consumo, como é o caso dos processos a óleo, shell e "hot box", substituídos pelos métodos "cold-box", dióxido de carbono, etc. Outras experiências bem sucedidas tem sido a redução de bicos queimadores, do tempo de aquecimento dos ferramentais, e cuidados especiais visando a diminuição dos rejeitos de moldes e machos.

Igualmente bem sucedidos foram as experiências visando minimizar as perdas nas estufas, atuando-se no sentido a se reduzir as trocas térmicas através das paredes dos equipamentos, e no

controle do processo de combustão. De acordo com Schmidt [1981], em alguns casos foi possível reduzir em até 50% o consumo específico de energia.

Por outro lado, podem ser citadas como principais fatores que afetam o consumo de energia na fundição em moldes permanentes, a ausência ou deficiência de controle de temperatura do metal no forno, más condições ou mesmo inexistência de isolantes térmicos, desorganização da produção, o que provoca partidas e paradas frequentes do forno, deficiências gerais no processo de combustão devido à inadequação ou desregulagem dos sistemas de queima, e o superaquecimento dos canais de vazamento.

O rendimento metálico na indústria de fundição, isto é, a relação entre o peso da peça e o peso total do metal vazado no molde é um fator de extrema importância do ponto de vista do consumo específico de energia: quanto menor a relação, maior a massa de metal vazado não transformado efetivamente em produto. A questão fundamental para melhoria do rendimento metálico é o cálculo tão exato quanto possível das necessidades reais de canais e massalotes, o que nem sempre ocorre nas indústrias do gênero no Brasil, face ao conservadorismo existente nas pessoas ligadas à produção, que sistematicamente optam por técnicas tradicionais em detrimento de novos conceitos e tecnologias.

Quanto à etapa de tratamento térmico, várias oportunidades de conservação de energia podem ser identificadas, estando elas associadas ao melhor projeto dos fornos, adequação dos dispositivos de combustão e controle operacional dos mesmos, cuidados na operação e manutenção dos fornos e otimização na programação de cargas. A esses fatores podem ser acrescentados alguns outros pontos que podem constituir boas possibilidades de racionalização do uso da energia nesse processo. O primeiro deles está associado à possível obtenção de peças metálicas em ligas, que não requerem tratamento térmico, mas atendem às exigências das normas e se mantêm econômicas quanto ao restante do processo de fabricação.

Outro ponto a ser comentado está relacionado à alteração dos ciclos dos processos de tratamento térmico, seja em função do rearranjo da carga no interior do forno, de maneira a que o aquecimento ocorra de maneira homogênea, seja no estabelecimento de ciclos tão curtos quanto possível, mas que propiciem às peças as características finais desejadas.

O último ponto a ser destacado nessa análise de possibilidades de conservação de energia nas indústrias de fundição é o sistema de ar comprimido, sem dúvida uma das mais caras formas de energia nesse gênero de indústria, e uma das áreas de maior potencial de economicidade. Cabe citar novamente a experiência da Fundição Tupy, onde através de programas simples de identificação de vazamentos e ações no sentido de repará-los, foram obtidos resultados bastante expressivos [Schmidt, 1981].

5.2.4. Tendência Comportamental em Conservação e Substituição

Os dados do Balanço Energético Nacional para a indústria de ferro gusa e aço, assumidos como representativos para o segmento siderúrgico, apresentados na figura 11, mostram uma tendência quase sempre vigorosamente crescente para o consumo energético global, a menos nos anos de 1980, em que registrou-se uma queda acentuada, e em 1981, quando houve um crescimento bastante tímido, ambos fenômenos motivados, como veremos mais a frente, por comportamentos atípicos da produção de aço [Ministério das Minas e Energia, 1985].

Dada a influência marcante da energia no processo de produção siderúrgica, e o peso desse segmento industrial na estrutura de consumo energético do país, foi a indústria siderúrgica uma das primeiras a se mobilizar no sentido de estabelecer metas e programas de conservação e substituição de energia.

A primeira ação concreta, ainda em meados da década de 70, foi a realização do Plano Mestre da Siderurgia, um estudo sobre o uso da energia nas siderúrgicas nacionais, e o estabelecimento de projeções de consumo para vários insumos energéticos tomando-se como base as metas de produção de aço definidas em programas governamentais. Preconizava-se a substituição parcial de carvão importado e óleo através do uso de carvões nacionais e outros combustíveis sólidos, a adoção de estruturas de produção menos dependentes do coque ou óleo (unidades a carvão vegetal, uso mais intensivo de sucata, fornos elétricos, etc), o aprimoramento de técnicas operacionais visando redução do consumo específico desses energéticos, melhor aproveitamento dos gases gerados nas usinas e outros subprodutos do beneficiamento de carvões, e redução das perdas térmicas através da melhoria das instalações [CESP/FDTE, 1981].

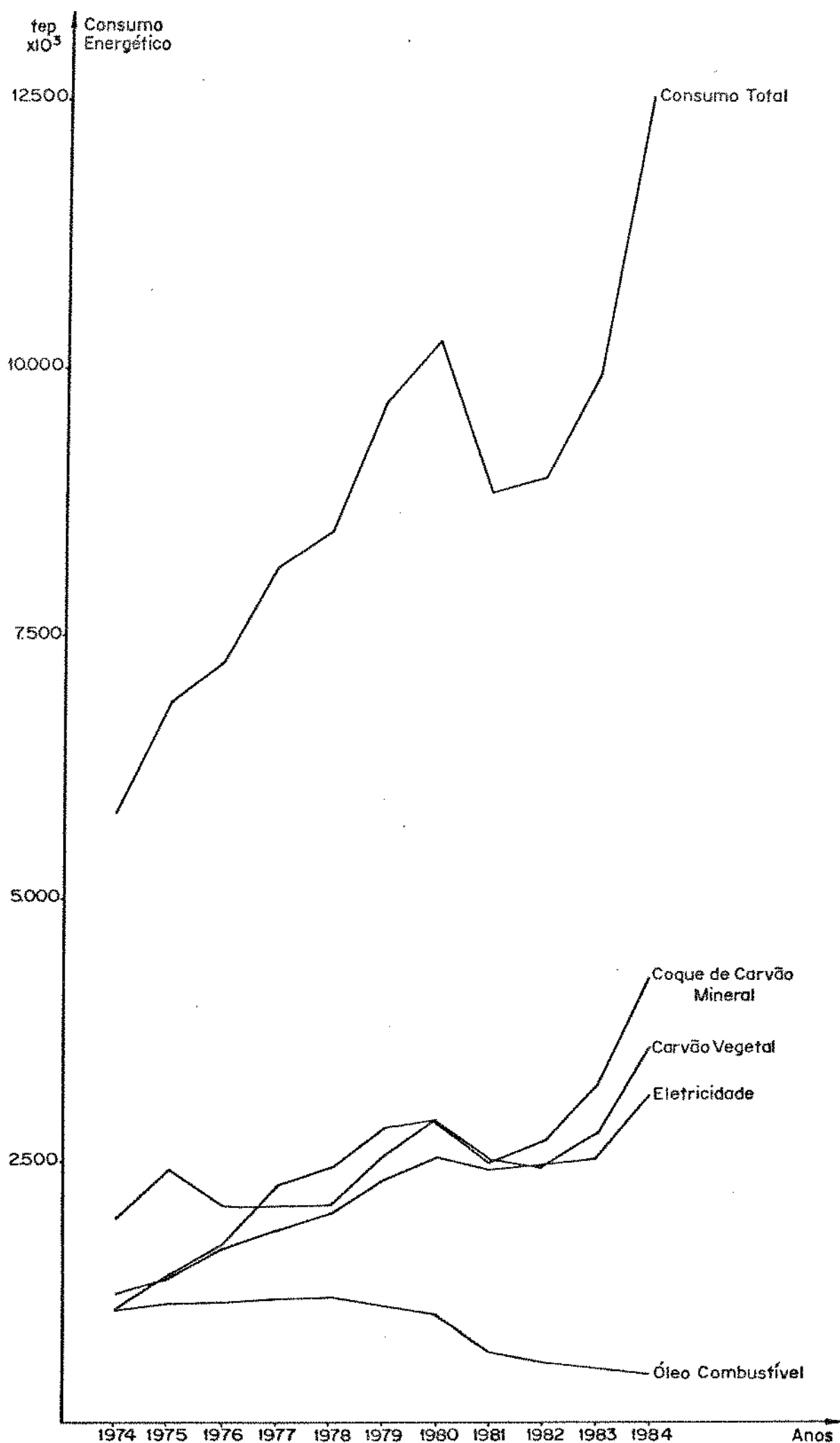


Figura:11- Evolução do Consumo Energético na Indústria de Ferro Gusa e Aço. Brasil
 Fonte: Balanço Energético Nacional, 1985

Esse estudo foi tomado como base para a adoção de políticas governamentais no setor e foi utilizado, anos mais tarde, como ponto de partida para o "Protocolo do Óleo Combustível", firmado entre o governo e as empresas siderúrgicas. O documento foi assinado em novembro de 1979 entre os Ministérios da Indústria e do Comércio, das Minas e Energia e dos Transportes, o CONSIDER, a SIDERBRÁS e o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS).

Em linhas gerais, o Protocolo delineava como ações principais a economia, a racionalização e finalmente a substituição de todo o óleo combustível usado como fonte de calor nas siderúrgicas, definindo três fases e agrupando medidas sucessivas de curto, médio e longo prazo, com complementação do processo em dezembro de 1984. As medidas deveriam ser tomadas em ordem crescente de dificuldade e custo, começando na administração da produção e eliminação de desperdícios, estabelecendo modificações nos processos de maneira a diminuir o consumo de óleo e utilizar de maneira mais eficiente os gases gerados na usina, e, finalmente, instalando equipamentos para emprego de fontes alternativas de energia. A substituição planejada pelo protocolo se daria no sentido de intensificar o consumo de carvão mineral e finos de carvão vegetal [CESP/EDTE, 1981].

Observando-se a curva de evolução do consumo de óleos combustíveis nas indústrias produtoras de ferro gusa e aço, concluímos que as medidas adotadas no sentido de se reduzir a demanda desse energético nas siderurgias, ligadas ou não ao Protocolo, foram eficazes. De acordo com avaliações feitas pelo Ministério da Indústria e do Comércio [Souza, 1985], o consumo específico de óleos combustíveis nesse segmento industrial apresentou redução de 65% no período 1979-1984.

Na verdade, tomando por base informações de dois outros estudos [Rousso, 1984; Ratton, 1980], é possível verificar que essa tem sido a tendência desde os primeiros instantes da crise energética, uma vez que, conforme pode ser observado na figura 12, a evolução do consumo específico de óleos combustíveis tem sido de crescente desde 1974.

De uma maneira genérica pode-se dizer que a tendência do setor siderúrgico com relação ao consumo total de energia tenha sido também de adoção de esforços para racionalização da demanda global. A curva de consumo específico energético total (figura

12) aponta para uma evolução decrescente no período 1975-1980 , instante a partir do qual registra-se um ligeiro crescimento. Rousso [1984] atribui esse fenômeno a uma postura passiva do empresariado face às condições de suprimento e preço do petróleo no mercado internacional bem como ao comportamento do mercado de produtos siderúrgicos.

Tomando como válidas as conclusões que podem ser tiradas das curvas de evolução dos números índice de produção, consumo de energia e consumo específico (figura 13) é possível supor que o consumo energético específico na indústria siderúrgica deve ter sofrido ligeira redução após 1982. Na verdade, embora saiba-se que existe um potencial relativamente significativo para redução do consumo energético na siderurgia brasileira, dada a comparação por exemplo do consumo unitário em nossas indústrias e nas empresas japonesas, é de se supor que percentuais de economia mais representativos não deverão ser alcançados a curto prazo.

Já em 1981, pessoas ligadas a racionalização energética nas principais usinas do Brasil consideravam que o elenco de modificações possíveis de serem feitas com pequenos investimentos , para a economia e substituição de energia, estava em vias de se esgotar. Dadas a necessidade de aportes consideráveis de recursos financeiros a fim de viabilizar medidas mais complexas, a incapacidade do setor em investir por si só nesta finalidade, e o pequeno montante destinado pelo governo federal a programas do gênero (as indústrias siderúrgicas captaram 18,0% dos recursos liberados pelo CONSERVE, em 1981, mas apenas 8,9% e 9,7%, respectivamente, em 1982 e 1983 [Souza, 1985] os esforços em conservação de energia , e por consequência as reduções do consumo específico, chegaram tão somente até um certo nível.

Deve-se mencionar, ainda, que nas siderúrgicas dos grupos C-1 e C-2, justamente pelo fato de não possuírem disponibilidade de insumos energéticos secundários face às características do próprio processo produtivo, as necessidades de recursos financeiros para o desenvolvimento de ações de substituição do óleo combustível são consideravelmente maiores do que nas usinas dos grupos A e B.

Quando da realização da primeira avaliação do Protocolo de Óleo Combustível, em 1981, considerou-se que o mesmo não seria efetivamente cumprido em sua totalidade, como realmente não

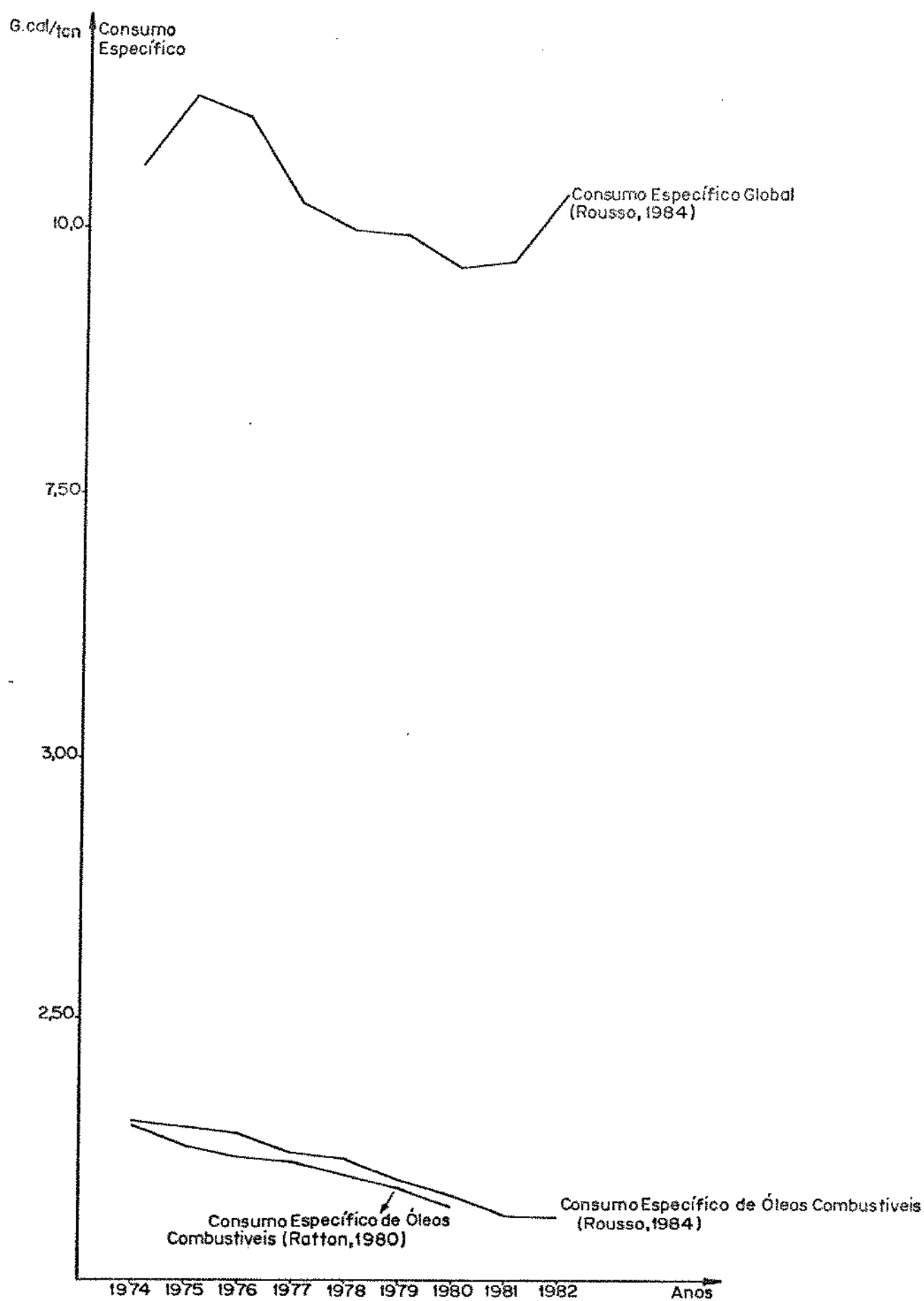


Figura:12- Consumo Específico de Energia na Indústria Siderúrgica

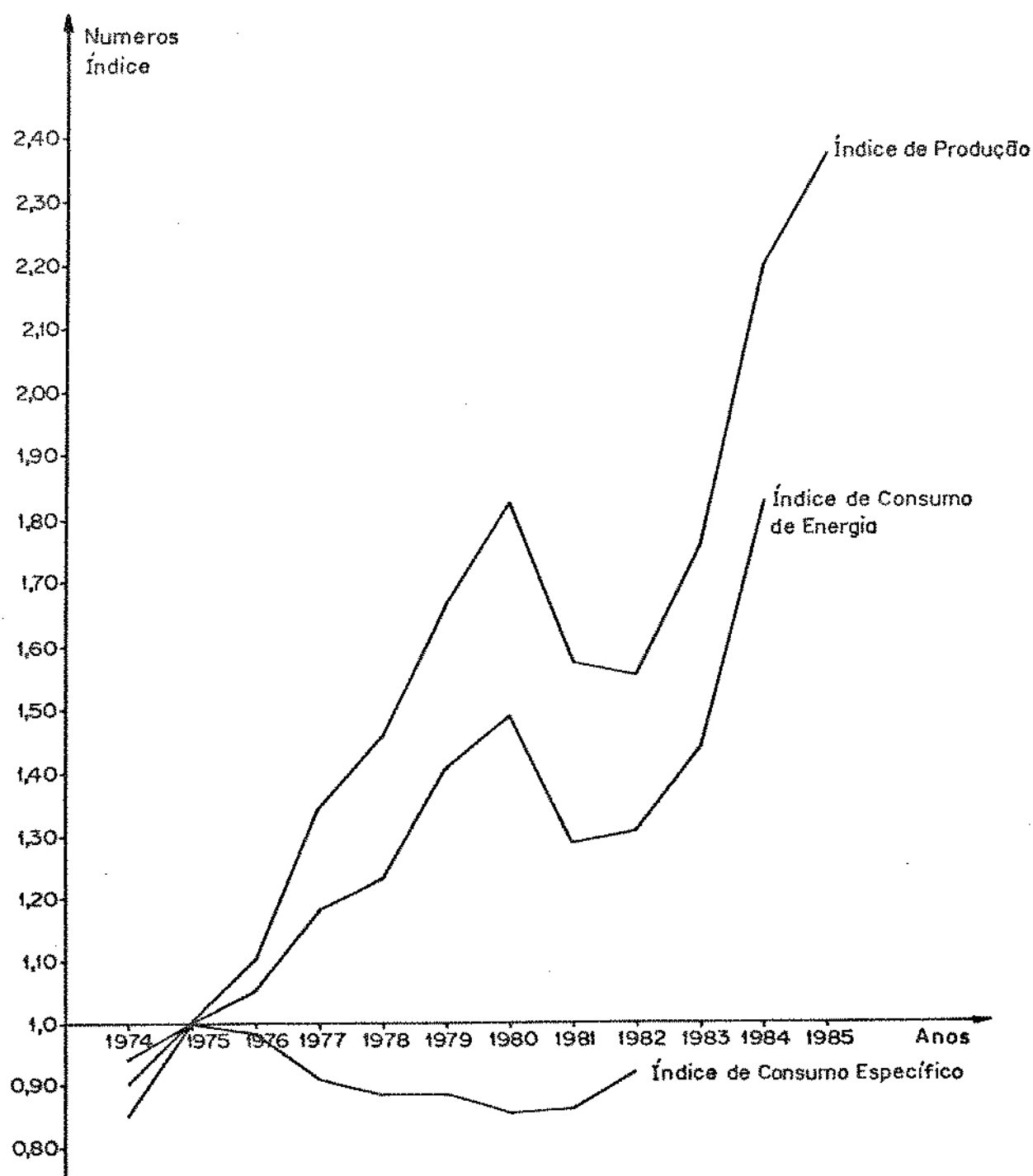


Figura:13 - Evolução de Diversos Números Índice para a Indústria Siderúrgica.

Fontes: Consumo de Energia: Balanço Energético Nacional, 1985.

Produção Conjuntura Econômica de 04/86.

Consumo Específico: Rouso, 1984.

se cumpriu, dada a carência de recursos financeiros, a incerteza da disponibilidade de fontes energéticas alternativas, e a incipiência de certas tecnologias inicialmente consideradas plenamente dominadas, como é o caso da gaseificação do carvão mineral. Na tentativa de reorientar algumas metas, colocou-se a possibilidade de ampliação das coquerias nas usinas integradas e coque, aumentando-se a oferta desse para substituição do uso de óleos em altos fornos e aumentando também a oferta de gás de coqueria e alcatrão.

Por outro lado, a ampliação do parque siderúrgico a carvão vegetal, alternativa considerada para substituição de redutores e combustíveis importados também constitui-se numa hipótese com vários pontos condicionantes. Em primeiro lugar é preciso mencionar o fato de que existem restrições tecnológicas associadas ao uso de carvão vegetal como elemento redutor, o que faz com que em muitos casos seja vantajosa a manutenção do processo tradicional a coque. Um segundo aspecto igualmente importante é a questão da oferta da madeira para obtenção do carvão vegetal, o que dá ao problema um novo enfoque, na medida em que devem ser considerados todos os pontos associados à questão do reflorestamento para fins energéticos.

Não obstante, o consumo de carvão vegetal na indústria siderúrgica tem evoluído de maneira a acompanhar a grosso modo a demanda energética global do setor. Conclui-se que ao menos a meta de manutenção da produção de gusa a partir de carvão vegetal em 40% da produção total tenha sido alcançada.

Quanto ao consumo de energia elétrica, tem-se como praticamente constante sua participação na estrutura de consumo. De acordo com previsões de especialistas, não se espera para um futuro próximo um incremento **considerável** na participação dos aços elétricos na produção total brasileira, nem ao menos substituição de outras formas energéticas, como os óleos e carvão mineral, via alteração nos processos. Deve-se fazer a ressalva, no entanto, que pequenas alterações na incidência da eletricidade na estrutura final de consumo, verificadas no passado ou que possam ocorrer a curto prazo, devem ser entendidas como advindas de transformações tais como maior uso da sinterização ou lingotamento contínuo, que utilizam direta ou indiretamente mais energia elétrica.

Se por um lado pudemos avançar de maneira relativamente satisfatória na análise da tendência comportamental da indús-

tria siderúrgica em conservação e substituição nos últimos anos, o mesmo não poderá ser feito, infelizmente, para os demais gêneros da indústria metalúrgica. O fato limitante nesse caso é a precariedade das informações disponíveis, face a ausência de estudos mais aprofundados, que por sua vez é motivada pela menor importância desse segmento industrial do ponto de vista do consumo energético.

Tomando-se por base os dados do Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985] para as indústrias de ferro-ligas e não ferrosos e outros da metalurgia, vê-se claramente que a evolução do consumo de energia segue tendência bastante similar à já observada para as indústrias de ferro gusa e aço, isto é, notadamente crescente ao longo do período analisado (1974-1984), a menos de 1980, quando toda a indústria metalúrgica sofreu severa retração de sua produção (ver figura 14).

Do ponto de vista do consumo específico é impossível fazer qualquer tipo de análise que não seja um exercício especulativo. Sabe-se que a indústria de fundição é bastante heterogênea quanto ao porte de suas empresas, nível tecnológico na produção, organização empresarial, nível de capitalização, etc. Em vista disso, não há condições para se traçar um quadro único para esse segmento industrial.

A Associação Brasileira das Indústrias de Fundição (ABIFA) esboçou em 1981 um protocolo de intenções em conservação e substituição de energia nos moldes dos que foram firmados com as indústrias siderúrgicas, de cimento e papel e celulose, mas não encontrou receptividade por parte do governo federal.

Diante da indefinição de uma política específica de conservação de energia para o setor, e face aos reflexos da recessão econômica, é plausível imaginar que apenas as indústrias de maior porte e mais organizadas tenham tido condições de estabelecer programas internos e adotado medidas visando economia energética.

Melhorias no consumo específico podem ter sido alcançadas devido a trocas de equipamentos por ocasião de substituições entre energéticos. Nesse sentido é interessante destacar que a indústria de Fundição foi um dos setores industriais receptivos à penetração da eletrotermia, quando da adoção de incentivos, via tarifas irrisórias ao consumidor, muito embora a ABIFA tenha se colocado por várias vezes frontalmente contrária à essa alternativa [CESP/FDTE, 1981].

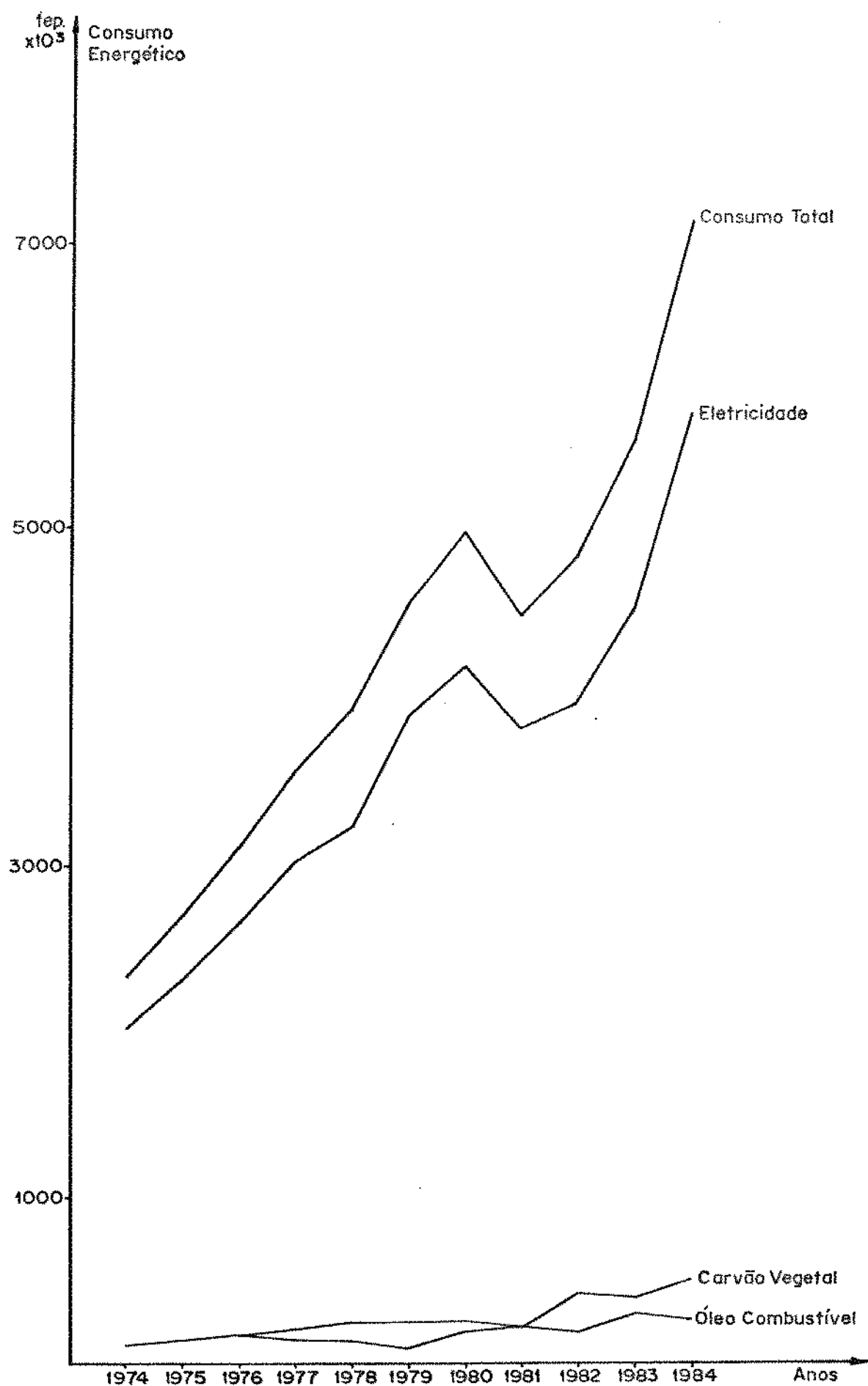


Figura:14 - Evolução do Consumo Energético nas Demais Indústrias Metalúrgicas.
Fonte: Balanço Energético Nacional, 1985.

Da simples observação da figura 14 não é possível captar de maneira muito clara a tendência de maior consumo de energia elétrica em substituição a outros energéticos, principalmente porque os dados do Balanço Energético refletem a forte influência do consumo de eletricidade em segmentos da indústria de fundição em que seu uso já é cativo há muitos anos.

É possível notar que o consumo de óleos combustíveis e carvão vegetal permaneceu inalterado por muito tempo, só tendo apresentado alterações nos últimos anos, fato que pode ser atribuído a esforços individuais de substituição no caso do carvão mineral, e à necessidade de cobrir a lacuna deixada pela restrição ao uso de óleo diesel e OC-4 para fins térmicos industriais em algumas empresas, no caso de crescimento do consumo de óleos combustíveis.

O último ponto a ser analisado nesse estudo sobre o consumo de energia nas indústrias metalúrgicas diz respeito aos dados de demanda energética obtidos das planilhas do Conselho Nacional do Petróleo e a partir de informações do Balanço Energético Estadual [Conselho Estadual de Energia - SP, 1984, 1985 e 1986]. Como vimos no capítulo anterior, essas informações para os anos de 1982 a 1984 foram utilizadas na correção das séries de consumo de energia projetadas a partir das considerações formuladas no cenário básico.

Tomando esses dados como representativos da tendência de evolução do consumo energético na indústria metalúrgica do Estado de São Paulo, pode-se concluir que a demanda foi crescente nos últimos anos, registrando em linhas gerais a mesma tendência verificada para a indústria metalúrgica no Brasil (ver dados do sub-setor no Anexo B).

A participação dos óleos combustíveis foi decrescente nesse período seguindo o mesmo comportamento geral observado no país, enquanto os consumos de carvão mineral, carvão vegetal e eletricidade foram, por seu turno, crescentes.

Deve-se mencionar que o crescimento na demanda de energia elétrica, tomando por base os dados do Conselho Nacional do Petróleo, não deve ser atribuído ao maior uso desse insumo em aplicações de eletrotermia, uma vez que o crescimento em usos tais como secagem, fornos e fornalhas é bastante inferior à evolução do consumo da eletricidade em sua totalidade.

Finalmente, com relação à diversificação da estrutura de consumo nesse sub-setor, pode-se dizer que essa efetivamente ocorreu, com a penetração de insumos até então não utilizados, como por exemplo alcatrão, sabugo de milho, óleo essencial de laranja, pneu velho, mas em quantidades irrelevantes em relação ao consumo energético global. Mais uma vez concluímos que, como era de se esperar, a tendência verificada na indústria metalúrgica paulista foi idêntica ao fenômeno comportamental observado nesse sub-setor a nível nacional.

5.3. Indústria de Alimentos e Bebidas

5.3.1. Caracterização Geral

A indústria de Alimentos e Bebidas envolve o conjunto de instalações industriais que se dedicam ao beneficiamento, moagem e torrefação de produtos alimentares, produção de conservas de bens vegetais, abate de animais e atividades frigoríficas, atividades de pesca e correlatas, beneficiamento de leite e fabricação de produtos laticínios, fabricação e refino de açúcar, produção de balas, chocolates e produtos afins, produção de artigos de massa e biscoitos, produção de artigos de padaria, produção de sucos e concentrados naturais, produção e engarrafamento de bebidas alcoólicas e refrigerantes em geral, e outros produtos diversos.

De acordo com informações do Censo Industrial de 1980 do IBGE, a indústria de Alimentos e Bebidas respondeu naquele ano por 14,8% do valor de produção industrial total do Brasil, absorveu 13,3% da mão-de-obra total empregada em indústrias, representando 22,2% do número total de estabelecimentos industriais existentes àquela época no país. Do ponto de vista do consumo energético, esse segmento respondeu por 17,5% da demanda de energia industrial e 7,4% da demanda energética total do país, ainda em 1980. Em 1984, essas incidências foram 17,2% e 6,9%, respectivamente [Ministério das Minas e Energia, 1985].

No Estado de São Paulo, ainda de acordo com informações do IBGE para 1980, as indústrias de Alimentos e Bebidas respondiam por 11,2% do valor de produção industrial total estadual (40,8% do montante do sub-setor a nível nacional), absorviam 8,6% da mão-de-obra empregada em indústrias no Estado, e representavam 18,1% dos estabelecimentos industriais de São Paulo (42,3% das instalações do gênero em todo o país).

Dos dados expostos é possível avaliar a importância das indústrias de Alimentos e Bebidas, tanto sob a ótica econômica, quanto do ponto de vista do consumo energético. Mais do que isso, é fácil concluir o quão complexo é esse segmento industrial, dado o expressivo número de estabelecimentos existentes em todo país, e a heterogeneidade de produtos, e conseqüentemente de processos.

Ainda que extremamente difícil, tentaremos nos próximos itens estabelecer o perfil geral de consumo de energia, anali-

sando alguns dos principais processos de produção, bem como definir as mais importantes alternativas de racionalização da demanda energética, e avaliar a tendência comportamental em conservação e substituição verificada nos últimos anos.

5.3.2. Processo Produtivo e Consumo Energético

A caracterização genérica da indústria de Alimentos e Bebidas quanto ao processo produtivo e padrões de consumo energético não é uma tarefa simples. Em vista disso, nesse trabalho optou-se pela escolha de quatro diferentes linhas de produção dentro do segmento alimentício, e a partir daí procurou-se caracterizar o sub-setor.

A escolha das linhas de produção teve como critério principal a intenção de tomar exemplos diversificados entre si, de maneira a que tivéssemos um quadro relativamente representativo da heterogeneidade desse segmento. Foram escolhidas as indústrias de produtos laticínios e de beneficiamento de leite, indústrias de massas alimentícias, produtores de doces, balas e chocolate, e instalações de extração e refino de óleos vegetais e matérias graxas.

Os fluxogramas de alguns dos processos de produção mais usuais dentro das indústrias acima relacionadas estão apresentados nas figuras 15 a 18 .

(i) Indústrias de produtos laticínios e de beneficiamento de leite

Nesse trabalho são destacados os segmentos produtores de leite líquido para venda ao consumidor, leite em pó, leite condensado e requeijão. Também fazem parte do mesmo grupo as unidades que se dedicam à produção de leite desnatado, queijo, creme de leite, iogurte, etc. Nos processos a serem analisados com maior ênfase, as primeiras etapas são comuns a todos eles.

A clarificação e padronização, que são o passo inicial, consistem na remoção centrífuga, em temperaturas ligeiramente superiores às ambientais, de sangue, pus e sujeiras em geral. A separação da gordura, nata e soro do leite propriamente dito só ocorre na fase seguinte, quando então cada fração é destinada aos processos específicos para cada produto.

A pasteurização do leite é a última das etapas comuns

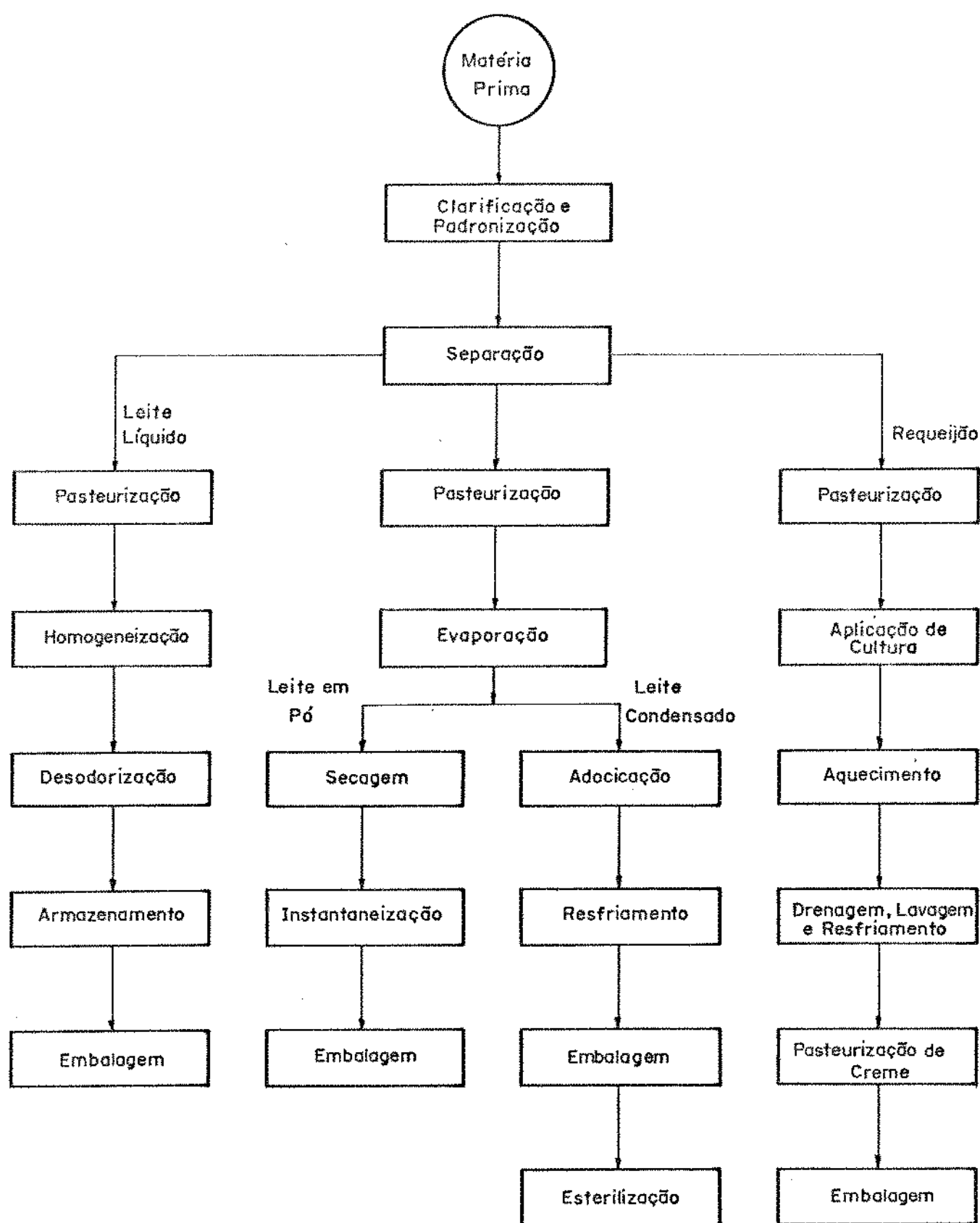


Figura: 15-Fluxograma dos Processos de Beneficiamento do Leite e Produção de Laticínios
Fonte: Casper

aos processos de produção de laticínios, podendo ser resumida como uma sequência de ações de aquecimento e resfriamento por períodos de tempo previamente definidos, a fim de destruir os micro-organismos patogênicos existentes na matéria-prima. As temperaturas de aquecimento estão na faixa de 60 a 75°C, dependendo do processo empregado [Woollen, 1969].

A via de produção de leite líquido para venda ao consumidor é a via de produção mais simples dentre todas aquelas que são aqui apresentadas. Da etapa de pasteurização segue a homogeneização, que tem como finalidade reduzir os glóbulos de gordura no leite, numa operação que ocorre à temperatura de 66°C. Tem-se então a desodorização em que o leite é submetido a um processo de destilação à baixa pressão para remoção de odores. As etapas seguintes não envolvem mais processamento em si da matéria-prima e visam apenas conservação e embalagem do produto.

As linhas de produção de leite em pó e leite condensado tem em comum a etapa de evaporação, embora na prática essa ocorra de maneira não exatamente similar em cada um dos casos. Na produção de leite em pó, a etapa de evaporação é precedida de pré-aquecimento à temperaturas variáveis entre 71 e 88°C, após o que a matéria-prima submetida à vácuo parcial é evaporada em um conjunto de múltiplo efeito ou em calandras. No caso da produção de leite condensado, o pré-aquecimento se dá à temperatura de 77°C por um período de tempo próximo a 15 minutos, embora haja uma forte tendência para que o processo se realize à temperaturas maiores num período de tempo mais curto.

Já a evaporação ocorre à temperaturas variáveis entre 54 e 60°C, em equipamentos similares aos empregados no processo de produção de leite em pó. A literatura apresenta uma controvérsia a respeito do instante em que deve ser feita a adição de açúcar à matéria-prima. Independente da adocicação ser realizada antes ou depois da evaporação, a concentração do leite ao final desse processo deve estar por volta de 42 a 45 por cento.

Para a produção de leite condensado a etapa de resfriamento reveste-se de especial importância, uma vez que os cristais de lactose devem ser os menores possíveis, o que só é possível quando o processo ocorre de maneira rápida. Após a embalagem, a última etapa deve visar a esterilização, a fim de evitar risco de contaminação.

Retomando o processo de produção do leite em pó, após

a evaporação, o leite é submetido à secagem, geralmente em dispositivos chamados spray-dryers de um único corpo ou vários efeitos. Atingido o estado desejado, as partidas de leite em pó destinadas ao mercado doméstico devem ser submetidas ao processo de instantaneização, após o que são enviadas à embalagem; as partidas que tem como destino o mercado industrial passam diretamente à seção de embalagem, após a secagem.

O requeijão é um produto alimentício fabricado a partir da coagulação ácida do leite desnatado com a subsequente lavagem da coalhada a fim de que se produza massa particulada. Existem várias vias de produção pelas quais é possível obter requeijões de diferentes características. Em linhas gerais, a sequência de produção envolve a pasteurização numa sequência de aquecimento e resfriamento, a 71°C e 31°C, respectivamente, aplicação de cultura e posterior aquecimento do produto fermentado a 49°C por 30 minutos. A etapa seguinte, que envolve a lavagem e drenagem da coalhada, tem como função básica o resfriamento e a retirada do soro, o que é feito em lavagens sucessivas à temperaturas de 27, 17 e 3°C. O último processamento envolve uma nova pasteurização do creme, com o objetivo de reduzir a população bacteriológica [Woollen, 1969].

Nas indústrias de leite em pó e leite condensado as etapas mais representativas do ponto de vista do consumo energético são a pasteurização, evaporação, secagem e instantaneização. Os spray-dryers respondem por quase a totalidade do consumo de combustível direto, enquanto a demanda para geração do vapor corresponde a aproximadamente 70% da demanda de energia. Quanto à energia elétrica, 60% do consumo é causado pela operação dos equipamentos de processo e limpeza, cerca de 10% é destinado à refrigeração e o restante é dividido no acionamento de compressores, ventiladores, iluminação, etc.

Já nas unidades de beneficiamento de leite líquido e produção de requeijão, as etapas de pasteurização, resfriamento e limpeza são as principais do ponto de vista da demanda de energia. Quase 70% do consumo energético global é devido à geração de vapor, 25% corresponde ao consumo de eletricidade e o restante à aplicações de combustível em aquecimento direto. No que diz respeito ao consumo de energia elétrica, cerca de 30% do total é destinado ao acionamento de equipamentos de processo, e igual parcela ao funcionamento de sistemas de refrigeração [Casper, 1977].

(ii) Indústrias de extração e refino de óleos vegetais

Os fluxogramas apresentados na figura 16 esquematizam os processos produtivos nas unidades independentes de extração e refino de óleos vegetais. Uma unidade integrada de fabricação de óleos comestíveis combina os dois ramos de produção apresentados separadamente.

O processo de extração de óleo a partir dos grãos de oleoginosas pode gerar como produtos finais o próprio óleo cru, e também, no caso de algumas matérias-primas, farelo obtido a partir da casca do grão. Após a retirada da casca, para as sementes em que tal etapa se faz necessária, a extração do óleo é feita de maneira mecânica, segundo um processo de trituração, e de maneira térmica, num processo de cozimento com injeção de vapor.

Seguem-se então duas etapas para separação do óleo em si (uma delas sob ação de solvente) e das frações da matéria que serão utilizadas na produção de farinha. Esse ramo do processo de produção envolve a desolventização do farelo (evaporação do solvente carregado pelo farelo), tostagem com aplicação de vapor, moagem e resfriamento. O óleo cru obtido é enviado às instalações de refino e beneficiamento.

O consumo de energia nesse processo ocorre sob a forma de vapor e eletricidade, sendo que a demanda destinada à geração de vapor representa algo em torno de 85% do consumo energético global da instalação. O vapor é utilizado nas etapas de cozimento, recuperação do solvente e dissolução, enquanto a eletricidade é destinada em sua totalidade ao acionamento de equipamentos do processo e iluminação [Casper, 1977].

O processo de refino, tal como é entendido pelas pessoas ligadas ao ramo, consiste na sequência de etapas (neutralização e abrandamento do efeito da goma, lavagem, branqueamento, hidrogenação e desodorização) visando a remoção de impurezas tais como gomas, carboidratos, pigmentos, umidade e ácidos graxos, e prover o produto de um sabor mais brando.

A neutralização também é conhecida como refino cáustico do óleo, uma vez que o tratamento pode ser feito com soda cáustica ou carbonato de sódio. O objetivo dessa etapa é remover do óleo cru partículas de ácidos graxos livres. Para tanto, a matéria é aquecida à temperaturas entre 75 e 95°C, quando então as substâncias químicas são adicionadas e ocorre coagulação das frações á

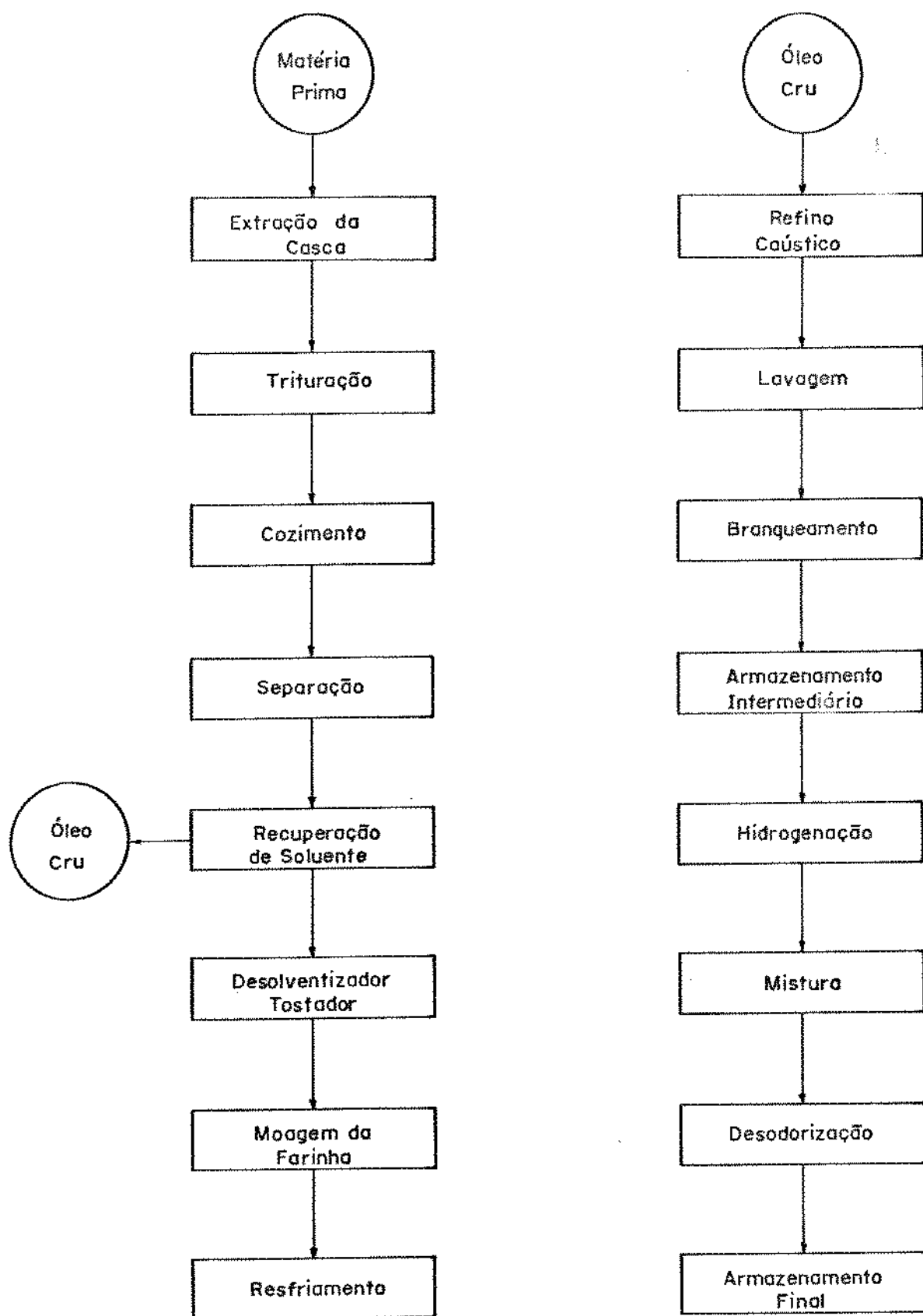


Figura:16- Fluxogramas dos Processos de Extração e Refino de Óleos Vegetais

Fonte: Casper

cidas junto aos álcalis. As partículas coaguladas podem ser removidas por decantação ou centrifugação, e o óleo é então submetido a um processo de lavagem.

O branqueamento visa a remoção de matérias coloridas do óleo, como por exemplo clorofila ou outros constituintes de menor relevância, como produtos de degradação de proteínas. O processo se desenvolve com agitação do óleo em vasos verticais, sendo a matéria submetida a vácuo parcial e aquecimento à temperaturas na faixa de 90 a 110°C em período de tempo variável entre 10 e 60 minutos. O material a ser retirado é separado por filtração [Woollen, 1969].

Nos processos de produção de gorduras comestíveis, a hidrogenação reveste-se de importância particular, principalmente, nos casos de produtos que são líquidos à temperaturas ambiente, e susceptíveis à deterioração por oxidação. A adição de hidrogênio dá ao produto maior estabilidade e permite a elevação do ponto de fusão. A hidrogenação é geralmente realizada em vasos de pressão, à temperaturas na faixa de 170 a 180°C; o processo envolve uma reação exotérmica, e uma vez que a temperatura de operação é alcançada, o próprio óleo é capaz de mantê-la estabilizada.

Finalmente, tem-se o processo de desodorização, que é o último passo na produção de óleos para fins comestíveis, e que tem como finalidade a eliminação de impurezas voláteis, algumas responsáveis por certos odores que podem fazer do óleo um produto de qualidade inferior no mercado. A desodorização é essencialmente uma destilação à baixa pressão, com aquecimento do óleo à temperaturas variáveis entre 180 e 240°C e injeção de vapor.

Pouco mais de 90% da energia consumida nessas instalações industriais está associada à demanda de combustíveis, restando à eletricidade a parcela complementar. O maior ponto de consumo em toda a instalação é a produção de hidrogênio, seguindo-se o consumo de vapor no processo de desodorização. A demanda de energia elétrica deve-se ao acionamento de mecanismos diversos e à iluminação [Casper, 1977].

(iii) Indústrias de massas alimentícias

Na figura 17 são apresentados os fluxogramas dos processos de produção de dois segmentos da indústria alimentícia dedicados à produção de artigos de massa: a indústria de massa própria

mente dita, produtora de macarrão e artigos afins, e a indústria de biscoito.

Ambos os processos são bastante simples se comparados com os demais segmentos da indústria de Alimentos e Bebidas, e são igualmente representativos do ponto de vista do consumo energético.

Pode ser destacada apenas uma etapa em cada um dos processos como mais significativa quanto à demanda de energia: a secagem nas indústrias de massa e o cozimento nas unidades produtoras de biscoito.

A secagem é normalmente realizada com aquecimento do ar de secagem num trocador de calor onde o fluido quente é vapor, embora também seja possível o uso de câmaras mufladas. Já no caso das indústrias de biscoito, embora não seja considerado explicitamente no fluxograma apresentado, é possível que haja uma etapa de aquecimento de água e gordura anterior à mistura dos componentes da massa. Quanto ao processo de cozimento, esse nada mais é do que a etapa que confere ao produto suas características finais. Normalmente são empregados fornos contínuos com queima direta de um combustível limpo como GLP ou gás de nafta, embora existam unidades que empregam óleo combustível em combustão indireta.

(iv) Indústrias de doces, balas e chocolates

É possível produzir doce em massa a partir da polpa semiprocessada ou do fruto "in natura"; o fluxograma apresentado na figura 18 mostra a sequência de produção de doces a partir da polpa. O semi-processamento envolve o cozimento e o refino da polpa em painéis industriais aquecidas a vapor. A fabricação do doce propriamente dita consta de uma etapa de concentração em que a umidade existente na mistura da polpa e demais ingredientes deve ser sensivelmente reduzida. A comparação entre os consumos específicos das indústrias produtoras de doces a partir de polpa e a partir de frutas mostra maiores valores para esse último segmento, face à maior necessidade de energia para evaporação da umidade da massa com frutas "in natura".

A primeira etapa do processo de produção de chocolate envolve o aquecimento da massa e da manteiga de cacau, que são seus constituintes básicos. Coincidentemente essa também é a única etapa na sequência produtiva que reveste-se de maior importância do ponto de vista do consumo de combustíveis.

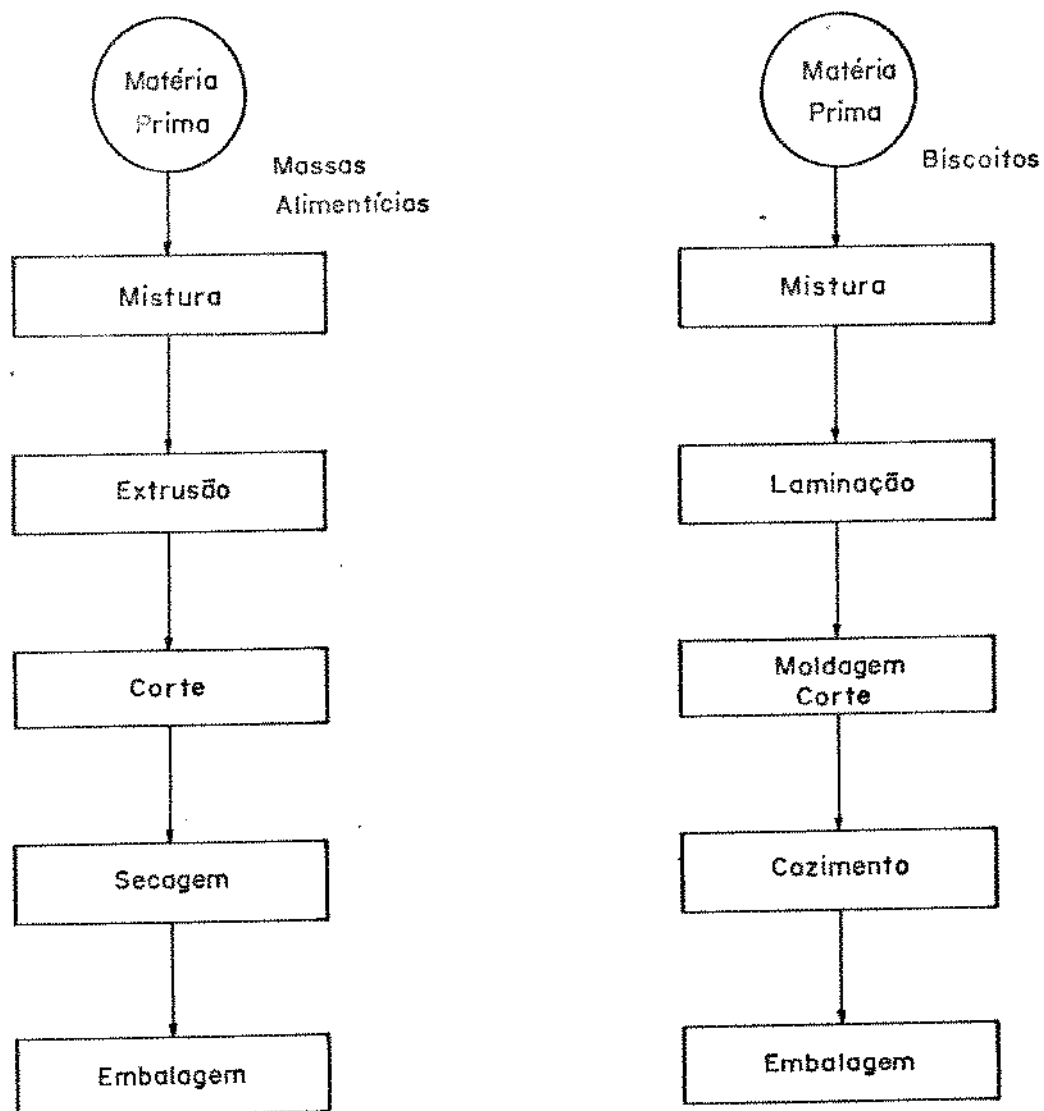


Figura:17- Fluxogramas dos Processos de Produção de Massas Alimentícias e Biscoitos

Fonte: Casper / CEAG-SP/IMT

A matéria-prima devidamente aquecida é então misturada ao açúcar e leite em pó e enviada à operação de refino, fundamental para a qualidade final do produto, uma vez que é nessa etapa que se define o padrão de maciez do chocolate. O refino nada mais é do que uma operação mecânica de particularização e esmagamento da mistura à temperatura aproximadamente constante, graças à refrigeração interna dos cilindros de compressão.

A temperagem visa a cristalização da manteiga de cacau numa forma estável, evitando a formação de cristais instáveis na superfície do chocolate. O método consiste no aquecimento da mistura refinada a 49°C, resfriamento até 26°C, a fim de assegurar a cristalização, e, finalmente, o reaquecimento a 31 ou 32°C para garantir a refusão de todos os cristais instáveis [Woollen, 1969].

As demais etapas do processo de produção não tem maior importância na fabricação em si do chocolate, representando apenas operações de moldagem, resfriamento ao ar e embalagem.

A produção de balas consiste num primeiro passo no aquecimento da glicose, seguido da mistura com água e açúcar. A etapa mais importante do ponto de vista do consumo energético é aquela em que a mistura é concentrada, e a água, adicionada para facilitar a homogeneização, é evaporada em grande parte. Ambos os processos envolvem o consumo de vapor como meio de aquecimento.

Na sequência do processo é feita a adição de recheio, nos casos em que o produto final assim o exige, seguido da etapa de resfriamento e modelagem, e finalmente a embalagem [CEAG/IMT, 1982].

Com exceção de alguns processos em que se requerem operações de cozimento e secagem, como nos casos da produção de biscoitos e leite em pó, o consumo de energia nas indústrias de Alimentos e Bebidas está quase que totalmente associado ao uso de vapor como meio de aquecimento, e ao consumo de energia elétrica em aplicações diversas, com especial destaque ao acionamento de máquinas e operações de refrigeração.

O uso do vapor em processamento na indústria alimentícia pode ser dividido em quatro funções gerais: branqueamento e escaldamento, cozimento, esterilização e pasteurização e evaporação (concentração e desidratação).

Branqueamento é o processo de aquecimento de frutas e vegetais que deve anteceder o congelamento ou transformação em conservas, a fim de eliminar certas enzimas, preservar cor e sabor, re

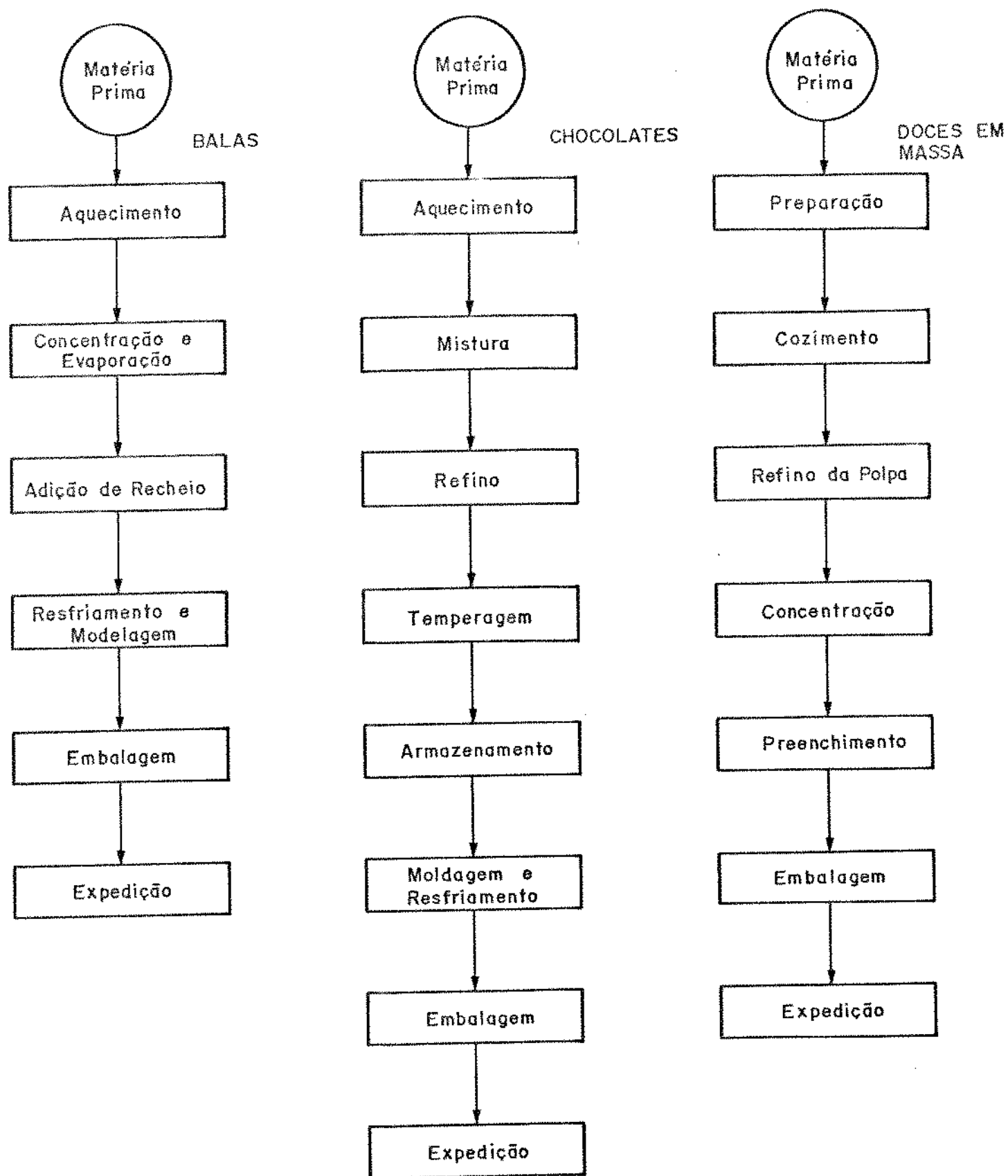


Figura:18- Fluxogramas dos Processos de Produção de Balas, Chocolates e Doces em Massa
Fonte: CEAG - SP / IMT.

duzir a quantidade de ar e amaciar a textura para facilitar a embalagem. A operação de branqueamento pode ser levada a cabo com aplicação de água quente ou vapor vivo: no primeiro caso o produto é colocado num banho d'água à temperaturas superiores a 85°C, enquanto no segundo ele é posto no leite de uma câmara a vapor na qual se faz injeção. O tempo e a temperatura de processamento são funções exclusivas do produto a ser beneficiado.

Por seu turno, o escaldamento consiste na imersão da matéria alimentícia em água aquecida. A finalidade do processo é preservar a qualidade e facilitar a limpeza do produto, sendo muito empregado em matadouros, indústrias de carnes e abatedouros de aves [Ouellette et alii, 1980].

A esterilização de alimentos objetiva a destruição de organismos que podem causar danos quando o produto é submetido à temperaturas ambientais. Tanto os processos de esterilização quanto de pasteurização podem ser desenvolvidos de maneira contínua ou em bateladas. Nesse último caso é comum o confinamento do produto em vasos selados, e a colocação desse em banhos de água quente; essa alternativa é relativamente comum na produção de conservas.

A evaporação com finalidade de concentrar ou desidratar o produto alimentício é uma das operações de maior importância dentro da indústria alimentícia, tanto do ponto de vista do processamento quanto do consumo de energia. Os sistemas de evaporação utilizam vapor como meio de aquecimento, e podem ser de simples efeito ou com vários corpos (múltiplo efeito). Nessa última configuração o líquido evaporado em um dos corpos é utilizado como vapor de aquecimento no corpo subsequente, o que permite reduções bastante expressivas no consumo específico dessa etapa. O emprego de evaporadores de múltiplo efeito é bastante comum em indústrias de leite condensado e em pó, sucos naturais concentrados, extrato de tomate e usinas de açúcar.

5.3.3. Potencial de conservação

Como pode ser observado, o consumo de energia nas indústrias de Alimentos e Bebidas é bastante influenciado pela demanda de vapor e/ou água quente nos processos de produção, em menor escala pela necessidade de algumas etapas de secagem e cozimento, e também pela exigência de operações de refrigeração ao longo do processamento ou em armazenamentos intermediários.

Face à importância que tem na estrutura de consumo energético da indústria alimentícia, é normalmente nos sistemas de geração, distribuição e utilização de vapor e aquecimento d'água que podem ser alcançados os melhores resultados na aplicação de técnicas de conservação.

Tomemos inicialmente o exemplo das indústrias de Alimentos cujos processos de produção analisamos de maneira mais detalhada no item anterior. De acordo com Casper [1977], dois fatores possibilitaram uma redução até certo ponto significativa no consumo específico de energia nas indústrias de beneficiamento de leite e produtoras de laticínios. O primeiro deles consiste na mudança dos padrões de comercialização do leite líquido, que deixou de ser vendido em recipientes de vidro para ser vendido em sacos plásticos e caixas especiais; dessa forma, obteve-se redução do consumo pela eliminação da etapa de limpeza dos litros de leite. O segundo ponto diz respeito às alterações verificadas na operação de pasteurização, na qual o processo tradicional em dornas foi substituído por um processo de aquecimento à alta temperatura em curto espaço de tempo, que permite regeneração de calor da ordem de 80 a 90%.

Ainda com relação às indústrias de leite, nos processos de secagem as possibilidades de conservação de energia estão associadas à recuperação de calor dos spray-dryers, e em alguns casos, dependendo da viabilidade econômica, à possível utilização de conjuntos de múltiplo efeito.

O maior potencial de redução do consumo de combustíveis está na melhoria das condições de operação e manutenção dos geradores de vapor, bem como na melhoria das condições de uso do vapor. É possível reduzir em 30% as perdas associadas à geração de vapor através da substituição de caldeiras ineficientes, instalação de economizadores e extensão dos cuidados operacionais e de manutenção. Outras economias podem ser obtidas com a melhor manutenção das linhas de vapor, válvulas e purgadores, isolamento térmico das linhas de distribuição de vapor e retorno de condensado, e eliminação dos geradores de vapor mantidos em "stand-by" desnecessariamente [Casper, 1977].

Nas indústrias de leite e laticínios as melhores oportunidades de redução do consumo de energia elétrica estão associadas às ações no sistema de refrigeração, muito embora resultados expressivos possam ser obtidos com melhor administração do uso da eletricidade ou redimensionamento dos diversos motores elétricos da

instalação.

Uma vez que o consumo de energia nas indústrias de extração e refino de óleos vegetais, nas indústrias produtoras de doces, balas e chocolate, e nas indústrias de massas alimentícias está fortemente associado à utilização de vapor como meio de aquecimento, as principais medidas de economia energética nessas unidades de produção também estão relacionadas aos sistemas de geração, distribuição e utilização de vapor.

Vejamos agora algumas medidas potenciais de racionalização energética para a indústria de Alimentos e Bebidas como um todo. Em muitas instalações os sistemas de geração de vapor operam com eficiências bem menores do que aquelas que são possíveis de serem alcançadas, em função de perdas no fluxo de gases a temperaturas elevadas pelo chaminé, perdas por convecção e radiação do corpo da caldeira para o meio ambiente, perdas por combustão incompleta ou por uso de ar em excesso em relação ao necessário, perdas por descargas de fundo excessivas, e alimentação do gerador com água não pré-aquecida.

Num estudo de possibilidades técnicas de conservação de energia nas indústrias alimentícias, Casper [1977] estabelece um quadro de procedimentos passíveis de serem implementados. No item em que são citadas as ações relativas aos sistemas de geração de vapor, além das medidas comumente destacadas visando maiores cuida-dos operacionais no processo de combustão e no tratamento da água de alimentação, são abordadas, com destaque, o retorno de condensado do processo como água de alimentação, a possibilidade de recupera-ção do calor sensível dos gases de exaustão no pré-aquecimento do ar de combustão ou até mesmo na geração de água quente, a necessidade de aumentar a frequência das inspeções de manutenção e limpeza do gerador e das linhas de distribuição, principalmente os purgadores, e a necessidade de uma melhor adequação entre a operação do sistema de geração e a demanda de vapor da instalação.

Muitas das medidas citadas visando maior redução do consumo de energia em caldeiras e aquecedores de fluidos, principalmente aquelas que dizem respeito ao controle da combustão e mini-mização das perdas superficiais ou através do fluxo de gases de escape, são também válidas para os fornos. A menor atenção dedicada a esses equipamentos deve-se ao fato de que apenas uma pequena par-cela da demanda de energia nas indústrias de Alimentos e Bebidas pode ser atribuída a eles.

Quanto aos evaporadores, o primeiro ponto a ser destacado é que o uso de efeitos adicionais sempre possibilita economias de energia representativas no processo; a definição do número de corpos deve estar sempre baseada em análises técnico-econômicas. Outro ponto interessante é a possibilidade de uso de recompressões mecânicas ou térmicas de vapor, conseguindo-se, assim, um menor consumo específico na etapa de evaporação. Quanto à secagem, o emprego de secadores mecânicos ou pneumáticos na redução do teor de umidade do produto antes desse ser submetido à secagem térmica é uma excelente alternativa para redução do consumo de energia.

Com relação aos sistemas de refrigeração, uma primeira consideração deve ser feita a respeito da necessidade de escolha do equipamento mais econômico do ponto de vista energético, e que obviamente se encaixe nas limitações impostas pelo processo. Deve também ser mencionado o fato de que deve haver uma preocupação no emprego de melhorias convencionais, evitando-se, assim, perdas de frio, utilizando-se câmaras a pleno rendimento e evitando-se a introdução de produtos quentes. Igualmente importante são a utilização de grupos de refrigeração de alto rendimento e a proteção dos condensadores da radiação solar direta e de correntes de ar quente. Deve ainda ser ressaltado o fato de que cada produto deve ser refrigerado ou congelado à mais alta temperatura possível para sua adequada conservação, o que em muitos casos pode ser melhorado com o uso de atmosferas pobres em oxigênio e incremento da porcentagem de CO_2 [Centro de Estudios de la Energia, 1980].

Vários pontos relacionados à estruturação ou organização da produção podem ser destacados com respeito à medidas potenciais de economia no consumo de energia. É sempre importante considerar a hipótese de recuperação e reutilização de rejeitos da produção, embora tal aspecto deva ser sempre analisado com muito cuidado no caso das indústrias de Alimentos e Bebidas, diante do risco potencial de contaminação do produto.

No espírito da conversão da estrutura de produção, deve ser mencionada a hipótese de substituição de processamentos em batelada por operações contínuas, sempre mais racionais sob a ótica do consumo de energia, a promoção de alterações em etapas de aquecimento, empregando sempre que possível água quente em lugar de vapor, e/ou aquecimentos em imersão ao invés de utilização de chama direta. Também devem ser mencionadas as possibilidades de redu-

ção dos tempos operacionais dos diversos equipamentos, o uso de um menor número de máquinas com grande capacidade de produção em substituição a um grande número de unidades de pequeno porte e mais ineficientes, e o completo desligamento de equipamentos normalmente mantidos aquecidos quando não em operação, ou pelo menos redução de sua temperatura [Casper, 1977].

Quanto à substituição entre formas energéticas, é interessante que a análise seja feita levando em consideração o aspecto da oportunidade de uso de um outro insumo em lugar dos óleos combustíveis, e também o fato de que a demanda de óleos pode ser deslocada face ao desenvolvimento de novas tecnologias,

Com relação ao primeiro ponto, é interessante notar, como veremos na análise da tendência comportamental das indústrias alimentícias quanto à conservação e substituição, que tal fenômeno verificou-se no Brasil nos últimos anos. A Universidade Federal de Minas Gerais, em estudo realizado para a Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio [Cimblaris et alii, 1981], avaliou o potencial de penetração de várias formas de energia em substituição aos óleos combustíveis nesse segmento industrial. Partindo da constatação de que o consumo desse energético se concentra quase que totalmente na geração de vapor saturado para processo, analisando as diversas opções existentes e a tendência verificada nas indústrias que até então já haviam promovido a substituição, chegou-se a conclusão de que, a menos das indústrias localizadas em grandes centros urbanos, onde a atração despertada pela eletricidade em passado recente pode passar a ser exercida pelo gás natural nos próximos anos, as melhores opções estão na lenha, no bagaço de cana e em outros resíduos industriais combustíveis, como a casca de amendoim e casca da semente de algodão. Esses resultados estão baseados em considerações de disponibilidade e garantia de fornecimento, economicidade da adaptação dos equipamentos já existentes, e restrições de ordem tecnológica ou ambiental, e são válidos para a indústria de Alimentos e Bebidas do Brasil como um todo.

O segundo ponto a ser analisado na questão de substituição entre energéticos está fortemente associado aos avanços da tecnologia elétrica industrial para aplicações em que a demanda por combustíveis pode ser parcialmente ou totalmente deslocada. Os avanços dessas aplicações de eletricidade estão fortemente associados ao desenvolvimento de várias técnicas de utilização de micro-ondas.

Entre diversos trabalhos, podem ser citados os relatos

de Casper [1977] e Ouellette [1980] sobre tecnologias de uso de micro-ondas na esterilização de produtos alimentares, na concentração de sucos de frutas e vegetais, no cozimento e secagem de massas alimentícias, e no processamento da carne e de vegetais. Em alguns desses usos já não havia qualquer espécie de problema, inclusive em equipamentos em escala industrial, enquanto em outros persistiam dificuldades, seja na alteração das propriedades do produto (como no caso da concentração do suco de frutas), seja em dificuldades intrínsecas ao processamento (como no caso de se despelar tomates).

Outro exemplo interessante do uso racional da eletricidade está na filtração e/ou concentração de soluções de produtos alimentares através do emprego da tecnologia de osmose reversa e ultra filtração, onde a energia elétrica é usada para bombear essas soluções contra membranas de película seletiva. Tem-se conhecimento do uso dessa tecnologia a nível mundial, na concentração de sucos e polpas de frutas ou vegetais, na fabricação de queijos, na concentração de proteínas e lactose, etc.

5.3.4. Tendência Comportamental em Conservação e Substituição

A heterogeneidade da indústria de Alimentos e Bebidas quanto ao processo produtivo e a diversidade entre as instalações do ponto de vista da organização, são os principais fatores que fizeram com que esse sub-setor industrial não fosse estudado em detalhes quanto ao consumo de energia e à tendência comportamental em conservação e substituição verificada nos últimos anos, muito em bora seja um dos segmentos mais representativos na demanda energêtica do país.

A análise fica ainda mais prejudicada na medida em que as poucas informações disponíveis dizem respeito à amostras diferentes entre si. Os dados do Conselho Nacional do Petróleo, que servem de base para a projeção da demanda energética em cada um dos seis sub-setores industriais analisados nesta tese, não incluem panificações e apresentam certa irregularidade com relação às usinas de açúcar e álcool, motivo pelo qual estas foram excluídas quando da construção da base de dados. Já os dados do Balanço Energético Nacional levam em conta o consumo de energia das panificações, além de também considerar o consumo devido à produção de açúcar, mas não

o consumo relativo à produção de álcool.

Na tentativa de minimizar a inconsistência das informações, excluimos dos dados do Balanço Energético Nacional, edição de 1985, os valores de consumo de bagaço de cana, mesmo sabendo que dessa forma estamos incorrendo no erro de não poder captar a penetração desse energético na matriz, em substituição, provavelmente, ao óleo combustível.

Na figura 19 é apresentada a série histórica do consumo de energia para as indústrias de Alimentos e Bebidas após a alteração descrita, bem como os dados de consumo para eletricidade, lenha e óleos combustíveis. Esses valores são do Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985]. De acordo com as informações do Balanço, a demanda energética global apresentou uma tendência uniforme de crescimento no período 1974-1980, ano a partir do qual verificou-se uma queda relativamente acentuada, até que, em 1983, o consumo voltou a crescer à uma taxa aproximadamente idêntica à verificada no primeiro período citado.

A evolução do consumo de eletricidade mostra certa irregularidade, mas acompanha em linhas gerais a tendência verificada para o consumo total de energia. Nos anos em que a demanda total é declinante, a demanda de energia elétrica apresenta mesmo assim tendência crescente, embora à taxas menores do que aquelas verificadas em outros períodos. Por outro lado, a evolução do consumo de lenha é tal que, pela simples análise desses dados, não se pode atribuir a esse energético maior parcela de responsabilidade na substituição de óleos combustíveis.

Deve ser notado que o consumo de óleos combustíveis, com tendência de queda a partir do ano de 1979, tem essa tendência reforçada no período 1980-1983, em que o consumo energético total é declinante.

Pelas limitações expostas anteriormente, a análise da evolução do perfil de demanda nas indústrias de Alimentos e Bebidas fica bastante prejudicada. De qualquer forma, pode ser tida como certa a menor participação dos óleos combustíveis na estrutura de consumo, assim como tudo indica que tenha havido uma maior penetração da energia elétrica, da lenha e de insumos energéticos residuais (casca de amendoim, bagaço de cana, etc) em substituição ao consumo de óleos.

Quanto à tendência verificada para o consumo total, é possível avançar um pouco mais na análise observando-se a figu



Figura:19- Evolução do Consumo Energético na Indústria de Alimentos e Bebidas - Brasil
Fonte: Balanço Energético Nacional - 1985

ra 20. O gráfico de números índice foi construído a partir de dados do Balanço Energético Nacional, para o consumo energético do sub-setor no país como um todo, e do SEADE, para a evolução da produção industrial do segmento no Estado de São Paulo. Embora as informações digam respeito a universos diferentes, acreditamos que do ponto de vista qualitativo seja possível extrair algo desses dados, mesmo porque só no ano de 1981 eles se mostram incongruentes.

Descartando esse ano, verifica-se que a tendência de evolução do consumo de energia obedece em linhas gerais a tendência de evolução da produção para a indústria alimentícia, o que nos leva a concluir que as iniciativas em conservação de energia tenham sido bastante limitadas, resultando numa quase inalteração do consumo específico.

Com efeito, se tomarmos como representativos os resultados de avaliação do programa CONSERVE, veremos que a indústria de Alimentos só surge de maneira explícita entre aquelas contempladas com recursos do BNDES no ano de 1983, com 5,6% do montante aplicado. É possível que esse segmento tenha sido classificado entre as Agroindústrias em 1981, e as indústrias de Bens de Consumo Essenciais em 1982, mas a essas só foram destinados 0,7% e 0,8% do total de recursos nos anos respectivos [Souza, 1985].

Lembrando o fato de que o sub-setor de Alimentos e Bebidas caracteriza-se por um grande número de unidades de pequeno porte, e de forma geral com baixo poder de investimento com recursos próprios, é de se esperar que as iniciativas visando economia de energia tenham ficado restritas a um pequeno número de indústrias de grande porte, com resultados pouco expressivos para o segmento como um todo.

As informações do Conselho Nacional do Petróleo para o Estado de São Paulo, que serviram para construção da base de dados para projeção da demanda de energia e correção dessas projeções nos anos de 1982, 1983 e 1984, confirmam a grosso modo os comentários efetuados a nível nacional sobre as informações do Balanço Energético. A tendência do consumo total de energia é declinante a partir de 1981, conservando-se essa tendência mesmo em 1984, fato que é também verificado no consumo de combustíveis, face à redução acentuada na demanda de óleos residuais.

O consumo de energia elétrica é crescente no período analisado, o mesmo ocorrendo com o consumo de lenha e de outras formas energéticas. Conclui-se daí que deve ter ocorrido uma pene-

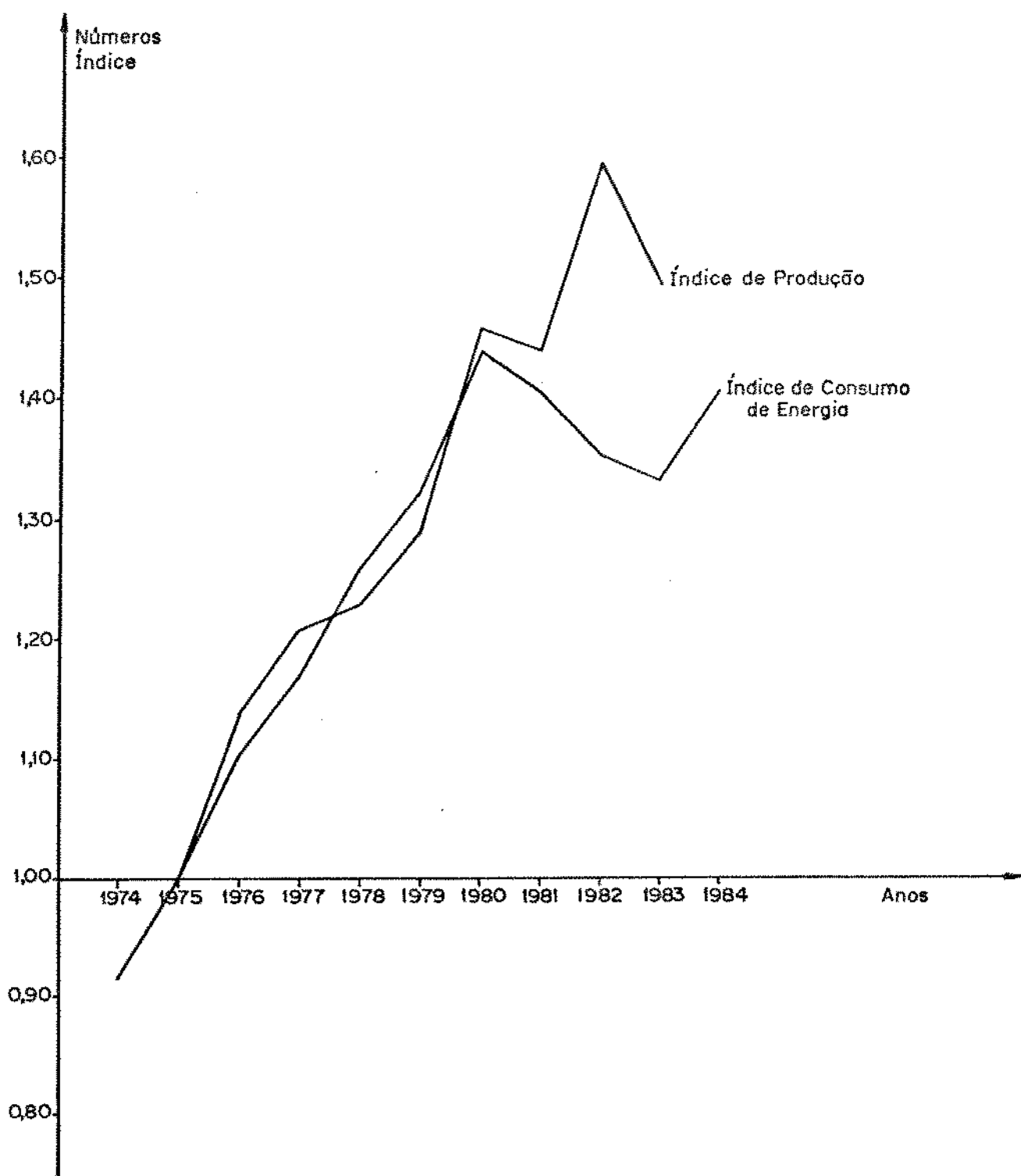


Figura:20- Evolução de Números Índice para a Indústria de Alimentos e Bebidas

Fontes: Consumo de Energia: Balanço Energético Nacional, 1985

Produção: Anuário Estatístico do Estado de São Paulo - SEADE, 1984

tração efetiva desses insumos em substituição aos óleos combustíveis, com maior opção pela eletricidade nos grandes centros urbanos (cerca de 46% do consumo total declarado de energia elétrica pelas indústrias de Alimentos e Bebidas nas planilhas do CNP para o ano base de 1984 deve-se à geração de vapor) e por outros energéticos em regiões mais afastadas, ou em indústrias onde o energético é resíduo do processo de produção (cascas de amendoim e semente de algodão nas indústrias de extração e refino de óleos vegetais, por exemplo).

Um último comentário deve ser feito no sentido de se destacar a maior diversificação da matriz energética do sub-setor, notadamente a partir de 1980, justamente face ao uso de insumos tais como serragem, cavacos, cascas e borras de diversas origens, resíduos orgânicos, etc.

5.4. Indústria Química

5.4.1. Caracterização geral

São classificadas como indústrias químicas as unidades de produção de elementos químicos e de produtos químicos orgânicos, inorgânicos e organo-inorgânicos, fabricação de produtos químicos derivados do processamento do petróleo, rochas oleígenas, carvão de pedra e álcool, fabricação de matérias plásticas, plásticos, fios e fibras artificiais e sintéticas, fabricação de concentrados aromáticos, fabricação de preparados para limpeza e polimento, fabricação de tintas, esmaltes, vernizes, solventes, etc., fabricação de adubos e fertilizantes, e fabricação de produtos diversos. Essa é a classificação adotada pelo IBGE, existindo uma outra da Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados - ABIQUIM, que servirá de base para a análise dos processos produtivos.

De acordo com informações do Censo Industrial de 1980 do IBGE, 2,6% dos estabelecimentos industriais do país nesse ano eram unidades de produção química, empregando cerca de 3,5% da mão-de-obra industrial, e respondendo por 19,0% do valor total de produção industrial. No Estado de São Paulo se encontravam 51,3% do total das indústrias do gênero do país, respondendo por 50,6% do valor de produção industrial total do sub-setor. Do ponto de vista do consumo energético, as indústrias químicas responderam por 11,5% da demanda de energia industrial em 1980 e, 4,9% da demanda energética total do país; em 1984 a incidência do sub-setor sobre esses parâmetros de referência foi 11,0% e 4,5%, respectivamente [Ministério das Minas e Energia, 1985].

Apesar da grande importância do sub-setor químico, sobretudo do ponto de vista econômico, esse segmento industrial não foi objeto de estudos mais detalhados quanto ao consumo de energia e possibilidades de conservação e substituição, principalmente em função da grande diversidade de produtos e da relativa complexidade dos processos produtivos.

Em que pesem as dificuldades associadas às limitações das informações, o objetivo dessa análise é caracterizar da maneira mais abrangente possível, a indústria química quanto ao proces

so de produção e de que forma a energia se insere no mesmo, bem como detectar possibilidades e tendências associadas à conservação e substituição.

5.4.2. Processo produtivo e consumo energético

Para caracterização dos processos produtivos nas indústrias Químicas e para definição dos padrões de consumo energético, será adotada a metodologia de análise da sequência da produção de alguns produtos químicos, ficando para um segundo passo a caracterização geral do consumo de energia no sub-setor.

Foram escolhidos para estudo do processo produtivo os seguintes produtos químicos, com as respectivas classificações de acordo com a ABIQUIM [1983]:

- (i) Cloro (Produtos inorgânicos);
- (ii) Ácido acético (Produtos intermediários);
- (iii) Eteno, propeno e buteno (matérias-primas e produtos básicos da indústria petroquímica);
- (iv) Ácido nítrico e fertilizantes (Fertilizantes e seus principais intermediários).

(i) Cloro

A indústria de produtos inorgânicos é também conhecida como indústria química de base, destacando-se entre seus principais produtos o cloro. O cloro tem uma ampla faixa de utilização sendo usado na petroquímica e na produção de plásticos clorados, ácido clorídrico, solventes e outros compostos químicos. É empregado ainda na indústria de papel e celulose, e também em atividades de tratamento d'água. Do ponto de vista da fabricação, o cloro está vinculado à soda cáustica, motivo pelo qual suas estruturas produtivas são muito semelhantes [CESP/FDTE, 1981].

O cloro e a soda cáustica são obtidos pela eletrólise da água salina concentrada (salgema), num processo em que pode-se também obter como produtos o hidrogênio e o hidróxido de potássio. Em vista da possibilidade de combinação de vários produtos, é possível encontrar-se uma vasta gama de produtos finais, tais como so

da cáustica líquida ou em escama, cloro gasoso ou líquido, hidrogênio, hidróxido e carbonato de potássio, hipoclorito de sódio e ácido clorídrico.

Na figura 21 apresenta-se o fluxograma de produção de cloro. A matéria-prima básica é o cloreto de sódio que é descarregado em depósitos de saturação, juntamente com salmoura pobre proveniente das células eletrolíticas. A salmoura enriquecida devem ser adicionados vários reativos de maneira a que haja precipitação das impurezas contidas no sal, as quais são separadas por decantação e filtração.

Nas células eletrolíticas o cloreto de sódio purificado é decomposto em gás cloro e sódio metálico. A salmoura empobrecida deixa as células saturadas em cloro, motivo pelo qual deve passar por uma etapa de decloração antes de ser enviada novamente aos depósitos de saturação. A porção de cloro gasoso úmido é aspirada através de coletores, sendo então resfriada, seca e comprimida, tendo-se assim cloro liquefeito.

Já o cloro seco das células é destinado à reação com soda cáustica, tendo como produto o hipoclorito de sódio. A amalgama sódio-mercúrio é tratada com água desmineralizada, resultando em hidrogênio, soda-cáustica e na liberação de mercúrio, que é novamente enviado às células.

Para a soda cáustica existe uma outra sequência de etapas, que possibilita a concentração da soda ao nível de 99%, para venda em escamas ou blocos.

Finalmente, há o fluxo de hidrogênio liberado, que deve ser resfriado, lavado e armazenado, tendo-se como opção sua comercialização, ou utilização em reação com cloro gasoso para produção de ácido clorídrico em fornos horizontais [Centro de Estudios de la Energia, 1979].

Cerca de 90% do consumo total energético na produção de cloro, soda e produtos correlatos está associado à energia elétrica, principalmente na eletrólise, que responde por 90% dessa parcela, restando 10% ao acionamento de motores e usos gerais. Algo em torno de 10% do consumo geral de energia deve-se à participação dos óleos combustíveis, sendo 80% desse montante aplicado em fornos e 20% em geração de vapor. Esses dados referem-se a uma amostra de quatro fabricantes nacionais estudados pela FDTE [CESP/FDTE, 1981].

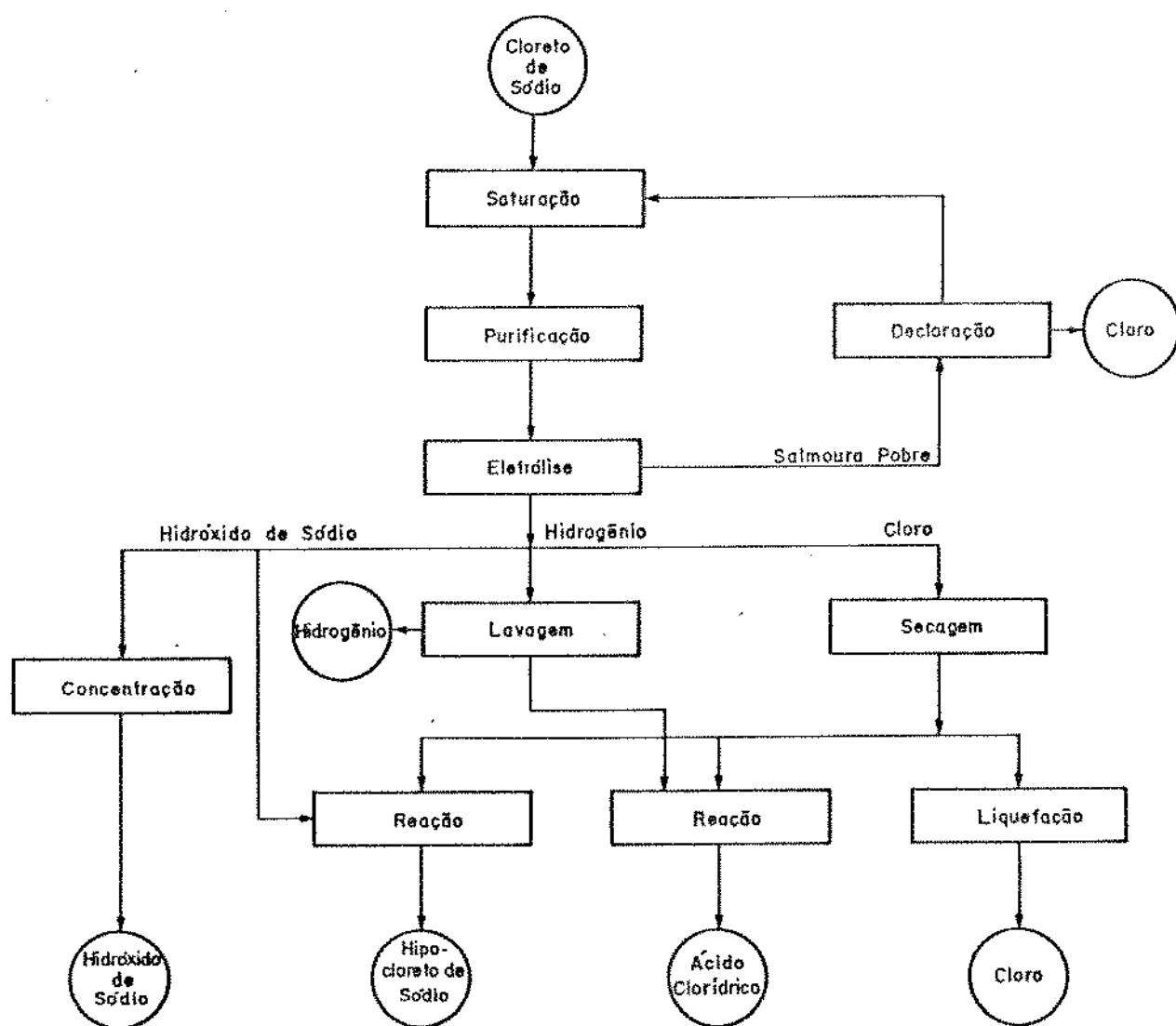


Figura:21- Fluxograma do Processo de Produção do Cloro.
Fonte: Centro de Estudos de la Energía.

É interessante mencionar que a eletrólise ocorre normalmente à baixas tensões, o que implica em correntes elevadas. Assim, as perdas por efeito Joule nas linhas e nos contatos se revestem de grande importância, e são decisivos quanto ao rendimento do processo. O problema se acentua em decorrência da ação corrosiva dos gases que emanam desses processos sobre os contatos elétricos.

(ii) Ácido acético

O ácido acético é citado num trabalho do Centro de Estudios de la Energia [1979], da Espanha, como um produto típico da indústria de Química Orgânica, enquanto para a ABIQUIM é classificado como um produto intermediário. A produção de ácido acético nos EUA se destina em grande parte à fabricação de acetato de vinila e de acetato celulósico. A literatura indica a existência de quatro diferentes rotas de produção, a partir do aldeído acético, do metanol, do butano, e da destilação da madeira. De acordo com Falth [1975], 90% da produção norte-americana é obtida a partir das vias do aldeído acético e do metanol; para o Brasil não foi possível levantar essa informação, sabendo-se apenas que existem quatro plantas em todo o país, e que a produção das três unidades localizadas no Estado de São Paulo responde por quase 99% da produção total [ABIQUIM, 1983].

Na figura 22 é apresentado o fluxograma simplificado do processo de produção de ácido acético a partir do aldeído acético, mediante oxidação catalítica desse numa reação exotérmica. Uma solução de aldeído acético de alta concentração (99 a 99,8%) é introduzida num reator juntamente com ar à pressões variáveis entre 480 e 520 KPA e catalizadores. Num processo por batelada, todo o aldeído pode ser completamente oxidado ao fim de um período de 12 horas.

Os gases que deixam o reator são lavados com água e desprendem na atmosfera nitrogênio e produtos de decomposição. A solução de aldeído diluído que deixa o fundo do lavador é enviada a uma coluna de recuperação. Por outro lado, o ácido acético bruto deixa o reator numa concentração variável entre 94 e 96% e é retificado numa coluna de destilação até o nível de pureza de 99%.

Em algumas indústrias a eliminação da água de lavagem do ácido acético se faz por extração ao invés do processo de destilação. Nas plantas mais modernas a oxidação do aldeído é desenvol-

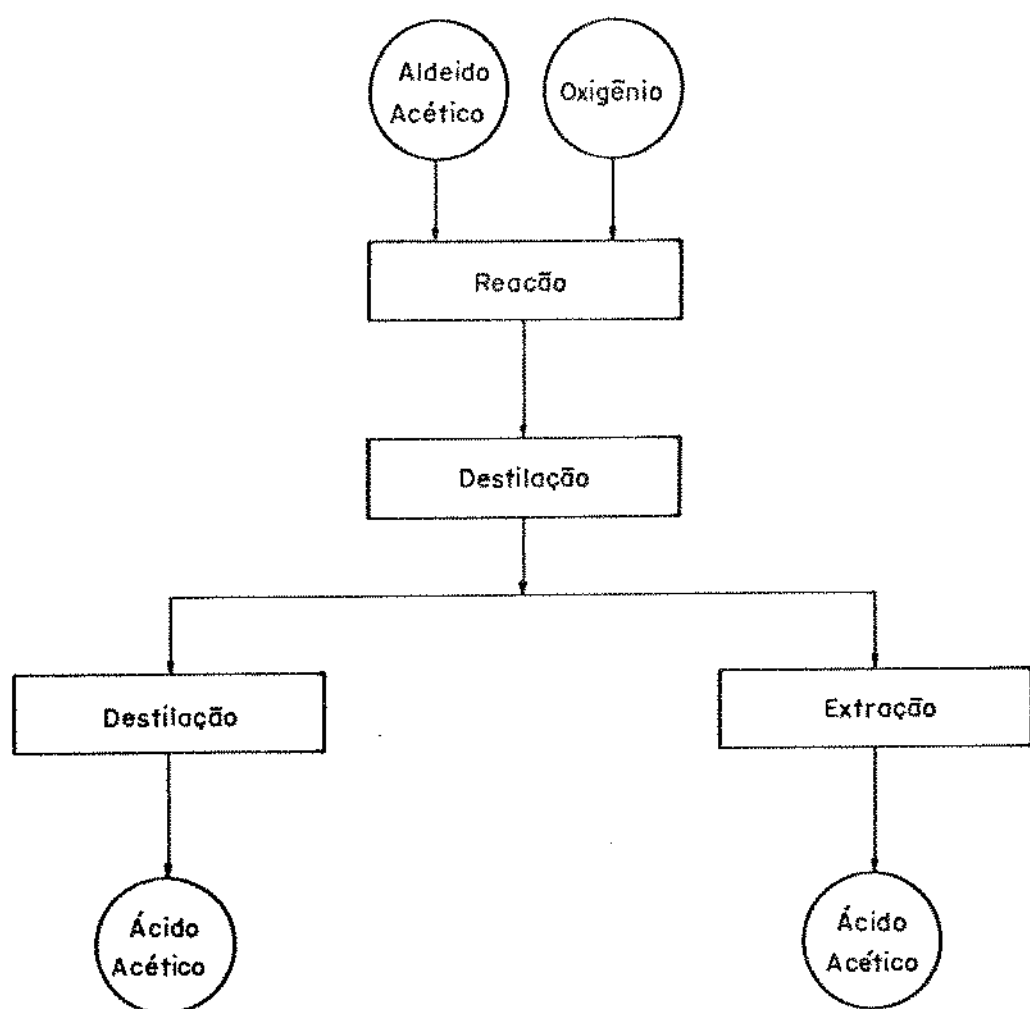


Figura:22-Fluxograma do Processo de Produção de Ácido Acético

Fonte: Centro de Estudios de la Energía

vida segundo um processo contínuo, numa etapa que se desenvolve a 100 KPa e temperaturas variáveis entre 70 e 80°C [Falth, 1975].

Embora não se disponha de informações precisas, é possível supor que o consumo de energia na produção de ácido acético a partir de aldeído acético é influenciado pela necessidade de ar comprimido na etapa de reação e pelo consumo de vapor nas várias etapas de recuperação e retificação.

(iii) Eteno, propeno e buteno

O eteno (ou etileno) é a matéria-prima básica para a produção dos materiais plásticos mais difundidos - polietileno, PVC e PVA, além de entrar na composição do etilenoglicol que se constitui num dos insumos básicos para a produção de fibras de poliéster. É usado também na produção de detergentes e elastômeros.

Já o propeno é utilizado na fabricação de polipropileno, de acrilonitrila e do cumeno. Estes dois últimos produtos são insumos básicos para a produção de fibras têxteis, sendo usado também na produção de borracha sintética, de detergentes e como solvente. Finalmente, há o benzeno, composto usado na produção de plásticos, fibras sintéticas, defensivos agrícolas, inseticidas e fertilizantes [CESP/FDTE, 1981].

Podem ser identificadas duas vias básicas de produção dessas substâncias químicas, uma a partir do refino do petróleo bruto, o que é feito nas refinarias da Petrobrás, ou através da síntese da nafta. Na verdade, quase todos os hidrocarbonetos naftênicos ou parafínicos mais pesados que o metano podem ser craqueados em aquecimento a vapor na fabricação desses produtos [Falth, 1975].

No Brasil, existem quatro plantas de produção de eteno a partir do álcool etílico, com produção da ordem de 12% da produção total no ano de 1982 [ABIQUIM, 1983].

A produção a partir do refino de petróleo não é muito significativa em relação à produção total desses produtos, razão pela qual deveria ser encarada com menor atenção em comparação ao processo através da síntese da nafta. Para reforçar essa tendência, deve-se salientar que dentro do processo de refino de petróleo, a produção de eteno, propeno e buteno é de menor importância, dado que a produção desses elementos é quase desprezível comparada à de gasolina, óleo diesel, óleo combustível e nafta.

Um fluxograma simplificado de produção de eteno, propeno e buteno e produtos afins a partir da síntese da nafta é mostra

do na figura 23 . Em relação à produção final de todos os produtos possíveis, a distribuição típica dos produtos de interesse nessa análise é:

- eteno, 29%;
- propeno, 13%;
- benzeno, 11%.

A estrutura de consumo de energia em instalações do gênero indica que a fração mais representativa, cerca de 98% da demanda total, é atendida por óleos combustíveis, restando pouco mais de 2% que deve ser atribuído à eletricidade. Com relação ao consumo de combustíveis, estima-se que 90% seja destinado à geração de vapor e os 10% restantes aplicados em fornos [CESP/FDTE, 1981].

(iv) Ácido nítrico e fertilizantes

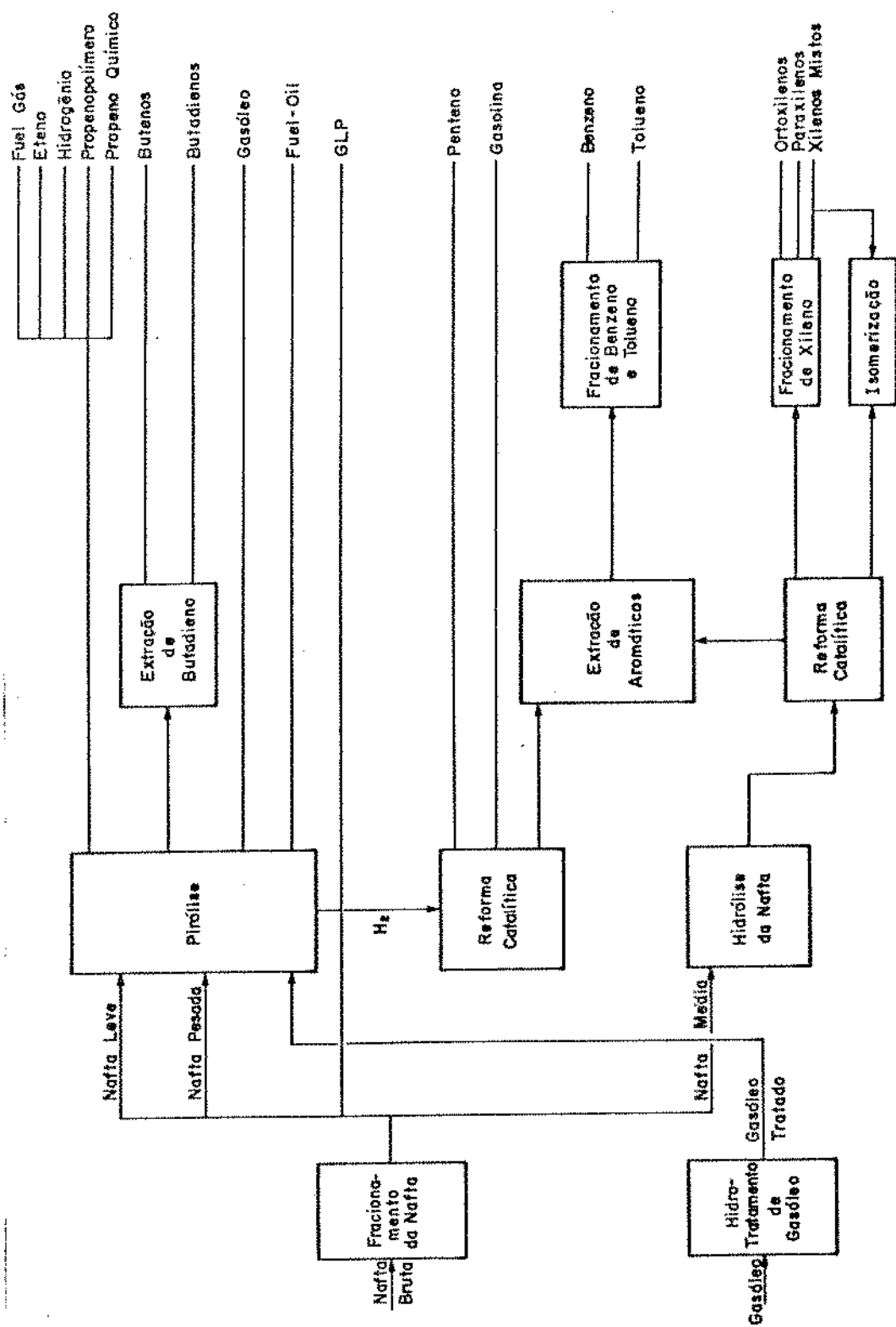
Nesse sub-item deverão ser analisados os processos de produção do ácido nítrico e de alguns produtos fertilizantes simples. O destaque feito ao ácido nítrico deve-se ao fato de que esse produto é de extrema importância na produção de nitrato de amônia, que por sua vez constitui-se em elemento básico na indústria de fertilizantes, muito embora cada vez mais se torne fundamental também na indústria de explosivos.

O ácido nítrico é produzido a partir da oxidação catalítica da amônia, de acordo com o fluxograma simplificado que é apresentado na figura 24 . Os processos comerciais são classificados em função das pressões utilizadas nos estágios de conversão e absorção, podendo ser "mono-pressão" ou de "pressão dual".

Verifica-se uma tendência nas plantas mais modernas, de operação a pressões mais elevadas. As unidades "mono-pressão" mais antigas utilizam uma pressão média variável entre 300 e 500 KPa em toda a instalação, enquanto as plantas à pressão mais elevada operam com valores variáveis entre 800 e 1300 Kpa. Já as instalações de pressão dual empregam pressões médias no conversor e altas pressões na torre de absorção [IPT, 1986].

A primeira etapa básica na produção de ácido nítrico é a conversão preferencial da amônia em óxido de nitrogênio (NO), que ocorre num reator na presença de ar comprimido; antes disso a amônia deve ser vaporizada, superaquecida e filtrada.

No conversor a mistura amônia-ar é submetida a um esco



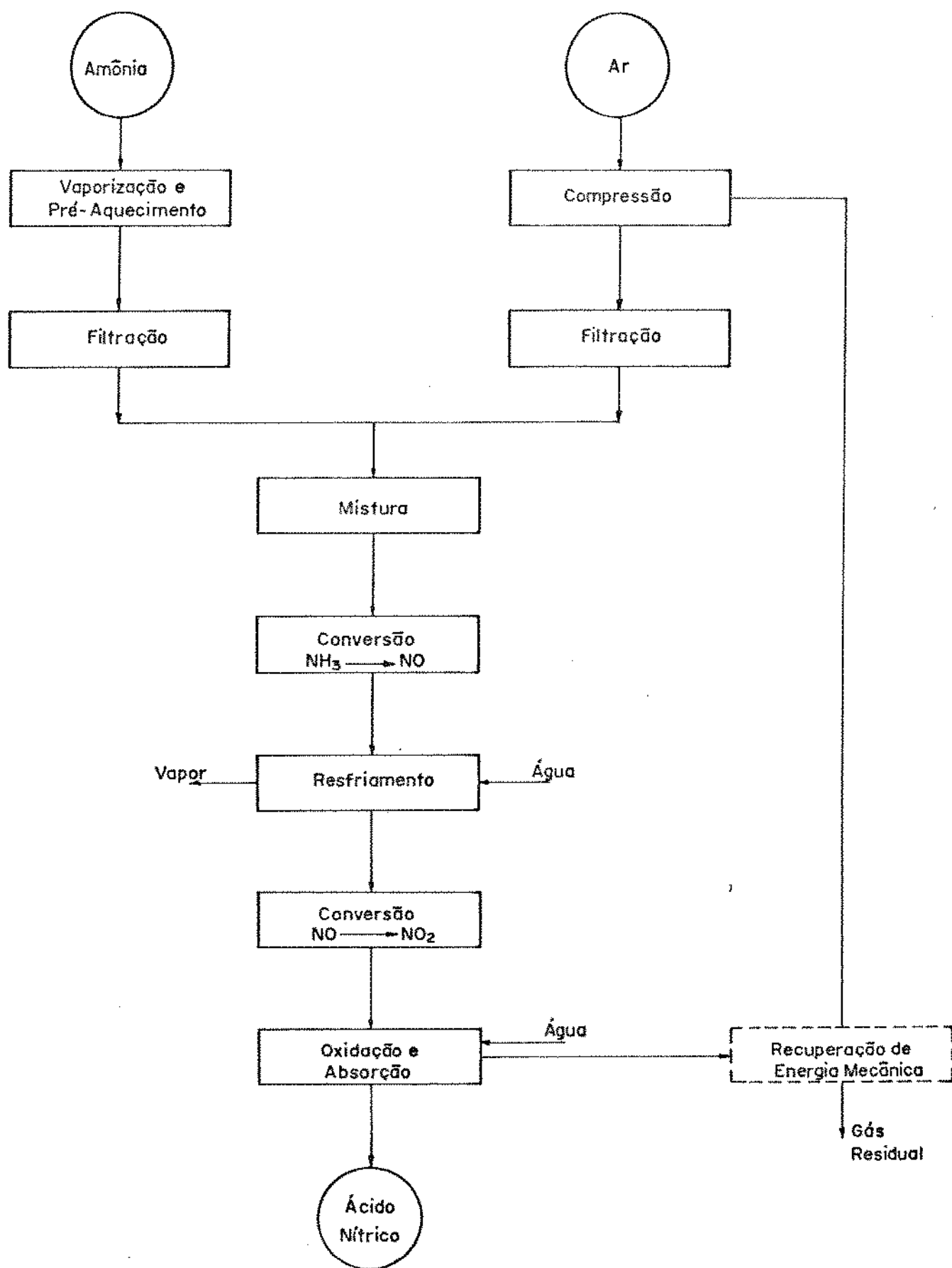


Figura:24-Fluxograma do Processo de Produção de Ácido Nítrico
Fonte: IPT

amento num leito catalítico de platina-rhodium no qual o nitrogênio deve ser oxidado. É possível que ao invés de monóxido de nitrogênio tenha-se a formação de compostos NO_x , o que deve ser evitado através do controle da atividade do catalisador, da temperatura do processo e da velocidade de passagem do gás pelo leito.

É interessante notar que a reação de conversão é exotérmica, e normalmente o calor liberado é empregado no pré-aquecimento da água de alimentação das caldeiras, no aquecimento de fluxos de gases, e até mesmo na geração de vapor. Essa etapa constitui-se no resfriamento do monóxido de nitrogênio, após o que é submetido à nova etapa de conversão.

A conversão de monóxido em dióxido de nitrogênio ocorre na torre de oxidação, com injeção de excesso de ar, após o que o gás é encaminhado a um condensador-resfriador, onde se separa o ácido nítrico formado pela umidade do ar.

A formação do ácido nítrico propriamente dita ocorre na operação de absorção de NO_2 em água, numa reação exotérmica favorecida a baixas temperaturas, motivo pelo qual é necessária a injeção de grande quantidade de água de resfriamento. O gás residual efluente da torre de absorção sofre geralmente um pré-aquecimento (quase sempre utilizando-se o calor liberado na reação de conversão de NH_3 em NO) e é expandido numa turbina.

O ácido assim formado possui ainda certa quantidade de dióxido de nitrogênio dissolvido, o que lhe confere uma coloração amarelada ou marrom. Em geral o ácido é submetido à uma etapa de branqueamento, com injeção de ar comprimido. Nas plantas mais modernas, com alta eficiência de absorção, a concentração final do produto está na faixa de 55 a 65% [IPT, 1986].

O processo de produção de amônia envolve reações químicas exotérmicas, o que lhe confere bom potencial de recuperação de energia, e faz com que a necessidade de aportes energéticos externos seja reduzida em relação à outras plantas.

O principal item na demanda de energia é o consumo da eletricidade necessária à compressão do ar empregado na etapa de oxidação da amônia. Em alguns casos é possível que essa necessidade seja suprida total ou parcialmente pelo gás de escape da torre de absorção de ácido nítrico em expansão numa turbina, conforme descrito anteriormente.

Outro item de importância no perfil de consumo de energia nesse processo é a necessidade de vapor na vaporização e

superaquecimento da amônia, antes de sua alimentação no conversor. Nesse caso é possível que o vapor seja gerado, ou haja auxílio no processo de geração, da energia liberada nas reações exotérmicas de conversão.

É interessante mencionar que o IPT em estudo realizado em quatro plantas de produção de ácido nítrico [1986] constatou três unidades apresentando consumo específico de energia negativa, isto é, maior saída de energia em relação aos insumos face ao caráter exotérmico das reações.

Na figura 25 apresenta-se um esquema geral dos processos de produção de fertilizantes no Brasil. O ácido nítrico é um produto intermediário, do qual pode-se obter nitrato de amônio ou nitrocálcio, que são produtos fertilizantes simples nitrogenados. Os produtos compostos nada mais são do que uma combinação de vários fertilizantes simples nas proporções adequadas, podendo se apresentar na forma de granulados, simples misturas, fluidos em solução ou em suspensão.

Para caracterizar a produção de fertilizantes serão analisadas as sequências produtivas de nitrato de amônio e nitrocálcio. Os fluxogramas de ambos os processos são apresentados na figura 26.

O nitrato de amônio é produzido a partir da neutralização do ácido nítrico por meio de amônia líquida vaporizada, que são alimentados em tanque neutralizador pressurizado. Uma vez que a reação química é exotérmica, é possível a recuperação de calor na geração de vapor a ser utilizado na vaporização e superaquecimento da amônia e evaporação da solução de nitrato.

A solução deve então ser encaminhada para um tanque de expansão onde gera-se vapor "flash", obtendo-se nitrato à concentração de 82%. A solução é submetida a um processo de troca de calor com vapor e ar quente, sendo concentrada à 99,8%. Segue-se a granulação e sua classificação; os finos são reciclados e o produto resfriado, com repetição do processo. Finalmente o produto final é recoberto com caulim face à alta higroscopicidade do nitrato.

Em linhas gerais, o processo de produção de nitrocálcio não apresenta grandes diferenças em relação à fabricação de nitrato de amônio. Após a neutralização do ácido nítrico por amônia, o licor é submetido à evaporação, havendo diferença em relação à etapa anterior pelo fato dos diferenciais de concentração

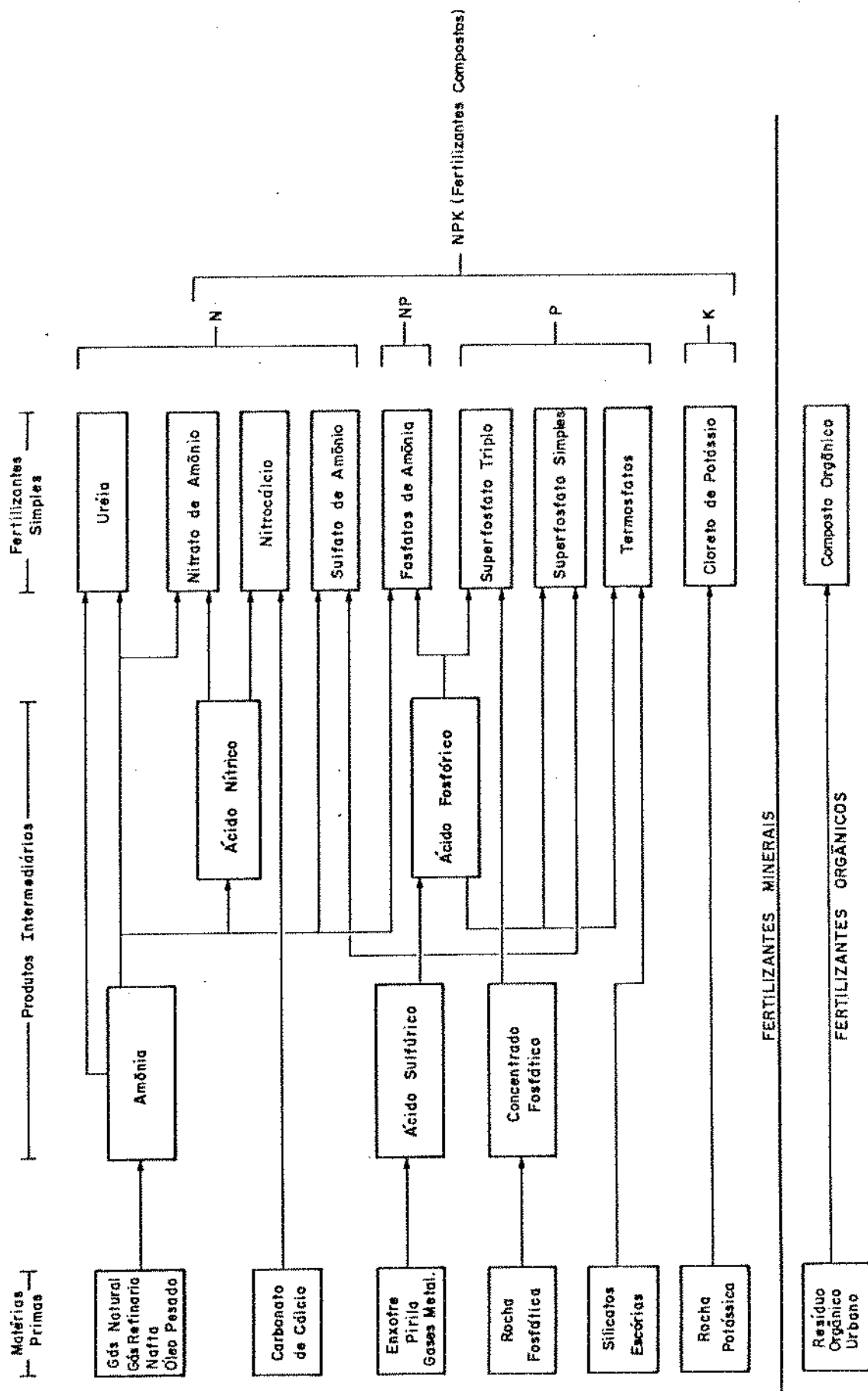


Figura 25: Esquema Geral da Produção de Fertilizantes no Brasil.

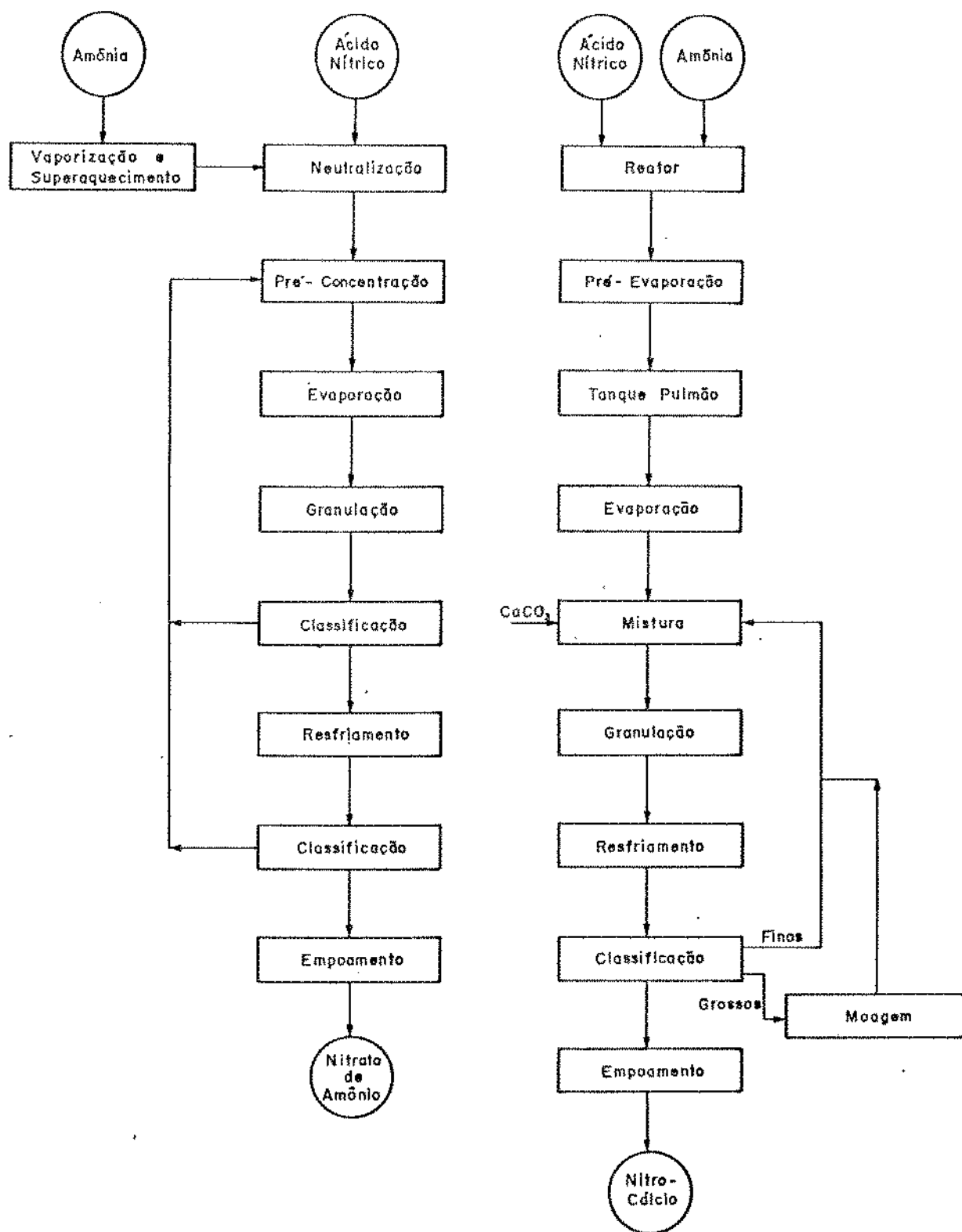


Figura:26-Fluxogramas dos Processos de Produção de Nitrato de Amônio e Nitrocálcio.
Fonte: IPT.

requererem o emprego de pré-evaporadores e evaporadores de múltiplo efeito.

Na etapa de mistura, dolomita finalmente dividida na proporção de 20% em relação à massa total é adicionada à solução concentrada de nitrato de amônia. Feita a granulação e o resfriamento, o produto é classificado em frações "grossas", que são enviadas à moagem, e frações "finas", que seguem junto com os finos de moagem para o tanque de mistura. Somente o produto com granulometria intermediária é aproveitado, sendo encoberto com caulim, para evitar a umidificação, e ensacado [IPT, 1986].

Em ambos os processos a quantidade de energia requerida varia em função da eficiência na recuperação de energia na etapa de neutralização com amônia. A demanda energética está associada ao consumo de vapor necessário ao aquecimento e evaporação, e ao consumo de eletricidade no acionamento de mecanismos diversos.

A energia intervém de diversas maneiras nos processos produtivos das indústrias químicas, sendo que esses aportes ocorrem sobretudo na forma de utilidades: energia elétrica, vapor, ar comprimido, água e fluídos de uma maneira genérica, e combustíveis. A quantia de insumos sob a forma de cada uma das utilidades requeridas no desenvolvimento de um dado processamento é função do balanço energético da instalação, levando-se em conta a contribuição energética do próprio processo na forma de reações exotérmicas, e a possibilidade de recuperação de calor [Le Goff, 1979].

De uma maneira genérica, pode-se dizer que as reações químicas ocorrem em consequência da presença dos reagentes em ambientes que tenham as condições de pressão e temperatura adequadas. Tal situação implica na necessidade de aportes de combustíveis, de uma maneira geral, na geração de vapor (que atua como fluído de aquecimento e/ou processamento) e em fornos para finalidades diversas, e consumo de eletricidade no acionamento de sistemas de refrigeração e de compressão de ar, bem como no acionamento de motores nos processos de mistura e transporte de reagentes.

O transporte de sólidos e fluídos pode ser feito através de correias transportadoras, por aspiração e compressão, ou por bombeamento, estando a todas essas ações associado o consumo de eletricidade.

O conjunto de etapas normalmente classificado como compactação de sólidos envolve as operações unitárias de moagem, britagem, prensagem e granulação, sendo que apenas à essa última pode

ser atribuído o consumo de energia térmica. No caso das demais, a única forma de energia utilizada é a eletricidade.

A purificação e separação de fase dos fluxos materiais na indústria química é o conjunto de ações ao qual normalmente pode ser associado o mais alto percentual de consumo energético de toda a instalação. Podem ser destacadas as operações de centrifugação e filtração de natureza puramente mecânica, e que envolvem consumo de energia elétrica tão somente, e as etapas de destilação e cristalização, de natureza térmica, e que portanto tem associação direta ao consumo de combustíveis [CESP/FDTE, 1981].

Deve-se mencionar ainda o processo de eletrólise, que nada mais é do que uma operação de separação entre elementos, e que tem importância fundamental em vários processos de produção na indústria Química.

Um último comentário deve ser feito em relação ao fato de que existem outras ações, embora menos relevantes sob a ótica do consumo de energia, que não podem ser totalmente desprezadas, como é o caso das várias etapas de aquecimento e vaporização descritas nos processos produtivos.

5.4.3. Potencial de conservação

Em "Energetique Industrielle", Le Goff [1979] apresenta alguns dos resultados do grupo de estudos constituído em 1974 na França, para avaliação das medidas potenciais de economia de energia na indústria química daquele país. As alternativas identificadas foram classificadas em seis diferentes rubricas:

- (i) energia elétrica;
- (ii) vapor;
- (iii) água e fluidos gerais;
- (iv) combustíveis;
- (v) matérias-primas;
- (vi) recuperação de energia nos processos.

Seguindo a mesma divisão, apresentam-se algumas medidas de conservação para cada um dos itens.

(i) Nas ações relativas à energia elétrica devem ser citadas algumas medidas de organização e administração do consumo de eletricidade, tais como otimização dos contratos de energia e deslocamento preferencial da carga para horários fora de ponta. Também deve ser tratada com destaque a necessidade de melhoria do fator de carga e do fator de potência das instalações, através do controle automático da demanda máxima da planta, e do controle da potência dos equipamentos. Reduções no consumo de eletricidade podem ser obtidas através da diminuição das perdas nas linhas, adaptação dos rotores das bombas hidráulicas às reais necessidades, substituição de sistemas de iluminação incandescente por fluorescente, e regulação da temperatura em grupos frigoríficos, bem como adaptação da carga térmica às exigências do processo.

(ii) O primeiro ponto de importância com relação aos sistemas de vapor é a constatação de que os vazamentos através de purgadores, válvulas, flanges, ou nos próprios equipamentos, constituem focos de desperdício de energia. Nesse sentido, recomenda-se a prática de agilização dos serviços de manutenção das linhas de distribuição e seus acessórios, principalmente quanto aos purgadores, bem como a realização frequente de balanços de vapor, para ajuste dos dados de consumo e quantificação das perdas.

Nas indústrias químicas é relativamente comum a utilização de vapor a diferentes níveis de pressão, o que abre a possibilidade de utilização do condensado dos processos de alta pressão na geração de vapor "flash", e sua utilização em operações à pressões mais baixas. Dentro do mesmo espírito está a utilização das descargas de fundo das caldeiras; nos casos em que for inviável a geração de vapor de descompressão, a energia contida nos fluxos das descargas deve ser reaproveitada no pré-aquecimento da água de alimentação.

Outra alternativa para aproveitamento da energia contida no condensado é sua captação e reutilização como água de alimentação, medida cuja viabilidade depende da temperatura do fluxo, da vazão, da distância entre os pontos de coleta e geração de vapor, e da não contaminação do fluido. De uma forma geral esse recurso já é empregado em muitas instalações, mas sempre existem pontos que poderiam ser melhorados a fim de tornar mais efetiva a recuperação de energia. De acordo com o Centro de Estudos de Energia [1979], medidas do gênero aplicadas em indústrias químicas

da Espanha possibilitaram a amortização do investimento num prazo máximo de 12 meses.

É possível também que economias até certo ponto significativas no consumo de energia da instalação possam ser obtidas através da eliminação do uso de vapor em aplicações tais como ejetores e traços de aquecimento para manutenção da temperatura de certos fluidos em transporte. Em geral, a substituição de vapor por sistemas elétricos, nesses casos, mostra-se mais eficaz.

Ainda com relação às indústrias químicas em que se consome vapor a diferentes níveis de pressão, muitas vezes são utilizadas válvulas na descompressão do vapor e adequação do mesmo às condições de uso, num processo com destruição de disponibilidade termodinâmica. Um processo alternativo muito mais eficaz seria o uso de turbinas em substituição à essas válvulas, utilizando-se a potência produzida na geração de energia elétrica ou acionamento de bombas e/ou compressores.

É interessante notar que mesmo nas unidades industriais em que já existem sistemas de co-geração, é quase sempre possível otimizá-la em sua operação através da escolha e operação adequada do sistema de controle. Nesses casos os benefícios obtidos permitem, de uma maneira geral, menor consumo energético na instalação como um todo, bem como maior uniformidade no suprimento de vapor ou energia elétrica [Centro de Estudios de la Energia, 1980].

(iii) Outra característica marcante das indústrias Químicas é que o consumo de água e de fluidos de uma maneira geral é quase sempre bastante significativo. Na maioria dos processos produtivos em que existe necessidade de resfriamento emprega-se como fluido de refrigeração a água.

Dessa forma, abre-se a possibilidade de minimizar o consumo de energia da instalação como um todo através de medidas de conservação no circuito d'água e de fluidos que exercem funções similares.

Algumas das ações típicas de conservação de energia seriam a limpeza periódica dos trocalores de calor, a regulagem da temperatura dos equipamentos que usam água de refrigeração, a colocação em série desses equipamentos, sempre que os níveis de temperatura assim o permitirem, e a otimização dos circuitos de maneira a evitar bombeamentos desnecessários, bem como aquecimento sem ne-

cessidade do fluido refrigerante. Deve também ser considerada a hipótese de uso de ar em substituição à água ou outros fluidos.

Com relação ao ar comprimido, é interessante mencionar que esforços visando a redução no consumo dessa utilidade sempre propiciam bons resultados. Dessa maneira, é sempre válido trabalhar no sentido de reduzir as fugas de ar ao longo das linhas de distribuição.

(iv) As medidas de conservação de energia nos sistemas de geração de vapor e fornos visam o maior rendimento de operação desses equipamentos, seja através da minimização das perdas, seja através de recuperação dos fluxos energéticos efluentes que não podem ser totalmente controlados.

Algumas das ações típicas de racionalização são o controle do excesso de ar de combustão e da temperatura dos gases de exaustão, a limpeza regular das superfícies de troca, minimização das perdas térmicas superficiais e operação dentro do maior período possível em regime permanente.

Deve haver preocupação no sentido de se recuperar fluxos energéticos efluentes no pré-aquecimento das cargas de alimentação dos fornos e caldeiras, no pré-aquecimento do ar de combustão e na produção de vapor à baixa pressão. Outro ponto interessante é a possibilidade de maximizar a utilização de resíduos combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos em substituição preferencial a derivados de petróleo.

(v) O estudo sistemático dos fluxos de matérias-primas, através da realização de balanços detalhados permite a localização e quantificação de perdas, e, conseqüentemente, a melhoria dos rendimentos dos processos. Três linhas básicas de atuação devem ser destacadas: minimização das perdas materiais nos fluxos de saída ou ineficiências dos processos; substituição de materiais e produtos nobres por outros mais ordinários; revisão dos critérios de pureza dos produtos finais, diminuindo, assim, o consumo de energia na purificação e/ou perdas nos resíduos.

(vi) Nas indústrias químicas a recuperação de energia nos diversos processos é uma das ações mais eficazes na redução do consumo energético das instalações.

A primeira medida a ser comentada é a recuperação da

energia contida no fluxo de fluidos efluentes de processos químicos, a alta pressão, tal como no caso dos gases que deixam a torre de absorção nas plantas de ácido nítrico, e que são expandidos numa turbina a gás gerando potência elétrica ou mecânica.

Igualmente importante é a possibilidade de aproveitamento do calor liberado em reações exotérmicas, em aplicações tais como produção de vapor, aquecimento d'água, pré-aquecimento de fluidos de uma forma geral, aquecimento de ar de secagem, entre outras alternativas. As possibilidades reais em cada caso dependem da quantidade de calor liberado e das necessidades de cada planta [Centro de Estudios de la Energia, 1980].

Outras medidas de recuperação de energia possíveis de serem aplicadas nos processos químicos são o acoplamento de sistemas de recuperação aos sistemas originais, ou o acoplamento de plantas que tenham balanço de energia positivo com plantas que tenham balanço negativo. Devem também ser consideradas as possibilidades de utilização de efeitos adicionais em evaporadores de múltiplo efeito, ou a adaptação de sistemas de recompressão térmica ou mecânica ao mesmo equipamento.

Embora não possam ser considerados propriamente como ações de recuperação de energia, é interessante mencionar como medidas potenciais o controle contínuo da qualidade dos produtos, a fim de reduzir ao mínimo o consumo de energia necessário à purificação, a redução das taxas de diluição de produtos que são concentrados por evaporação, e o reexame dos meios de separação utilizados sob a ótica do consumo de energia.

Para encerrar a discussão sobre o potencial de conservação de energia nas indústrias Químicas, descreve-se a seguir algumas tecnologias específicas para o caso das plantas de produção de ácido nítrico e nitrato de amônio.

Conforme descrito quando da caracterização da sequência produtiva do ácido nítrico, o processo gera, através de reações químicas exotérmicas, uma quantidade de energia suficiente para seu auto-suprimento, e, eventualmente, um certo excedente que pode ser exportado para usos em outras unidades. A recuperação de energia ocorre na maioria dos casos através de geração e superaquecimento de vapor d'água ou no aquecimento do gás residual da etapa de absorção, que é expandido numa turbina a gás. A potência assim gerada pode ser utilizada para várias finalidades, tendo-se encontrado referência de aplicações no acionamento de compressores de

ar.

Le Goff [1979] cita também como possíveis utilizações da energia liberada nas etapas de oxidação e absorção, o pré-aquecimento da água de alimentação das caldeiras e o pré-aquecimento do ar empregado nas reações químicas. É interessante notar que a forma como é feita a recuperação de energia e a sua destinação representam aspectos de importância que podem levar ou não à otimização do uso energético na planta. Num estudo efetuado para a indústria de Fertilizantes, o IPT [1986] cita trabalhos em que foram analisados oito diferentes arranjos de recuperação e uso da energia liberada no processo.

As tecnologias recentemente desenvolvidas para a produção de ácido nítrico tem como ponto comum a redução das perdas de nitrogênio, através da alteração das condições de pressão e temperatura, motivada pelo uso de novos catalizadores. Dessa forma é possível minimizar a ocorrência de reações paralelas que consomem nitrogênio da amônia, não favorecendo a óxi-redução.

O processo de "pressão-dual", citado no item anterior, é atribuído ao desenvolvimento tecnológico de uma empresa romena [IPT; 1986], e permite a obtenção de ácido nítrico em condições tais que é possível reduzir a demanda energética em processos subsequentes desse produto, como é o caso, por exemplo, da fabricação de nitrato de amônio.

Já no processo convencional de produção do nitrato, existem duas possibilidades de recuperação de energia, uma no aproveitamento da energia liberada na reação exotérmica de neutralização pressurizada, outra na forma de vapor de descompressão ao se fazer a expansão da solução efluente do neutralizador. Essa tecnologia não permite, no entanto, que a planta seja auto-suficiente energeticamente.

Existe uma tecnologia alternativa, baseada nos mesmos princípios do processo convencional, em que a recuperação de energia no neutralizador é feita de maneira indireta, em trocador de calor, eliminando-se também a descompressão. Essa nova configuração permite a auto-suficiência da planta, do ponto de vista da energia, e elimina o risco de haver geração de vapor contaminado [IPT, 1986].

5.4.4. Tendência comportamental em conservação e substituição

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985], o sub-setor Químico tem apresentado nos últimos anos um crescimento do consumo de energia superior ao que tem se verificado no setor industrial como um todo. Com efeito, enquanto a demanda energética do total das indústrias do país cresceu à taxas anuais de 9,2% no período 1974-1980, o mesmo índice para a indústria Química esteve em 12,9% ao ano. Considerando o período 1974-1984, a taxa de crescimento do consumo de energia industrial foi de 5,8% ao ano, contra 7,5% do sub-setor Químico.

Na figura 27 são apresentadas as curvas de evolução do consumo de energia na indústria Química brasileira, para cada uma das principais formas de energia nesse sub-setor, e para o consumo total. Percebe-se claramente a tendência marcante de crescimento da demanda energética global no período 1974-1980, com forte reversão de 1980 a 1982, mas retomada a partir de 1982 à taxas praticamente idênticas às verificadas no primeiro período considerado.

É interessante mencionar que a indústria Química tem sido considerada como um dos segmentos prioritários em todos os programas governamentais de desenvolvimento econômico elaborados nos últimos anos, fato que explica a tendência de crescimento do consumo de energia nesse sub-setor a nível superior ao da indústria como um todo. Cabe também notar que o comportamento verificado de 1980 a 1982, principalmente em 1980, pode ser atribuído, em princípio, à retração da produção química nessa época.

Quanto à tendência de evolução do consumo por formas de energia, observa-se que o crescimento verificado para os óleos combustíveis segue em linhas gerais o crescimento do consumo total, apresentando inclusive a mesma reversão no ano de 1980. Só a partir de 1981 fica caracterizado o comportamento diversificado do consumo de óleos combustíveis residuais e do consumo global. Cabe destacar que ao longo do período 1974-1984 a indústria Química sempre foi o segmento individual maior consumidor industrial desse energético respondendo sozinha em 1984 por 22,1% do consumo industrial e 15,3% do consumo geral.

A evolução do consumo de eletricidade só acompanhou a

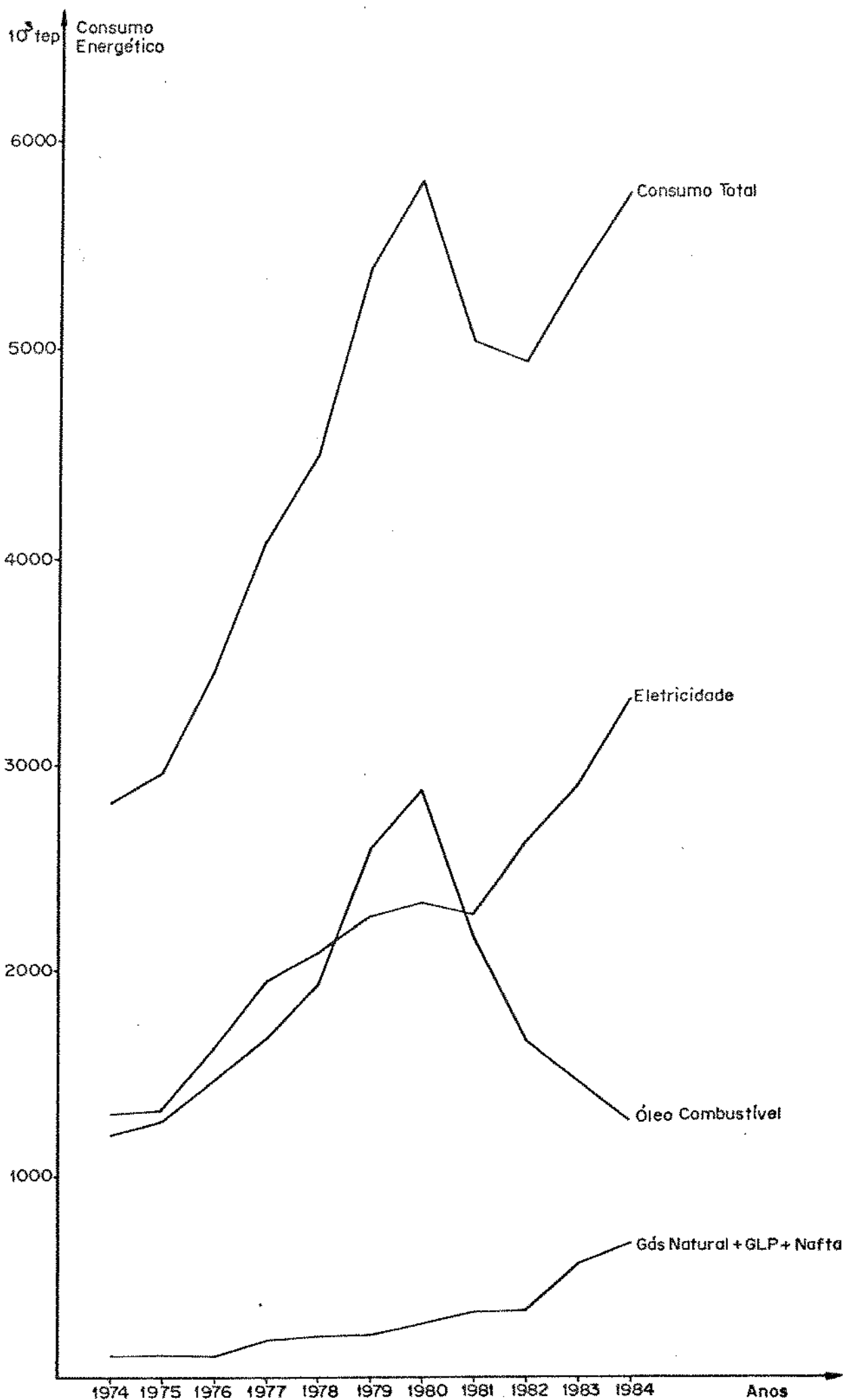


Figura:27- Consumo de Energia na Indústria Química-Brasil

Fonte: Balanço Energético Nacional

evolução do consumo total após 1982, tendo sido crescente, mas a taxas inferiores às da demanda global, até 1980, e com comportamento atípico em relação ao consumo total, que serve como referencial, nos anos em que observou-se reversão. Vale ressaltar que qualquer consideração que pudesse ser feita no sentido de atribuir o tal comportamento os reflexos de uma tendência de substituição entre formas energéticas seria precipitada. A indústria Química, dentro da enorme diversidade de produtos e processos, possui certas plantas em que o consumo de energia elétrica é bastante superior ao de qualquer outra forma energética, como pudemos verificar, ainda que de maneira resumida, quando da análise dos processos produtivos. Dessa forma, se numa dada época a produção de bens mais intensivos em eletricidade foi superior a de outros produtos, é de se esperar que ocorram variações na estrutura de consumo energético.

Finalmente, na análise da evolução do consumo de Gás natural, GLP e Nafta, percebe-se claramente a tendência de crescimento moderado até 1982, a partir do que as taxas de crescimento são mais expressivas. Esse fato pode ser atribuído à maior penetração do gás natural na matriz energética, principalmente nas indústrias do Estado do Rio de Janeiro e no Nordeste.

Na tabela 20 apresenta-se a estrutura de consumo energético da indústria Química brasileira nos anos de 1974, 1979 e 1984.

TABELA 20

ESTRUTURA DE CONSUMO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA QUÍMICA - BRASIL - %

Forma Energética	1974	1979	1984
Óleos Combustíveis	42,5	48,1	21,8
Energia Elétrica	45,8	41,9	57,6
Gás Natural + GLP + Nafta	3,6	3,8	11,5
Outros	8,1	6,2	9,1

FONTE: Balanço Energético Nacional

O Sub-setor Químico embora seja um dos mais representativos segmentos industriais do ponto de vista do consumo energético, e o maior consumidor individual de óleos combustíveis do país, nunca foi objeto de atenção específica das autoridades governamentais quanto à definição de diretrizes com relação à conservação e substituição de energia. Algumas providências que foram tomadas nesse sentido constituíram-se em iniciativas individuais de indústrias ou grupos industriais mais intensivos energeticamente.

De acordo com Rouso [1984], o consumo específico na indústria Química brasileira vem sendo reduzido desde 1977, inicialmente de maneira tímida, e mais efetivamente a partir de 1979. Já o consumo específico de óleos combustíveis, só vem se mostrando decrescente a partir de 1979, um ano antes do início da queda acentuada do consumo real desse energético. As curvas de consumo específico são apresentadas na figura 28.

Ainda segundo Rouso, as medidas de conservação de energia no segmento Químico precederam às iniciativas de substituição, o que confirma a observação de comportamento diversificado das curvas de consumo específico e consumo físico real.

Cabe notar que as curvas de evolução de diversos números índice para o sub-setor Químico não se mostram suficientemente consistentes a ponto de inferirmos qualquer análise de evolução do consumo específico a partir de 1982, último ano em que essa informação é disponível (vide figura 29).

Especialistas em processos químicos estimavam em 1981 que, dentro do estado da arte da tecnologia àquela época, o potencial de economia de energia se situava, em média, em torno de 30%. É interessante mencionar que esse potencial, para as grandes indústrias, era muito mais função de possíveis alterações nas vias de produção do que otimização propriamente dita do processo já existente. [CESP/FDTE, 1981].

Diante do fato de que a atual estrutura de custos de energéticos no país e a política de estímulo a conservação de energia não são capazes de motivar o empresariado do sub-setor a investir grandes montantes de capital em novos equipamentos, não é de se esperar, a curto prazo, reduções substanciais no consumo específico. Alguns comentários, no entanto, devem ser feitos. O primeiro deles é com relação ao processo de retomada do desenvolvimento econômico, que novamente também deverá estar baseado na indústria química, podendo proporcionar a construção de novas e mais moder-

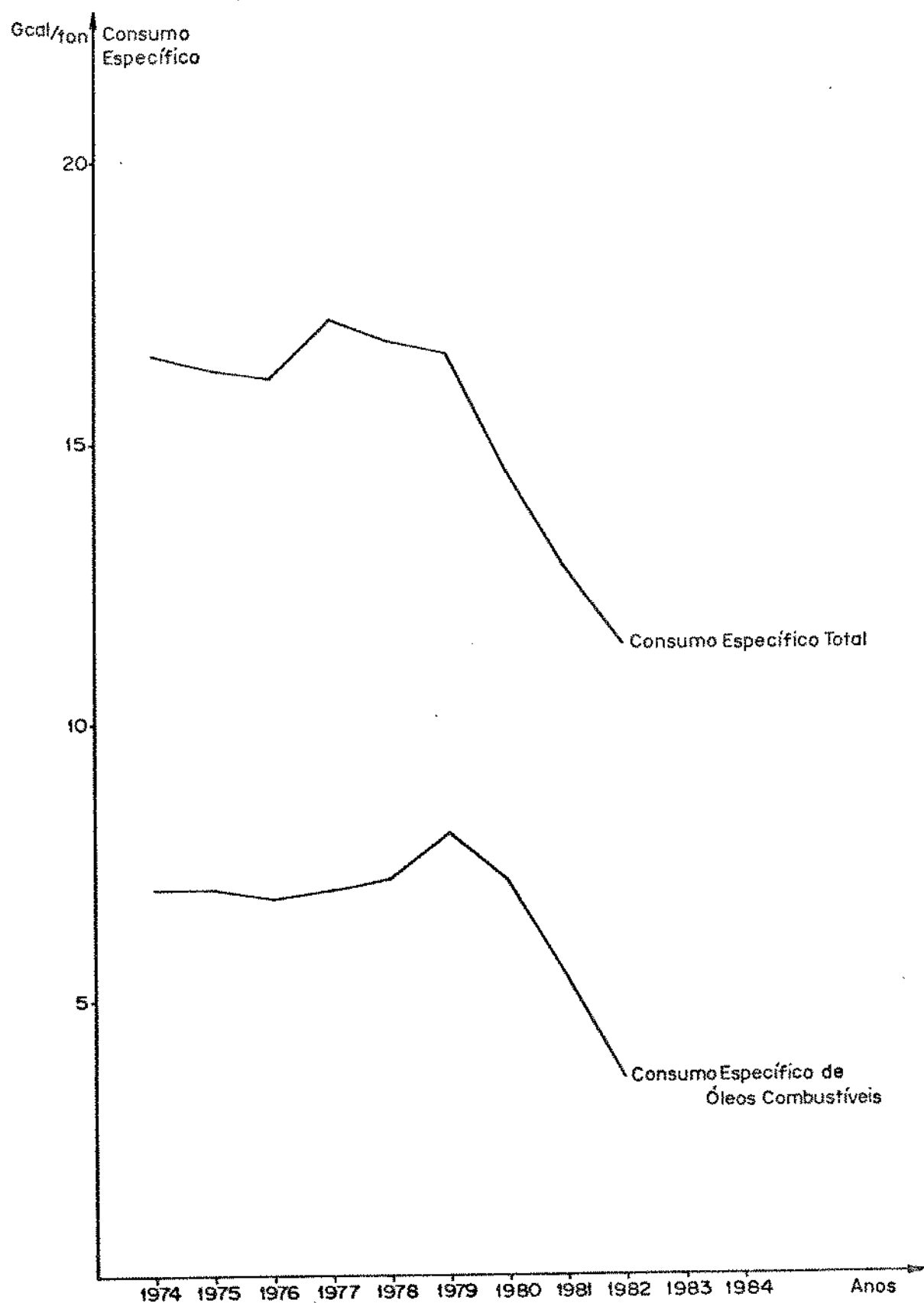


Figura:28- Consumo Específico de Energia na Indústria Química

Fonte: (Rousso,1984)

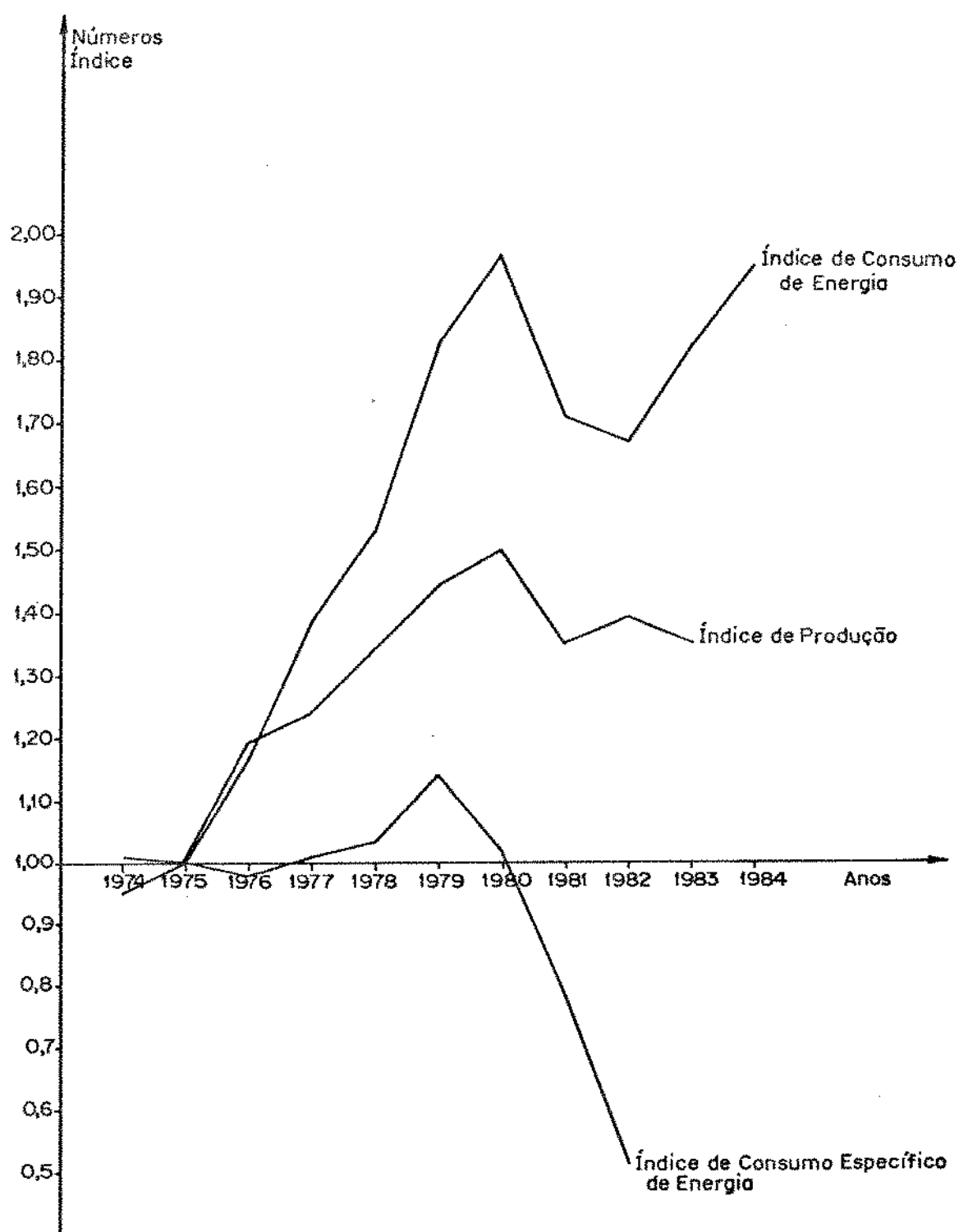


Figura:29- Números-Índice para a Indústria Química

Fontes: Índice de Consumo de Energia: Balanço Energético Nacional, 1985

Índice de Produção: Anuários Estatísticos do Estado de São Paulo, SEADE

Índice de Consumo Específico: Rouso, 1984

nas plantas. O segundo ponto é no sentido de que existem várias unidades onde ainda há potencial de redução do consumo de energia, seja na adoção de simples medidas, seja na disseminação dos processos de recuperação de energia ou na adoção de sistemas de cogeração.

Quanto à substituição entre formas energéticas, não se verificou em nenhum instante uma clara tendência. Até onde é possível avaliar, houveram iniciativas de substituição de óleos combustíveis por eletricidade, e em alguns casos por lenha e carvão vegetal. Em certas regiões foi possível dinamizar o uso de gás natural, enquanto em certas unidades houve uma maior utilização de resíduos do próprio processo. Mais recentemente, muito se tem comentado a respeito do possível consumo de gases de refinaria, principalmente nas instalações vizinhas às refinarias de petróleo.

Para o Estado de São Paulo, tomando-se por base as informações da Pesquisa de Consumo de Energia do Conselho Nacional do Petróleo, é possível identificar uma estabilização do consumo total entre 1982 e 1984. Por problemas associados ao consumo de gases combustíveis, o que é discutido mais a frente, não é possível analisar o comportamento na passagem 1981-1982.

No que diz respeito ao consumo de óleos residuais, percebe-se uma clara tendência de redução gradativa até 1984, último ano em que essas informações estão disponíveis. Tudo leva a crer que tal fato deva-se primeiramente à substituição, e em segundo plano à algumas iniciativas de conservação.

O consumo de eletricidade é crescente nos anos analisados, devendo-se destacar o crescimento acentuado em aplicações de eletrotermia, principalmente em geração de vapor e aquecimento de fluídos térmicos, em que o consumo em 1984 foi 12,7 vezes maior em relação ao consumo verificado em 1981.

A mesma tendência de crescimento acentuado é observada em relação ao consumo de lenha, com a demanda em 1984 chegando a ser 12,2 vezes superior à verificada três anos antes.

Finalmente, com relação ao consumo de gases combustíveis de uma forma geral, exceção feita ao GLP, uma das três formas energéticas mais importantes no sub-setor, de acordo com a classificação adotada nesse trabalho, cabem alguns comentários mais detalhados. Os dados do Conselho Nacional do Petróleo apresentam

uma incompatibilidade entre os períodos anteriores e posteriores a 1981, com queda bastante acentuada nos valores de consumo declarado. Mesmo tendo contatado o Conselho não foi possível sanar o problema, razão pela qual mantivemos os valores apresentados nos relatórios originais. Dessa forma, a análise da evolução do consumo de combustíveis gasosos fica de certa maneira prejudicada, embora saiba-se que a tendência tem sido de crescimento nos últimos anos.

5.5. Indústria de Transformação de Minerais não metálicos

5.5.1. Caracterização Geral

Segundo o recenseamento industrial de 1980 realizado pelo IBGE, o sub-setor de transformação de produtos de minerais não metálicos representava 14,5% do número total de instalações industriais do Brasil, respondia por 4,1% do valor de produção industrial do país e absorvia 8,0% da mão-de-obra empregada naquele ano em indústrias. De acordo com o Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985], a participação da indústria de cimento no consumo energético global industrial em 1980 foi de 6,9%, enquanto que a indústria cerâmica representou 5,1% desse total. Segundo a mesma fonte, esses números para o ano de 1984 foram respectivamente 4,4% e 4,1%.

A indústria de Minerais não metálicos engloba os estabelecimentos produtores de clínquer e de cimento, os fabricantes de material cerâmico, de vidro e cristal, a fabricação de cal e de produtos de material abrasivo, e unidades de menor importância que se dedicam à britagem, beneficiamento, fabricação de estruturas, moldes, etc.

Ainda segundo o IBGE [1980], 47,6% do total das unidades de transformação de minerais não metálicos situavam-se em 1980 no Estado de São Paulo, sendo que 18,2% das indústrias de cimento e clínquer eram paulistas, contra 63,3% das instalações produtoras de vidro e cristal e 42,7% dos estabelecimentos cerâmicos.

Do ponto de vista do consumo de energia a desagregação mais conveniente para esse sub-setor seria aquela que permitisse a abordagem explícita das indústrias de cimento, vidro e produtos cerâmicos. No entanto, como explicado anteriormente, neste trabalho isso foi impossível a nível de projeção da demanda de energia face às limitações da base de dados.

Entretanto, é possível a realização, a nível de análise, de um estudo mais detalhado do perfil de consumo de energia nas indústrias de minerais não metálicos. Esse estudo será feito para as instalações produtoras de cimento, vidro e cerâmica, por serem as mais significativas sob a ótica energética.

5.5.2. Indústria de Cimento

5.5.2.1. Processo produtivo e consumo energético

O cimento é um composto de óxido de cálcio (CaO) e sílica (SiO_2), com participação em menor escala de alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (FeO_3). Essa mistura de materiais deve ter características de hidratação e ser capaz de endurecer tanto sob ação da água como do ar [Colombo, 1983].

É possível a produção de diferentes tipos de cimento, dependendo basicamente do grau de adição de agentes hidratantes à mistura. Os tipos mais comuns são: cimento natural, cimento Portland, cimento com adições (de materiais tais como pozolanas ou escória de alto forno), cimento "high" alumina (teores de Al_2O_3 equiparáveis ao de CaO , o que lhe confere propriedade de rápido endurecimento) e cimento super sulfatado (com altos percentuais de Al_2O_3 e SO_3 e característica de resistência aos sulfatos).

O processo de produção de cimento consiste, em linhas gerais, na moagem à baixa granulometria de materiais calcários, argilosos e das demais substâncias de constituição, seguida da queima desses materiais em temperaturas elevadas, e da moagem final desses compostos químicos obtidos misturados com gesso e outros aditivos [Sousa, 1982]. A fabricação do cimento pode então ser dividida em quatro etapas básicas: britagem primária, moagem da matéria-prima e homogeneização, clinquerização e moagem do cimento e ensacagem.

Os processos de produção de cimento classificam-se em processos de via seca e via úmida, além de suas derivações via semi-seca e via semi-úmida. A diferenciação entre eles se prende à etapa de preparo das matérias-primas, que pode ser com umidade reduzida ou em presença de água.

Chama-se de preparação do cru a sequência de etapas que envolvem a extração do calcário e da argila, a obtenção de areia e minério de ferro, seu transporte até a unidade fabril, a britagem até atingir-se determinada granulometria, moagem da matéria-prima e finalmente a homogeneização.

No processo de via úmida, as diferentes matérias-primas misturadas na proporção desejada são levadas à etapa de moagem. Faz-se então adição de água, produzindo-se uma pasta com teor

de umidade variável entre 30 e 45%, a fim de que a mistura entre os constituintes seja mais eficaz. O armazenamento é feito em silos, e a homogeneização da matéria para queima é feita através da mistura adequada de pastas de vários silos.

No processo de via seca as matérias-primas já dosadas são conduzidas aos moinhos, onde a ação desenvolve-se a seco, resultando um cru na forma de farinha. Nesse processo, o teor de umidade do material está em torno de apenas 1% (no processo por via semi-úmida o teor de água pode chegar a 20%, enquanto na via semi-seca a umidade oscila entre 10 e 15%). Frequentemente as matérias-primas são secas antes da moagem, utilizando-se para tanto dos gases quentes de exaustão do forno. A homogeneização necessária do material é garantida nos silos de armazenamento [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

O consumo de energia dentro das etapas do processo produtivo até aqui descritas envolve o uso de energia elétrica no acionamento das britadoras de minério e na moagem da matéria-prima, bem como a movimentação interna dos materiais à indústria e o transporte externo, se este for realizado com esteiras transportadoras. A secagem do cru, que deve ser realizada antes dos moinhos nos processos via seca e semi-seca com a finalidade de adequar o material às características técnicas do equipamento, implica em consumo de energia térmica. Essa necessidade pode ser atendida em alguns casos tão somente pelos gases de escape dos fornos de clínquerização, em outros com a queima auxiliar em maior ou menor proporção de um combustível.

O consumo de energia elétrica na preparação do cru pode chegar a até 50% do consumo total de eletricidade na produção do cimento, enquanto a demanda de combustíveis na etapa de secagem pode representar até 7% (nos processos por via semi-seca) do consumo global [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

A fabricação do clínquer consiste na sequência de processos físico-químicos pelos quais passa a matéria desde a alimentação dos fornos rotativos até a saída do produto do resfriador. Chama-se de clínquer o produto granular, constituído em sua maior parte de silicato de cálcio, resultado das reações pelas quais passa o cru quando submetido a diferentes níveis de temperatura ao longo do forno.

As fases de transformação do cru em clínquer que se dão no forno são função da via do processo de produção adotado e

das possíveis variantes dessas vias. Na figura 30 apresenta-se de maneira sintética como ocorrem as principais operações de transformação em cada um dos principais tipos de instalação. As etapas básicas de produção do clínquer são: secagem, até 150°C ; pré-aquecimento e eliminação da água de constituição da argila, até 500°C ; calcinação ou descarbonação, que ocorre de 700 a 1000°C , e clinquerização propriamente dita, de 900 a 1450°C [Colombo, 1983].

À saída do forno o clínquer deve ser resfriado. Antigamente acreditava-se que o resfriamento do clínquer deveria ser bastante rápido a fim de não prejudicar a resistência do produto final. No presente o uso de resfriadores satélites, nos quais o processo é mais lento, acabou por desmistificar essa crença. É interessante notar que no caso de cimento branco é necessário que o resfriamento seja brusco, normalmente com o uso de água, a fim de que não haja alterações profundas em sua tonalidade. Nessas condições, requer-se uma etapa adicional de secagem, o que pode elevar em até 10% o consumo de combustíveis nessa fase do processo [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

A temperatura mínima necessária para cocção do clínquer está por volta de 1250°C . No entanto, para que ocorra formação mais rápida do composto C_3S , responsável pela resistência inicial e em parte pela resistência final do cimento, é preciso trabalhar a temperaturas superiores a 1400°C .

O processo de produção por via seca é o que oferece o maior número de variantes, o que fica evidenciado observando-se os diferentes arranjos possíveis entre equipamentos auxiliares e o forno na figura 30. A penetração de pré-aquecedores e de fornos curtos com pré-aquecimento na indústria cimenteira do Brasil não é um fato recente, tendo sido motivada, em linhas gerais, pela expansão do mercado e consequente necessidade de ampliação da produção em fins da década de 50 e ao longo dos anos 60. Todas as fábricas de cimento do país utilizam-se de fornos rotativos a menos de uma unidade no Estado do Ceará que ainda trabalha com um forno vertical tecnicamente obsoleto [CESP/FDTE, 1981].

O consumo de energia elétrica ao longo do processo de clinquerização não é tão significativo comparado às demais etapas da produção de cimento. Por outro lado, quanto ao consumo de combustíveis tem-se nesse estágio do processo o ponto mais crítico: praticamente toda a demanda de energia térmica se verifica nos fornos ou dispositivos de secagem.

Tipo da Instalação	Operações de Transformação			
	Secagem	Pré-Aquecimento	Calcinação	Clinquerização
Via Seca com Pré-Calцинаção				
		Equipamentos Auxiliares		Forno
Via Seca com Pré-Aquecedor de 1 e 2 Estágios				
		Equipamentos Auxiliares	Forno	
Via Seca com Pré-Aquecedor de 4 e 5 Estágios				
		Equipamentos Auxiliares	Forno	
Via Seca e Forno Longo				
	Equip. Auxiliares		Forno	
Via Semi-Seca /Semi-Úmida				
		Equipamentos Auxiliares	Forno	
Via Úmida				
	Equipamentos			
	Auxiliares		Forno	

Figura.30-Transformação de Cru em Clínquer em Diferentes Instalações
Fonte: CESP/FDTE

O último estágio do processo de produção de cimento é a moagem final do clínquer, que ocorre após a mistura com gesso (tem a função de retardador de pega) e outros aditivos. Cabe ressaltar que a introdução de adições ativas (material pozolânico, escória de alto forno, sulfato ou sulfeto de cálcio) no cimento, em proporções que variam de 10 a 65% do peso total do aglomerante, visa a redução da demanda energética, aproveitando a energia incorporada aos aditivos. O produto da moagem é então armazenado em silos e depois ensacado ou embarcado a granel.

O consumo de eletricidade nessa última etapa do processo produtivo é sempre muito elevado, chegando em média a 40% do consumo global da instalação. Deve-se destacar a extrema ineficiência dessa passagem, uma vez que apenas 10% da energia inserida corresponde a trabalho útil, sendo o restante perdido através de dissipações de calor [IPT, 1978]. O consumo de energia térmica é quase sempre nulo uma vez que o calor residual do clínquer e o calor dissipado na moagem são suficientes para eliminar a umidade das adições.

Na figura 31 apresentam-se esquematicamente as diferentes opções do processo de produção do cimento.

5.5.2.2. Potencial de Conservação

Uma vez que o processo de clinquerização é a principal etapa, sob a ótica do consumo de energia, na sequência produtiva do cimento, é no forno e nos equipamentos auxiliares que estão as maiores oportunidades de conservação. Com efeito, o consumo energético nos fornos representa 83% do consumo total nos processos por via seca e 96% nos processos por via úmida [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

A formação do clínquer a partir do cru homogeneizado exige uma quantidade de energia teórica mínima, função das propriedades iniciais e finais da matéria, e da sequência de processos físico-químicos pelos quais esta passa durante o processo. A quantidade mínima necessária a ser fornecida nessa etapa é estimada em 420 kcal/kg clínquer, assumindo uma plena recuperação da energia contida nos gases e no produto [IPT, 1978].

Estima-se que a cada 100° C de aumento na temperatura dos gases de saída esteja associado um acréscimo de 120 kcal/kg clínquer no consumo de energia. Em linhas gerais, pode-se dizer

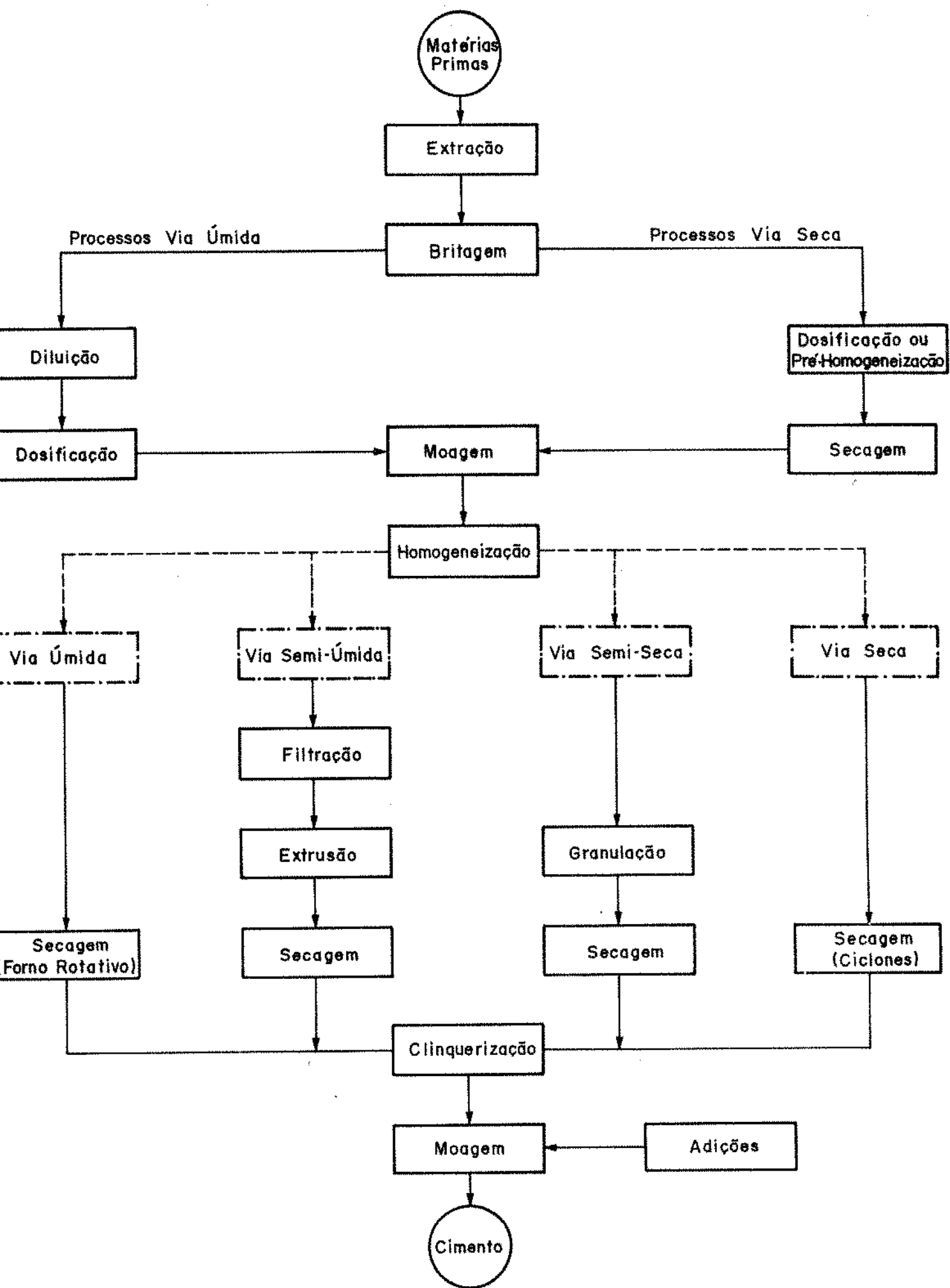


Figura:31- Fluxograma do Processo de Fabricação de Cimento.

que é o desempenho das trocas de calor nas zonas de secagem do forno que afeta predominantemente a temperatura dos gases. Nos fornos de via seca longos as perdas através dos gases de exaustão são ainda maiores que nos de via úmida.

Uma das principais maneiras de se reduzir as perdas através dos gases é através da escolha adequada do sistema de correntes. Os fornos de clínquerização possuem um sistema interno de correntes que tem como função minimizar as perdas por calor sensível nos gases, reduzir as perdas de pó e, nos fornos de via úmida, auxiliar na pelletização da pasta. A definição do sistema adequado deve levar em conta o peso e a disposição das correntes, bem como a forma e o material de constituição, a fim de maximizar a recuperação de calor e minimizar os custos de operação, manutenção e reposição de refratários.

Em fornos de via úmida, a simples passagem de um sistema de correntes leves para outro de correntes pesadas pode proporcionar economias da ordem de 17% sobre o consumo de combustível [IPT, 1978]. Deve-se salientar, no entanto, que no cálculo da economia líquida de energia devem ser computados os aumentos no consumo de energia elétrica para acionamento de ventiladores e na movimentação do forno.

Uma outra possibilidade de se diminuir as perdas associadas ao calor sensível dos gases é através do pré-aquecimento da pasta de alimentação ou secagem da matéria-prima. Por exemplo, mesmo em fornos de via seca longos de bom projeto, as perdas através dos gases podem chegar a 400 kcal/kg clínquer, enquanto as necessidades energéticas para secagem em processos via seca são da ordem de apenas 90 kcal/kg de matéria. As desvantagens associadas a este procedimento seriam as possíveis altas concentrações de álcalis e compostos sulfurosos na matéria-prima.

Na terminologia da indústria cimenteira, alta concentração de álcalis significa altas percentagens de sódio e potássio no cimento, o que pode causar sérios problemas de durabilidade em estruturas de concreto [Warris, 1982].

Outro aspecto importante na determinação do sistema de correntes é a necessidade de redução das perdas de pó do produto arrastado pelos gases. A melhor maneira de se evitar esse inconveniente é impedindo a formação de pó, o que exige um projeto adequado de correntes, uma vez que mesmo no caso de sua captação recuperam-se apenas a energia gasta na preparação e na calcinação par-

cial. De acordo com Weber [1963], a perda de 0,085 kg de pó/kg clínquer em sistemas de via úmida representa uma perda energética de 32 kcal/kg clínquer. Deve ser destacado que as perdas por arraste são também influenciadas pelo regime de operação dos fornos, assim como a temperatura dos gases de escape, e consequentemente o consumo energético.

Do ponto de vista energético interessa que a temperatura de clinquerização seja a mais baixa possível, e que as reações ocorram de uma maneira muito rápida. Nos casos em que tem-se o cru bastante fino e uma mistura homogênea, é viável o rebaixamento da temperatura. Estabelece-se então uma relação de compromisso entre a possibilidade de redução do consumo energético na clinquerização e o consequente aumento no consumo de eletricidade na moagem.

Outra alternativa para redução do nível de temperatura no processo é o emprego de fundentes ou mineralisadores na mistura, uma vez que estes rebaixam a temperatura mínima para formação da fase líquida e aceleram as reações. No entanto, a economicidade desta solução se restringe a casos especiais [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

Como já seria de se esperar face às características de operação, é nos fornos que se registram os maiores índices de perdas térmicas por convecção e radiação. Essas perdas são causadas pelo dimensionamento equivocado da espessura dos refratários e/ou o desgaste excessivo dos mesmos, o que compromete também a estrutura metálica do forno. É interessante notar que uma maior espessura do revestimento reduz o volume útil do forno e consequentemente sua capacidade de produção. Outro aspecto de suma importância é o fato de que em sendo a indústria cimenteira bastante intensiva em capital, muitas vezes, do ponto de vista econômico, é mais vantajoso o perar com o forno tendo sua cobertura refratária deteriorada do que pará-lo em período não programado para execução de reparos.

Diante do exposto, é fácil concluir que a melhor ação nesse caso é utilizar sempre material refratário com características que possam propiciar longa vida útil, tais como baixa condutibilidade térmica, resistência estrutural, resistência à abrasão e à corrosão. Um aspecto interessante a ser comentado é que a formação de uma camada de matéria processada sobre as paredes do forno, denominada pelo pessoal do setor por "colagem", fruto da operação

uniforme do equipamento, reduz o desgaste excessivo dos refratários e consequentemente as perdas por convecção e radiação.

Um potencial considerável de conservação de energia nas indústrias de cimento está associado a ações no sentido de otimizar o processo de combustão. A título de exemplificação podem ser citadas o controle do excesso de ar de combustão, redução das infiltrações de ar falso, controle eficaz da regulagem do ar primário e a possibilidade de enriquecimento do ar com oxigênio. Deve ser ressaltado que diante da recente tendência de substituição de óleos residuais derivados de petróleo por carvão mineral, verificada na indústria cimenteira brasileira, abrem-se novas oportunidades de racionalização, bem como novas necessidades de controle, que dependem, obviamente, do nível tecnológico em que ocorre essa substituição.

Ainda com relação às etapas que constituem o processo de fabricação do clínquer, deve-se destacar as possibilidades de redução do consumo energético associadas ao pré-aquecimento da carga, secagem do cru e resfriamento do clínquer. A idéia básica do pré-aquecimento da carga e da secagem do cru está em aproveitar ao máximo o calor sensível dos gases de escape do forno, ou do fluxo de ar de saída dos resfriadores de clínquer. Nos dispositivos de pré-aquecimento em que o processo ocorre em grelhas é possível, através do aumento do número de passes do fluxo de gases sobre a carga, reduzir as perdas e concomitantemente dar início à secagem. Já nos equipamentos do processo de via seca com vários corpos de ciclone à montante do forno, é possível melhorar a eficiência do pré-aquecimento promovendo simples alterações no arranjo físico dos mesmos, ou em parâmetros de operação. Deve-se salientar que em muitos casos procedimentos de tal natureza também possibilitam a melhora da qualidade resultante do cimento, principalmente em materiais com alto teor de álcalis.

Quanto ao resfriamento do clínquer, embora tenhamos afirmado anteriormente não existirem mais preocupações quanto ao fato deste vir a ser resfriado lentamente, devemos notar que o processo lento favorece o crescimento de minerais do clínquer, o que deve ser controlado a fim de minimizar o consumo de energia na moagem posterior. O desenvolvimento eficaz do resfriamento possibilita a utilização do fluxo de ar aquecido, no pré-aquecimento da carga ou na secagem, conforme descrito a pouco, ou como ar de combustão. Com efeito, no caso específico dos resfriadores satélites em

que a recuperação do calor sensível do produto pode chegar a 75%, o ar refrigerante pode atingir temperaturas em torno de 600° C em fornos via úmida e 900° C em via seca. A recuperação de energias nas circunstâncias estará por volta de 300 kcal/kg clínquer [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

Além dos aspectos já comentados que podem possibilitar redução do consumo energético - basicamente eletricidade - nas etapas finais de moagem do clínquer, vale a pena citar a possível utilização de aditivos tais como ácido acético e etileno-glicol, que permitem a obtenção de cimento mais fino com reduzido consumo de energia. Deve-se ter em mente, no entanto, quais as consequências prováveis, sobretudo do ponto de vista da constituição química do produto final. Em alguns casos as adições podem propiciar economias da ordem de 15% sobre o consumo de energia elétrica na moagem.

Ainda com relação aos processos de moagem de cru e clínquer, sabe-se que a transformação de circuito aberto em fechado nos moinhos ou até mesmo a utilização de moinhos de rolos podem trazer economias da ordem de 15 a 25% [Colombo, 1983]. Um aspecto interessante é que soluções que garantem boa moagem e homogeneização do cru, mesmo não refletindo numa redução de energia na sua preparação, podem conduzir a melhorias na eficiência do forno ou a um clínquer de melhor qualidade, o que se traduz em menor consumo de energia na moagem do clínquer.

Outro ponto muito importante a ser destacado dentro do conjunto de opções de racionalização do consumo energético nas unidades de produção de cimento é a possibilidade de transformação dos processos, como por exemplo, de via úmida para via semi-úmida ou semi-seca, de via semi-seca para via seca, e estes em instalações que requeiram consumos específicos menores.

Na tabela 21 apresentam-se alguns valores de consumo específico para diferentes vias de produção de cimento, segundo diferentes autores.

De acordo com Souza [1982], cerca de 3/4 da produção nacional de cimento é desenvolvida em processos por via-seca. Esse fato deve-se a tendência comportamental mais recente de utilização ou transformação para essa via de produção.

Em linhas gerais, pode-se dizer que o processo via úmida apresenta a possibilidade de melhor homogeneização das matérias primas, e controle mais simples da operação, facilitando sua ins-

TABELA 21

CONSUMO ESPECÍFICO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO - kcal/kg CLÍNQUER

Processo	Ministério Ind. y Energia	Colombo	Souza
via seca (valor médio)			860 a 910
via seca c/preaquecedor de suspensão	750-820		
via seca c/preaquec./suspensão e pré calcinador		730	
via seca c/preaquec./suspensão c/ 4 estágios		780	
via seca c/preaquec./suspensão de 1 estágio		915	
via seca c/preaquec. a grelha		850	
via seca longa c/ sistema pesado de correntes		970	
via semi-seca	920		
via semi-úmida	970		
via úmida	1250-1400		1350-1400

talação em regiões onde possam haver jazidas de calcário de baixa pureza. Quanto aos custos de produção, considerando os itens energia, mão-de-obra e depreciação, a comparação aponta vantagem da via seca no aspecto energético, e pequena desvantagem nos demais itens. Pode-se dizer, a grosso modo, que os processos de via seca são tanto mais eficientes quanto maior a escala de produção, face ao menor consumo de energia e menor desgaste das refratários. No entanto, o nível de investimento acompanha a escala de produção, predominando maior aporte de recursos nos processos de via seca, ou no máximo semelhante ao de via úmida, em virtude da necessidade nos primeiros de equipamentos de controle de processo e de matéria-prima.

Na tabela 22 estão resumidas algumas das principais características dessas vias de produção.

TABELA 22

ASPECTOS DOS PROCESSOS VIA ÚMIDA E VIA SECA

Processo via-seca	Processo via-úmida
Consumo de eletricidade 4 a 8% maior	Consumo de combustível 50 a 90% maior
Pequeno acréscimo na mão-de-obra e nos gastos de manutenção	1/3 do calor gerado destina-se a secagem
Maior vida útil dos refratários e portanto menor interrupção da produção	Melhor controle de operação e mais fácil homogeneização
Investimentos mais elevados	

A transformação das instalações via úmida para semi-seca pode ser obtida introduzindo-se ao primeiro processo as fases de filtração, granulação e pré-aquecimento do cru, sendo que a possibilidade de instalar um sistema de filtração depende das propriedades físico-químicas das matérias-primas. É interessante notar que em alguns casos é vantagem que a preparação da pasta ocorra em via úmida, fundamentalmente quando houver alto teor de umidade natural, ou de álcalis e cloro nos materiais.

A pasta crua homogeneizada, e com umidade de 32 a 44% é então desidratada com ajuda de filtros prensa até uma umidade residual de 17 a 22%. Em uma transformação dessas, realizada na Espanha, com filtragem da pasta e secagem até 19% de umidade, houve uma redução para 1000 kcal/kg de cimento no consumo global, e um aumento de 35 kcal/kg no consumo de energia elétrica [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

Segundo estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas [1978], a redução do teor de umidade da pasta sem alterações no sistema de correntes provoca um aumento da temperatura dos gases, mas mesmo nessas circunstâncias ocorre uma redução real do consumo específico. O procedimento em questão deve ser realizado com atenção para aspectos relacionados à instalação geral, eliminando-se curvas acentuadas nos dutos de transporte, bem como contrações bruscas.

A transformação do processo via úmida para via seca, além da vantagem de propiciar menor consumo de energia, em geral

permite ganhos da capacidade de produção. A alteração consiste na incorporação de um trocador de calor de dois estágios e de um secador "flash" para aproveitamento dos gases de escape do processo. Quando a matéria chega a esse estágio, ela já deve estar homogeneizada, com granulometria apropriada, e baixo teor de umidade graças à ação dos filtros-prensa ou filtros a vácuo.

Os principais inconvenientes dessa transformação estão correlacionados a fatores limitantes impostos pelas matérias-primas, à necessidade de espaço para a realização das transformações e que nem sempre está disponível, limitações tecnológicas dos equipamentos existentes, necessidade de parada da instalação para execução das reformas e alto investimento requerido. Em geral, a transformação só é economicamente factível quando puder acarretar um aumento real na capacidade de produção.

Uma outra possibilidade de alteração dos processos via úmida é sua transformação para processos via seca, conforme descrição anterior, e mais a adição de um conjunto de pré-aquecedores de quatro etapas. Nesse arranjo, o secador "flash" se utiliza do ar dos resfriadores do clínquer, e os pré-aquecedores fazem uso dos gases de escape do forno rotativo. O novo consumo específico após esta transformação está por volta de 900 kcal/kg clínquer.

A última alternativa de transformação a ser comentada nesse trabalho está associada ao processo de calcinação, que é responsável por cerca de 50% da energia consumida na fabricação de clínquer. A idéia básica das modificações é fazer com que a carga entre nos fornos rotativos já pré-calcinada, o que é feito num forno estático flash, utilizando-se dos gases de escape do forno de clinquerização e do ar de resfriamento do clínquer. Essa mudança permite que os fornos rotativos para clinquerização sejam mais curtos o que implica em menor consumo energético. Outras vantagens associadas ao uso de pré-calcinador são a maior regularidade possível na produção, maior durabilidade dos refratários e a possibilidade de uso de sistemas híbridos de queima, por exemplo com óleos residuais e carvão mineral.

5.5.2.3. Tendência Comportamental em Conservação e Substituição

O segmento industrial produtor de cimento foi o primeiro a estabelecer um "Protocolo de Objetivos" com o governo federal, através do qual detalharam-se ações que deveriam ter sido tomadas no sentido de se promover a conservação e/ou substituição de energia. O protocolo, denominado "Redução do Consumo de Óleo Combustível na Indústria Cimenteira", foi firmado em setembro de 1979, com a interveniência da Comissão Nacional de Energia, representantes dos Ministérios da Indústria e Comércio, Minas e Energia, e dos Transportes, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento e Sindicato Nacional da Indústria de Extração de Carvão [CESP/FDTE, 1981].

O objetivo básico dessa iniciativa era criar condições e implementar medidas que propiciassem reduzir ao máximo, e no mais curto prazo possível, o uso de óleos combustíveis derivados de petróleo, substituindo-os por carvão mineral de origem nacional. A meta estabelecida pelo Protocolo era de se atingir a substituição total do óleo combustível nos processos de fabricação de cimento em fins de 1984.

Algumas outras medidas complementares também foram definidas neste documento, tais como:

- etapas intermediárias de racionalização do consumo de derivados de petróleo;
- redução do teor de umidade da pasta em instalações de via úmida, mediante utilização de aditivos fluidificantes;
- conversão de sistemas de via úmida em via seca;
- aumento da produção de cimento portland pozolânico, através do aproveitamento das cinzas volantes de termelétricas e argilas adequadas;
- idem para o caso de cimento portland de alto forno, com o aproveitamento das escórias ativas dos altos fornos de siderúrgicas.

A indústria cimenteira, à época em que foi firmado o Protocolo de Objetivos, era, de acordo com a classificação adotada no Balanço Energético Nacional, apenas o quinto agrupamento industrial por ordem de relevância no consumo de energia, representando 7,12% do consumo global industrial naquele ano [Ministério das Minas e Energia, 1985].

É interessante observar alguns dados no sentido de melhor situar a indústria de cimento dentro de um contexto mais geral. O consumo energético nesse segmento industrial cresceu apro-

ximadamente 70% no período 1973/1978, contra 62%, que foi o índice verificado para o consumo industrial como um todo. No entanto, no período 1978-1982, enquanto a indústria nacional apresentava crescimento da demanda de energia em torno de 6%, o da indústria de cimento foi praticamente nulo, mesmo tendo-se registrado nesse período uma tendência de crescimento na produção.

No que diz respeito à estrutura de consumo energético, verifica-se que até 1978 esta manteve-se fundamentalmente idêntica, à verificada em 1973, sendo que a partir desse ano começaram a ocorrer as primeiras transformações significativas, fruto, principalmente, do Protocolo de Objetivos [Rousso, 1984].

Conforme poderá ser comprovado mais à frente, mesmo antes da crise do petróleo é possível identificar uma tendência de redução do consumo específico de energia na produção de cimento do país, fato este que pode ser creditado à instalação de várias unidades de via seca, e à iniciativas de modernização das instalações e racionalização operacional [CESP/FDTE, 1981]. Na segunda metade da década de 70, entretanto, a indústria cimenteira passou a atuar de maneira mais decidida na adoção de medidas visando a racionalização da demanda energética; nesse sentido, as orientações estabelecidas pelo Protocolo só vieram a reforçar uma tendência mais geral que se verificava até então nesse segmento industrial.

Nos anos de 1980 e 1981, quando da realização dos primeiros trabalhos de avaliação do protocolo, foram identificados os primeiros problemas que faziam com que os resultados alcançados àquela época estivessem abaixo das previsões. Estes problemas estavam relacionados à inconstância da política energética nacional, o que gerava uma certa insegurança generalizada na classe empresarial, atrasos na liberação de recursos, limites de financiamento relativamente exíguos, dificuldades na adoção de medidas de transformação que exigiam paradas da instalação face ao fato de que essas unidades de produção são capital-intensivas, e problemas de ordem geral relativos à utilização do carvão mineral como energético.

Vamos agora tentar realizar uma avaliação do Protocolo como um todo, ainda que em linhas bastante gerais, tomando por base informações do Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985]. É importante ressaltar que a simples análise das séries históricas de consumo de energia pode levar a conclusões falsas, uma vez que aos efeitos das medidas de conservação e

substituição de energia se sobrepõe os efeitos da recessão econômica, que afetou de maneira marcante a indústria cimenteira.

O consumo global de energia sofreu um decréscimo de 30,8% no período 1979/1984 em relação ao consumo verificado no primeiro ano da série, enquanto o consumo de óleos combustíveis apresentou uma redução de 92,9% à mesma época (Figura 32). Na tabela 23 apresenta-se a estrutura de consumo energético na indústria cimenteira brasileira nos anos de 1979 e 1984. Note-se que a queda na participação dos óleos combustíveis derivados de petróleo é realmente significativa, ocorrendo ao mesmo tempo penetração marcante do carvão mineral na matriz energética do setor. É interessante notar que a entrada do carvão vegetal na estrutura de consumo da indústria de cimento é um fenômeno recente, datando de 1980, e até certo ponto constituir-se num esforço localizado de substituição, uma vez que seu uso não era previsto no Protocolo.

TABELA 23

ESTRUTURA DA DEMANDA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA DE CIMENTO

	1979	1984
Óleos Combustíveis	69,3%	7,1%
Eletricidade	22,8%	28,1%
Carvão Mineral	4,0%	36,4%
Carvão Vegetal	--	24,7%

FONTE: Balanço Energético Nacional - 1985.

A análise dos dados expostos leva-nos a supor que no tocante à indústria de cimento o Protocolo de Objetivos teve suas metas alcançadas com relativo sucesso. Com efeito, avaliações realizadas pela Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio [Souza, 1985] indicam que no período compreendido entre 1978 e 1984, a indústria cimenteira nacional apresentou uma redução de 89% no consumo específico de óleos combustíveis.

As informações da STI-MIC se confirmam quase que inteiramente quando comparadas com dados de outros estudos, como por exemplo o realizado por Rouso [1984]. Para os anos de 1980 e 1981 a tendência verificada em ambos os trabalhos é rigorosamente idên-

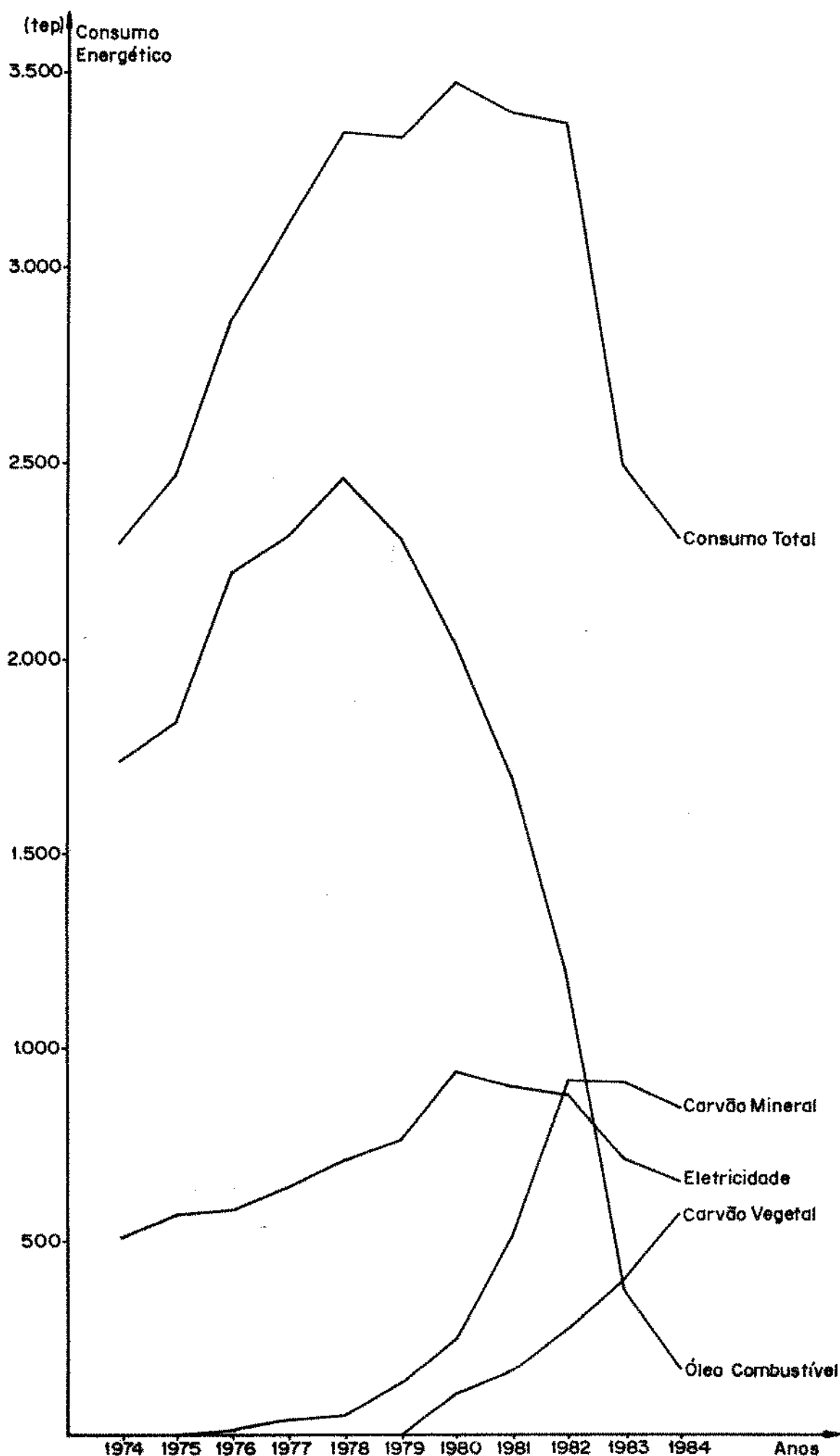


Figura:32 - Evolução do Consumo Energético na Indústria de Cimento, Brasil

Fonte: Balanço Energético Nacional, 1985

tica, apresentando divergência em 1982 quando os resultados ministeriais estimavam o consumo específico de óleos combustíveis pouco mais de 20% acima do valor apresentado por Rousso.

A tendência do consumo específico de energia na produção de cimento é notadamente decrescente, conforme pode-se observar na figura 33 o que confirma inteiramente os comentários anteriores no sentido de que esse segmento industrial desde há muito tem se pautado por ações visando a racionalização do consumo energético. Embora haja uma divergência significativa entre os valores apresentados por Rousso e os dados da Associação Nacional de Cimento Portland, o que pode ser atribuído à diversidade das amostras, verifica-se que do ponto de vista tendencial ambas as informações são aproximadamente iguais.

Na figura 34 apresentam-se as curvas de evolução de números índice de produção, consumo de energia, e consumo específico de energia para a indústria de cimento. Apesar de não temos maiores informações para o período posterior a 1982, acreditamos que a recessão econômica, cujo reflexo está claramente estampado na curva do índice de produção, tenha causado uma piora na eficiência energética da indústria cimenteira como um todo, na medida em que as unidades de produção passaram a trabalhar com ociosidade.

Não existe qualquer motivo para supormos que a tendência verificada quanto à conservação e substituição de energia nas indústrias de cimento do Estado de São Paulo tenha sido diferente daquela que, em linhas gerais, esquadrimos para o país.

A análise para o segmento paulista da indústria cimenteira é feita, como no caso dos demais segmentos industriais, tomando por base as informações das Pesquisas de Consumo de Energia do CNP para os anos de 1982 a 1985.

O primeiro aspecto a ser ressaltado diz respeito à substituição dos óleos combustíveis derivados de petróleo, com resultados tão positivos a ponto de que o consumo desse energético tenha chegado no ano de 1984 a apenas 1,31% do valor verificado em 1979. Deve-se ressaltar, no entanto, que essa comparação pura e simples não reflete com exatidão a tendência verificada na indústria de cimento do Estado de São Paulo, uma vez que o consumo no ano de 1984 foi fortemente afetado pelos efeitos da recessão econômica.

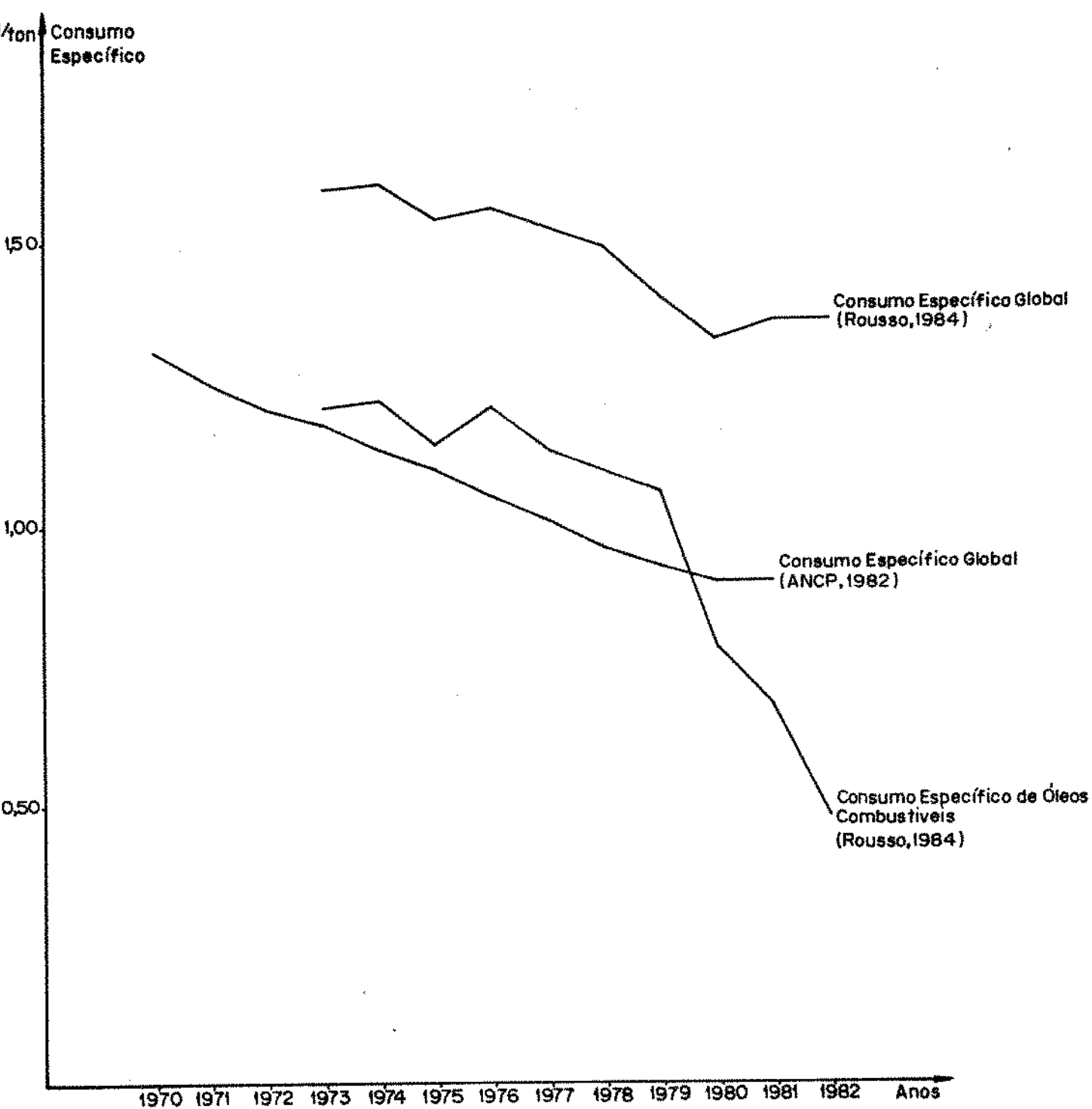


Figura:33- Consumo Específico de Energia na Indústria de Cimento

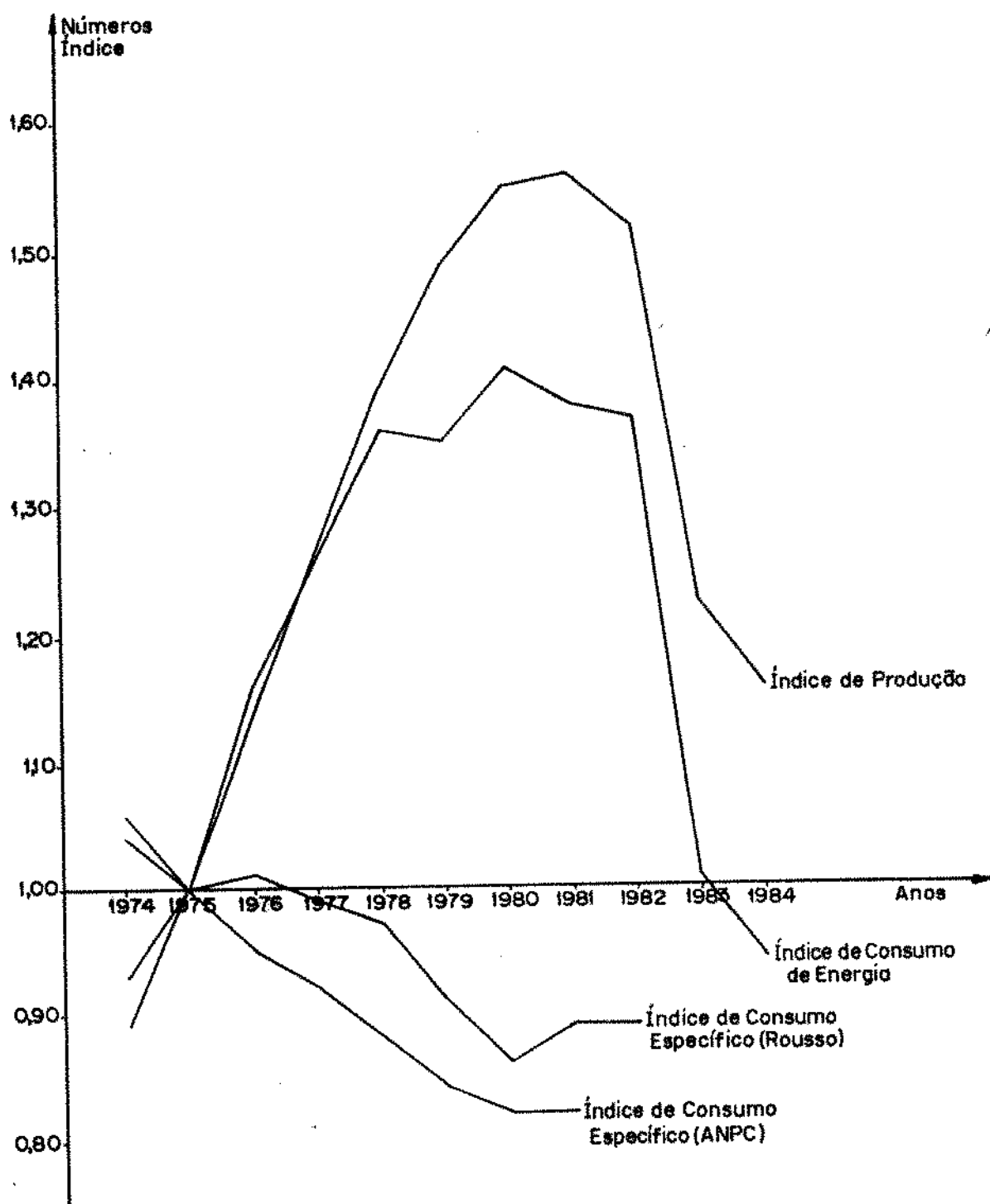


Figura:34-Evolução de Diversos Números Índice para a Indústria de Cimento

Fontes: Consumo de Energia: Balanço Energético Nacional, 1985

Produção: Conjuntura Econômica de 04/86

Consumo Específico: Rouso, 1984

ANPC, 1982

Embora seja difícil a quantificação exata em que medida a demanda de óleos combustíveis foi afetada pela recessão, e quão eficaz foi o programa de substituição, tem-se indícios claros de que os objetivos preconizados pelo Protocolo foram também alcançados com razoável sucesso em São Paulo. Com efeito, de acordo com os dados do Conselho Nacional do Petróleo, o consumo de carvão mineral nas indústrias paulistas de cimento cresceu 18,3 vezes no período 1979-1984.

Ao contrário da tendência verificada a nível de Brasil, no Estado esse segmento industrial não optou pela utilização de carvão vegetal. Em 1984, ano em que o consumo desse energético mostrou-se mais significativo, sua participação na estrutura de consumo foi pouco mais representativa do que a alcançada pelos óleos combustíveis, mas muito inferior à participação do carvão mineral.

O último ponto a ser comentado com relação às alterações na matriz energética da indústria de cimento de São Paulo, diz respeito à eletrotermia. Ao contrário de outras indústrias, e face à própria estrutura de consumo, não se verificou um caso sequer de utilização da eletricidade em processos térmicos, em substituição a qualquer combustível.

Finalmente, quanto à efetiva implantação de medidas de conservação de energia, não temos disponível nenhuma informação que nos permita analisar isoladamente o caso das fábricas paulistas. No entanto, mais uma vez não nos parece razoável supor que tenha havido qualquer espécie de comportamento diferenciado em relação àquilo que tínhamos anteriormente levantado para o país. Dessa forma, salvo eventuais informações às quais não tivemos acesso, consideramos que do ponto de vista da racionalização do uso da energia a tendência verificada no Estado é exatamente a mesma do Brasil.

5.5.3. Indústria de Vidro

5.5.3.1. Processo Produtivo e Consumo Energético

O vidro é um produto artificial que se obtém a partir de matérias primas que possuem certos óxidos, tais como SiO_2 , CaO , Na_2O , etc, num dado processo de produção. A transformação das ma-

térias primas no produto final envolve uma sequência de reações químicas realizadas a quente, até a obtenção da massa vítrea.

O produto acabado é resultado da conformação mecânica do vidro fundido, e de seu resfriamento até a temperatura ambiente. O vidro é um material sub-resfriado (resfriado abaixo do ponto teórico de solidificação) que conserva nessas condições as propriedades e a estrutura interna de um líquido.

Os procedimentos utilizados na produção de vidro são em linhas gerais muito antigos, de maneira que muitas técnicas e processos mais modernos constituem-se, em linhas gerais, em aperfeiçoamento e mecanizações de métodos tradicionais. Assim, um mesmo produto pode ser fabricado indistintamente por um processo artesanal, semi-manual ou totalmente automatizado. Vários fatores influem na determinação do tipo de instalação produtiva, entre os principais: o volume da demanda, disponibilidade de insumos e recursos e a qualidade dos produtos.

Por outro lado, o consumo de energia necessário à fabricação de um dado produto de vidro depende de vários fatores, dentre os quais devem ser destacados as matérias-primas utilizadas, o tipo de vidro e o tipo de produto, os equipamentos empregados e o modo de operação destes [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

As fábricas de vidro são extremamente verticalizadas face à necessidade de controle da variação das características químicas das matérias-primas empregadas, de maximizar o volume de vidro "levantado" (jargão para designar o produto de vidro bom para comercialização) de boa qualidade e com baixo índice de rejeição [CESP/FDTE, 1981]. Os processos de fabricação dos produtos de vidro envolvem sistematicamente as seguintes operações básicas: preparação da mistura, fusão, condicionamento térmico, fabricação, tratamento térmico e acabamento.

As características físico-químicas do vidro dependem da composição química, da qualidade do vidro fundido e homogeneizado, bem como dos tratamentos térmicos a que é submetido após a conformação. As principais matérias-primas utilizadas e suas respectivas funções são: areia de sílica, com participação de cerca de 70% da mistura e com função de elemento vitrificante; calcáreo, participando em 10% e adicionado para dar resistência mecânica ao produto; barrilha, também com 10%, servindo como elemento fundente; feldspato, incidindo em apenas 1% e empregado para dar brilho e transparência.

Em função das características do produto desejado podem ser adicionados à mistura outros elementos auxiliares tais como a fluorita, bórax, corantes ou descorantes. É relativamente normal a reciclagem de cacos de vidro à mistura, em proporção que gira em torno de 10%, muito embora em alguns casos utilize-se apenas sucata de vidro no carregamento.

Normalmente a matéria prima é fornecida às indústrias já pronta para utilização, isto é, moídas, peneiradas, secas e analisadas. Assim, as etapas iniciais de produção seriam de recepção dos materiais e dosagem. No entanto, eventualmente as areias precisam ser novamente secas a fim de não comprometerem a homogeneidade da mistura e evitar variações de peso provocadas pela umidade. Essa operação é feita em secadores rotativos, com queima de um combustível, usualmente óleos residuais.

Os fornos de fusão de vidro são o coração do processo produtivo, dada a importância de seu bom funcionamento na fusão pura e simples dos materiais, do desenvolvimento das reações de formação da massa de vidro e numa série de pequenos fatores que se interrelacionam de maneira complexa [IPT, 1983]. Os tipos de fornos existentes podem ser classificados em contínuos ou de carga unitária (descontínuos). Nos fornos contínuos os cacos e a mistura são introduzidos continuamente em função do controle de nível do vidro na bacia, ambos flutuando na superfície do vidro em fusão. Em geral os fornos contínuos são de média e grande capacidade, chegando a uma produção de 220 ton/dia de vidro fundido, e estão acoplados a equipamentos automáticos de grande volume de produção em série.

Os fornos contínuos de fusão de vidro, em geral regenerativos, especialmente projetados pelas próprias empresas multinacionais do ramo detentoras dessa tecnologia, operam, em geral, com queima de óleos pesados. Em alguns casos utiliza-se na substituição parcial desse combustível a energia elétrica em "boosters" (apoio elétrico aos fornos convencionais).

Quando não existe esse uso de eletricidade, são os compressores de ar que concentram a maior participação da energia elétrica consumida nessas fábricas. O ar comprimido é destinado ao sistema de resfriamento dos fornos e aos equipamentos das linhas de fabricação.

Parte da estrutura metálica dos fornos deve ser res-

friada com ar ou água, de maneira a que as peças de metal possam ser mantidas em contato direto com o fogo. Esses fornos trabalham em regime ininterrupto durante um período variável de 3 a 7 anos sendo resfriados somente quando da necessidade de trabalhos a frio, o que deve ser feito de maneira lenta a fim de que sejam assimiladas as contrações dos refratários e da estrutura metálica. É interessante notar que na operação de reaquecimento, que deve ser feito com idêntico cuidado, consome-se energia por 12 a 24 dias sem qualquer produção efetiva [CESP/FDTE, 1981].

Os fornos contínuos são subdivididos em zonas com características funcionais diferenciadas. São elas:

i. Zona de alimentação: na qual é descarregada a matéria-prima; é uma região sujeita a grande desgaste, com temperatura mantida inferior ao restante do tanque;

ii. Zona de fusão: é onde a matéria-prima é aquecida, desprendendo gases e vapores, e onde ocorrem as primeiras reações químicas dos fluxos com os óxidos formadores de vidro iniciando a fusão, até atingirem a região de alta temperatura. As correntes de convecção no banho de vidro impedem o avanço de matérias ainda não fundidas para as zonas próximas à saída do forno. Quanto maior a temperatura do banho nessa zona de forno, menor será a viscosidade do vidro, o que acarretará em maiores velocidades de convecção da massa, melhor mistura, e maior velocidade de fusão da carga, com consequente aumento da capacidade de produção do forno. No entanto, nessas condições o ataque químico e o desgaste dos refratários será maior;

iii. Zona de homogeneização e refino: é nessa parte do forno que se inicia o processo de resfriamento do vidro, com um certo tempo de retenção da massa a fim de facilitar o despreendimento de bolhas de gases formadas na fusão, e permitir a homogeneização, através da mistura, causada pelas correntes de convecção. Para que essas finalidades sejam atingidas de maneira mais eficaz, e para evitar o avanço de material sobrenadante para a zona de extração, os fornos dispõem de uma garganta de escoamento em seu fundo, com eventuais dispositivos borbulhadores para mais fácil eliminação dos gases.

iv. Zona de condicionamento: próxima ao ponto de extração do vidro, é uma região do forno projetada e desenvolvida conforme o tipo de produção, apresentando peculiaridades e diferenças

entre um tipo e outro de forno. Nessa zona o vidro é resfriado até a temperatura considerada ideal para sua extração. É fundamental para o bom desempenho da produção que o equipamento de condicionamento, tanto em fábricas manuais como automáticas, consiga fornecer o vidro para a produção sem cristalizações, à temperatura constante e homogênea e que seja possível obter-se uma viscosidade uniforme em toda a massa a ser extraída.

v. Ponto de extração: é por onde o vidro é colhido pelos canais de sucção (instalações manuais) ou verte para a tesoura de corte (automáticas, não-plano), ou ainda é estirado ou passa por cilindros laminadores (plano). Sua geometria e características são condicionadas pelo tipo de material produzido, e pelo sistema de conformação utilizado [IPT, 1983].

Os fornos descontínuos são equipamentos que trabalham por batelada. A massa de vidro fundido é retirada para conformação até que o material remanescente não tenha mais propriedades adequadas face a existência de impurezas provenientes das paredes do recipiente.

A transformação do vidro fundido em uma forma pré-estabelecida, segundo um processo manual ou automático, constitui-se numa etapa do processo produtivo denominada de conformação. Sob o ponto de vista do consumo de energia térmica essa fase do processo não costuma contribuir significativamente em relação ao consumo global da instalação, uma vez que a maioria das ações de conformação são mecânicas. Apenas os processos de corte ao fogo e requeima são de interesse maior quanto às ações de conservação de energia. Os principais métodos empregados na fabricação de produtos de vidro são:

- estiragem: para vidros planos lisos;
- prensagem: para cones e telas de bulbos de cinescópio, isoladores de vidro, lentes e artigos domésticos;
- centrifugação: para fibras de vidro;
- sopragem: para recipientes e embalagens com gargalos ou entrada estreita, tais como frascos, garrafas ou garrafões, bulbos de lâmpadas, potes e vasilhas;
- extrusão: para artigos domésticos, tais como copos, pratos e travessas;
- laminação: para vidros planos impressos.

O processo de requeima visa a correção de imperfeições

provenientes do processo de conformação, tais como rebarbas, angulos vivos e emendas mal feitas. Normalmente se utiliza nessa operação um combustível gasoso a fim de evitar a ação de fuligem sobre o produto. O consumo energético é quase sempre bastante elevado, uma vez que a operação realiza-se em atmosfera aberta.

Após a conformação, os artigos de vidro, independentemente da forma, devem ser submetidos a um tratamento térmico de recozimento, no qual se mantém a peça durante um determinado tempo a uma dada temperatura escolhida de acordo com o tipo de vidro e a geometria da peça. O recozimento visa a eliminação das tensões internas provocadas durante o processo de conformação em função dos altos gradientes de temperatura impostos a peça. A temperatura a ser definida deve ser suficiente para que haja acomodação dos constituintes do vidro a nível microscópico, porém abaixo do ponto em que pode haver deformação plástica sob ação da gravidade. O resfriamento deve ser controlado para que não surjam novas tensões internas.

Algumas operações de qualificação (*) das peças para determinadas finalidades, ou de acabamento, tais como têmpera e curvamento podem contribuir de maneira pouco mais significativa para o consumo de energia da instalação industrial. Outras, embora importantes dentro do processo produtivo, como por exemplo as etapas de decoração, espelhamento, lapidação e gravação, representam muito pouco para a demanda energética das indústrias de vidro.

Na figura 35 apresenta-se um fluxograma simplificado das principais linhas de produção de artefatos de vidro.

5.5.3.2. Potencial de Conservação

Nas indústrias de vidro que não possuem fornos totalmente elétricos, ou nas quais o apoio elétrico é baixo, o consumo de combustíveis representa aproximadamente 90% de toda a energia demandada, restando à eletricidade a participação de 10% do total.

A incidência de cada uma das operações básicas no consumo específico do produto final depende do processo de fabricação. De qualquer forma, cabe aos fornos de fusão a maior parcela

(*) Operações que permitem o uso de produto para certos fins, como por exemplo o curvamento de vidros planos.

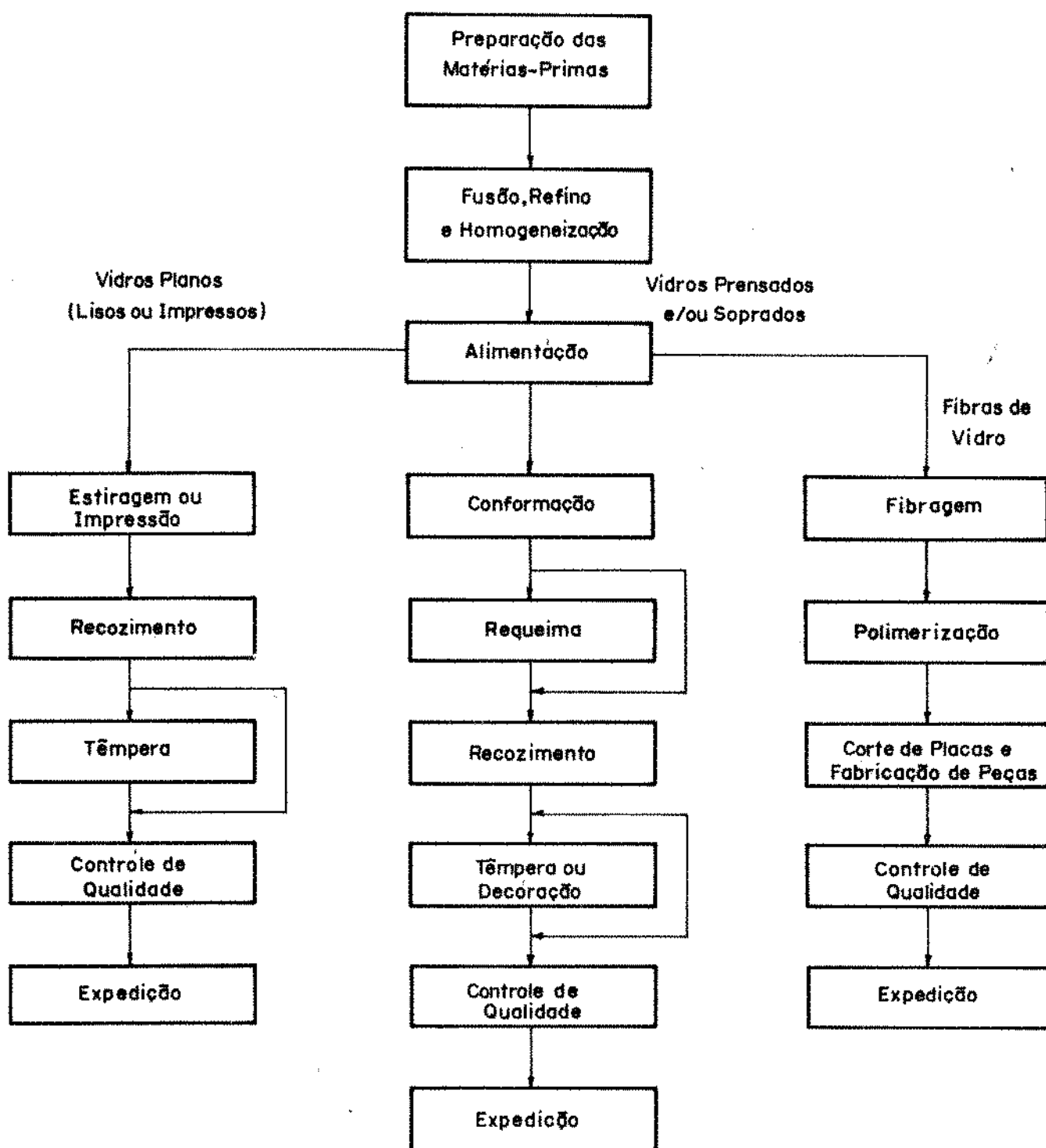


Figura:35-Fluxograma dos Processos de Fabricação de Vidro
Fonte: IPT

do consumo energético, com índices variáveis entre 60 e 90%.

O consumo de energia nos fornos depende de uma série de fatores, entre os quais devem ser destacados a extração nominal, o fator de carga, o grau de envelhecimento do próprio equipamento, a qualidade do isolamento térmico, as condições de queima e a porcentagem de cacos de vidro na carga.

Na análise do potencial de conservação de energia nas indústrias produtoras de vidro vamos adotar como procedimento seguir a sequência de operações básicas, procurando identificar assim as oportunidades de racionalização.

O primeiro ponto a ser analisado são as melhorias associadas à etapa de preparação da matéria-prima. O calor necessário à fusão dos componentes da mistura reduz-se à medida em que reduz-se a granulometria dos materiais, principalmente da areia, por ser o material de maior incidência na matéria-prima. Por outro lado, quanto mais uniforme foi a granulometria, menores serão as possibilidades de existência de segregações, e igualmente menor será o consumo de energia na homogeneização da massa vítrea fundida.

Obviamente existem fatores limitantes à redução da granulometria, associados ao custo da operação, às qualidades físicas do vidro a ser produzido e ao teor de arraste de material particulado [Ministério de Indústria y Energia, 1982].

A adição de cacos de vidro à carga sempre proporciona redução do consumo de energia no processo global de produção. As principais causas desse efeito estão associadas aos seguintes fatores:

- o calor de reação correspondente a essa fração da carga é nulo;
- a temperatura de fusão do caco é menor;
- a quantidade de água por quilograma de vidro fundido diminui;
- o volume de gases gerados na fusão da carga é menor face à redução de perdas ao fogo;
- os cacos aceleram as reações entre vitrificantes e fundentes, o que possibilita um aumento da extração do forno para uma mesma temperatura de operação.

A avaliação do potencial de redução do consumo específico de energia deve ser feita caso a caso. Deve-se notar que o percentual de adição de cacos à carga é função, em primeira instância, apenas da qualidade desejada do produto final.

Uma outra possibilidade real de obtenção de economias no consumo energético está associada a substituição de algumas matérias-primas por outras que requeiram menor aporte de energia em seu processamento. Um exemplo dessa medida é o uso de escória de alto forno desde que convenientemente preparada, na substituição parcial ou total de materiais aluminosos. As vantagens advindas de tal procedimento seriam: maior extração de vidro, menor temperatura média de parede, melhor homogeneização da massa, e menor consumo específico [Ministério de Indústria y Energia, 1982]. Outra possibilidade dentro do mesmo espírito é a utilização de lixívia ao invés de barrilha, com vantagens na redução do custo das matérias-primas e reflexos positivos sobre o consumo de energia [IPT, 1983].

Face à grande importância das operações de fusão, refino e homogeneização no consumo de energia para produção de artefatos de vidro, os fornos são equipamentos a serem cuidadosamente analisados quanto à identificação e possível quantificação do potencial de economia.

Uma boa parte das melhorias alcançadas nos últimos anos pode ser atribuída à disponibilidade de materiais refratários e isolantes térmicos de qualidade superior. Tradicionalmente os fornos de vidro são construídos de maneira a que o isolamento não seja uniforme em todo o equipamento, sendo inclusive comum a existência de partes sem qualquer revestimento, como é o caso da cuba ao nível do vidro fundido. Entretanto, alguns conceitos aceitos no passado tem sido revistos e alterações tem sido introduzidas à engenharia de projeto desses equipamentos. A tendência atual, no que diz respeito ao uso de isolantes térmicos, tem sido a de usá-los onde possível [Dryden, 1975]. É interessante lembrar que para os fornos de vidro, devido ao período extenso de operação ininterrupta (campanha), esses aspectos revestem-se de importância ainda maior do que em qualquer outro equipamento térmico industrial de uso generalizado.

A temperatura dos gases à saída dos trocadores se situa entre 350 e 700° C no caso dos fornos com regeneradores, entre 700 e 950° C nos fornos com recuperadores, podendo atingir até mesmo mais do que 1000° C em certos equipamentos. Dada a magnitude dessas temperaturas, deve-se analisar cuidadosamente a possibilidade de aproveitamento desse calor residual em aplicações tais como o pré-aquecimento do ar de combustão, aquecimento em pontos pos

teriores à linha de fabricação (recozimento e têmpera, por exemplo), e o pré-aquecimento da carga. Nos fornos em que não existe qualquer espécie de dispositivo que permita o aproveitamento do calor sensível contido nos gases de escape, é de extrema importância a verificação da possibilidade de uso de regeneradores ou recuperadores. Com efeito, cerca de 75% da energia total fornecida na zona de fusão está associada aos gases de combustão, enquanto na zona de trabalho e/ou refino pode-se encontrar valores da ordem de 65%. Unicamente do ponto de vista do consumo de energia, a melhor opção é o uso de regeneradores para pré-aquecimento do ar de combustão. Para se ter uma idéia do potencial de economia associado, pode-se esperar uma redução de 30 a 40% no consumo de combustíveis nos casos em que não existe pré-aquecimento do ar e esse passa a ser feito através de recuperadores metálicos [IPT, 1983].

Uma das possibilidades de aproveitamento do calor residual dos gases de escape dos fornos é através da geração de vapor em caldeiras de recuperação. Nas indústrias de vidro, vapor é usado quase que com o fim exclusivo de pré-aquecer óleos combustíveis residuais a fim de dotá-los da viscosidade ideal para queima em fornos. O consumo de energia associado a essa operação chega a representar de 3 a 5% do consumo global energético, e que poderia ser totalmente eliminado com a adoção dessa alternativa.

Um último comentário de interesse com relação ao aproveitamento da energia contida nos gases de escape do forno está relacionado ao ciclo de inversão do fluxo desses gases pelas câmaras de regeneração. A manutenção da circulação através das câmaras em que a temperatura máxima da carga já foi atingida representa despendício de energia. É interessante notar que a operação eficiente dos dispositivos regeneradores só é alcançada quando existe um sistema automático de controle, uma vez que os períodos de inversão em muitos casos estão na faixa de segundos.

A forma mais difundida de uso da eletricidade para fins térmicos na fusão é através do apoio elétrico, que se constitui num arranjo de eletrodos imersos na cuba de fusão e/ou de refino, nos fornos convencionais a óleo. Energia em corrente alternada é fornecida à massa entre eletrodos, que funciona como elemento resistivo, dissipando calor à carga do forno. O uso de "boosters" permite extrações acima da capacidade nominal do forno, o que é extremamente interessante pois confere maior flexibilidade ao equipamento no atendimento de demandas variáveis. Esse aspecto é igualmente importante quan

do da obstrução ou entupimento dos regeneradores dos fornos, o que resulta em queda da temperatura do ar de combustão, e consequentemente em menor produção, que poderia ser recuperada pelo apoio elétrico.

Para uma dada extração, o apoio elétrico permite reduções na temperatura interna e por consequência maior vida útil para o forno. As perdas através dos gases de saída do forno também devem ser significativamente reduzidas nesse caso, bem como é comum a obtenção de produtos de vidro de melhor qualidade. De acordo com estudos do IPT [1983], em instalações onde essa medida foi tomada, foi possível a redução do consumo específico em cerca de 20%, com um concomitante acréscimo da produção de 30%.

O controle eficaz do processo de combustão é uma das medidas mais importantes do ponto de vista de redução e manutenção do consumo específico de energia a baixos índices nas indústrias de vidro. Além da importância, já comentada, do pré-aquecimento do ar de combustão em dispositivos regeneradores ou recuperadores, também devem ser analisados com igual cuidado o controle do excesso de ar, a regulação adequada dos queimadores, o controle das propriedades físicas dos combustíveis, além dos cuidados no sentido de reduzir ao máximo as entradas de ar falso. A quantificação do potencial de economia de energia associado à essas ações depende sempre de cada caso, motivo pelo qual nos isentamos de fazer qualquer avaliação.

Igualmente difícil de avaliar são as perdas de energia por radiação e escape de gases através de orifícios. Nos fornos de fusão existem orifícios para verificação de chama dos queimadores, medição de temperatura através de recursos óticos e verificação do nível de banho, através dos quais ocorrem perdas por radiação para o meio ambiente e escape de gases quentes, quando estes equipamentos trabalham com sobrepressão. Esse problema é ainda mais relevante nas indústrias manuais em que existem várias aberturas para coleta das gotas de vidro. Medidas simples, tais como a instalação de portas de fácil acesso, são capazes de levar essas perdas energéticas a níveis mínimos. De acordo com informações levantadas pelo IPT [1983], essas soluções proporcionaram economias da ordem de 1,5% sobre o consumo de óleo combustível nas indústrias em que foram implantadas.

Nas indústrias automáticas a qualidade final do vidro é determinada pela operação de refino, quando ocorre a homogeneização da massa de vidro fundido. Nos equipamentos que foram construídos segundo a tecnologia convencional, quanto maior o tempo de

duração desta operação melhor a qualidade final do produto. Nessas condições, o dimensionamento dessa seção do forno é função do tempo de residência requerida para uma dada massa. O consumo de energia, por outro lado, deve ser na medida para que sejam compensadas as perdas, e o nível de temperatura mantenha-se praticamente inalterado ao longo do tempo; a melhoria do isolamento térmico dessa região do forno pode trazer reduções significativas no consumo de energia. Já nos fornos de concepção mais moderna, a tendência tem sido a eliminação dos tanques de refino, sendo que o vidro deve atingir a qualidade requerida tão somente na operação de fusão.

Nas indústrias de vidro automáticas, principalmente nas de fabricação de embalagens e vidros domésticos, os fornos possuem um dispositivo denominado canal de condicionamento, cuja função é transportar a massa de vidro, à temperatura adequada, da seção de refino até a alimentadora da máquina de conformação. O sistema é sub-dividido em três seções distintas, uma de resfriamento, em que a massa vítrea tem sua temperatura rebaixada até os valores ideais, outra de condicionamento, na qual deve haver homogeneização da temperatura, e finalmente a fornecedora, por onde se faz a alimentação das máquinas de moldagem. O consumo de energia em cada uma das seções está associado às operações de aquecimento, mesmo na seção de resfriamento, quando necessário, de maneira a estabilizar a temperatura do vidro fundido dentro de uma faixa aceitável. As possibilidades de conservação de energia nesse dispositivo estão associadas ao controle efetivo da temperatura da massa, do sistema de combustão responsável pelo aquecimento e na melhoria da camada isolante que reveste as paredes do sistema em contato com o ambiente.

O último comentário a ser tecido com relação ao consumo de energia nos fornos de fusão, e às alternativas de sua minimização, está associado a extração real de vidro fundido em relação à sua capacidade nominal de produção. Em linhas gerais pode-se dizer que, para um forno que opera sem transformações substanciais em relação a sua concepção original, deslocamentos em torno da capacidade de produção projetada levam a maiores consumos específicos, situação que é tanto pior quanto menor a extração real. Dados da literatura [Ministério de Indústria y Energia, 1982] apontam para o fato de que variações na faixa de 25% em torno da capacidade nominal não acarretam grandes acréscimos no consumo de energia, situação que se torna mais problemática na medida em que se afasta dessa faixa de operação. O fato importante a ser realçado é que as indústrias

de vidros face às suas características, são bastante sensíveis, do ponto de vista da demanda energética, às variações na capacidade de produção e à estrutura organizacional. Dessa forma todos os esforços no sentido de minimizar o grau de ociosidade nos fornos de fusão são necessários para que o consumo de energia nas indústrias de vidro possa ser reduzido.

A etapa de conformação não contribui significativamente na demanda energética, motivo pelo qual a ela estão associadas possibilidades reduzidas de conservação. A eletricidade é a forma de energia mais utilizada nessa área, seja no acionamento dos próprios mecanismos de conformação, seja no acionamento dos sistemas de lubrificação, ou na produção de ar comprimido e movimentação do ar de resfriamento. Do ponto de vista do consumo de energia da instalação como um todo, as ações que produzem melhores resultados são aquelas que possibilitam a redução de rejeitos, muito embora sejam bem sucedidas algumas experiências de automação e reprogramação da produção, redimensionamento dos produtos e melhoria do sistema de refrigeração.

O processo de requeima visa o acabamento de artigos prensados, com consumo de energia notadamente na forma de combustíveis gasosos (GLP ou gás de nafta). A incidência dessa etapa sobre o consumo total do processo de produção é, de forma geral, bastante significativa, representando de 10 a 30%, função principalmente do fato de que a requeima se dá em atmosfera aberta [IPT, 1983]. É interessante comentar que através da otimização ou alteração do processo de prensagem é possível reduzir, ou até mesmo eliminar, a operação de requeima. Nos casos em que a eliminação total não é possível, a melhor alternativa de conservação é a alteração do equipamento, com adaptação de uma câmara fechada para o aquecimento.

Dentro do processo de produção de artigos de vidro, as peças resfriadas à saída da seção de conformação, ou da operação de requeima, devem ser novamente aquecidas a fim de que sejam submetidas ao recozimento ou à têmpera. O primeiro ponto a ser destacado é o de que as perdas de energia no período de transição entre a moldagem da peça, quando essa está aquecida, e a introdução da mesma nos fornos de tratamento térmico, pode ser minimizada através de alterações no arranjo físico da indústria e organização dos tempos de produção. Outras medidas que permitiriam a redução do consumo energético nessa operação seriam a melhoria dos sistemas de circulação do ar dentro dos fornos, redução das perdas de energia pelas pa-

redes, o controle efetivo do processo de combustão , arranjos eventuais nos próprios equipamentos de maneira a melhor aproveitar a inércia térmica das esteiras transportadoras, e o ajuste das curvas de aquecimento das peças a fim de eliminar períodos de aquecimento desnecessários.

5.5.3.3. Tendência Comportamental em Conservação e Substituição

A avaliação da tendência comportamental em conservação e substituição de energia verificada nos últimos anos nas indústrias de vidro fica bastante prejudicada face ao volume reduzido de informações disponíveis. Infelizmente, esse segmento industrial não foi objeto de estudos mais aprofundados com relação à evolução de sua estrutura de demanda, nem tão pouco houveram avaliações das medidas de conservação de energia que foram efetivamente tomadas.

O Balanço Energético Nacional não trata a indústria de vidro como um segmento isolado, agregando-a a um conjunto genérico em que são colocados todos os segmentos industriais menos representativos do ponto de vista energético.

No entanto é possível levantar algumas hipóteses, e com base nelas delinear um cenário provável de tendência comportamental em conservação e substituição de energia. Um ponto de extrema importância a ser considerado é que o segmento vítreo é tido como bastante susceptível às variações do ritmo do crescimento econômico, face a que sua produção está muito amarrada à construção civil, à indústria automobilística e à demanda de bens de consumo doméstico.

Diante do exposto, e pelo fato já destacado de que o consumo específico de energia na indústria de vidro é fortemente influenciado pelo grau de ociosidade da capacidade de produção, é de se supor que a eficácia energética nesse segmento industrial tenha piorado de maneira significativa nos últimos anos.

Sabe-se que algumas medidas de economia de energia foram pesquisadas ou até mesmo implementadas. No entanto, dada a dificuldade de intercâmbio tecnológico entre fabricantes, o que poderia acarretar um maior conhecimento das características operacionais dos fornos de fusão, os resultados obtidos foram bastante limitados. A fim de reforçar essa idéia, é interessante notar que as tecnologias existentes que propiciam maior eficiência térmica nos

fornos são todas cativas ou patenteadas [CESP/FDTE, 1981].

Essa dificuldade poderia ter sido minimizada se o segmento vítreo tivesse sido contemplado com a assinatura de um Protocolo de Objetivos visando conservação e substituição de energia, nos moldes dos que foram firmados com a indústria de cimento, siderúrgica e de papel e celulose. Até onde pudemos avaliar, embora uma medida institucional do gênero fosse desejo dessa classe empresarial, parece não ter havido interesse maior por parte do Governo Federal.

O perfil de consumo de energia da indústria vidreira é marcado por extrema dependência de combustíveis derivados de petróleo, face às características do próprio processo produtivo, principalmente na etapa de fusão, e em menor parte pelas operações de recozimento, têmpera e requeima.

Tomando por base os dados das Pesquisa de Consumo de Energia do CNP verifica-se claramente que não houve qualquer alteração de maior significância na matriz energética desse segmento industrial nos últimos anos, a não ser a penetração da eletrotermia. Nas indústrias de vidro do Estado de São Paulo a utilização da energia elétrica para fins térmicos deu-se de maneira pouco significativa em aplicações tais como geração de vapor, aquecimento de fluidos térmicos e secagem, mas de forma marcante nos fornos.

É interessante mencionar que a eletricidade é um bom insumo energético quando utilizado como "booster", em apoio à queima de combustível principal, mas nunca como forma de energia exclusiva, uma vez que na eventualidade de problemas de suprimento, pode-se perder toda a carga do forno, e inclusive comprometer sua estrutura.

O último ponto que merece destaque nessa sucinta avaliação da tendência comportamental da indústria de vidro em conservação e substituição de energia, diz respeito à esperada penetração em larga escala do gás natural nessa estrutura de consumo. Todos os estudos de priorização do uso desse energético a partir de fins de 1987 concordam que o segmento vidreiro deverá absorver boa parte da oferta, seja na substituição do gás de nafta, GLP e propano hoje utilizados nas operações de conformação, tratamento térmico e decoração, como também da eletricidade e óleo combustível empregados nos fornos.

5.5.4. Indústria Cerâmica

5.5.4.1. Processo Produtivo e Consumo Energético

Chama-se de indústria cerâmica a unidade fabril de transformação de minerais não metálicos na qual se dá a produção de bens tão diversos tais como telhas e tijolos, pisos e azulejos, louça, louça sanitária, isoladores elétricos e materiais refratários.

As unidades de produção cerâmica apresentam-se, de uma forma geral, extremamente diversificadas do ponto de vista tecnológico, existindo desde instalações rudimentares, como as unidades produtoras de cerâmica estrutural ou vermelha (tijolos, telhas e manilhas), até modernas instalações, com rigoroso controle da matéria prima e de detalhes do processo produtivo.

Embora também não se mostrem homogêneas quanto à sequência básica de etapas do processo de produção, é possível analisar a estrutura de fabricação a partir da identificação de três etapas fundamentais: preparação das matérias-primas, conformação e processamento térmico.

As matérias-primas básicas dentro das indústrias cerâmicas são a argila, feldspato, sílica ou quartzo, fundentes e chamotas. As operações de preparação envolvem a desagregação, moagem e peneiragem, etapas que podem ser desenvolvidas a seco ou em meio aquoso, purificação e correção das propriedades essenciais, mistura e finalmente a homogeneização. Quando enviada à conformação das peças, a mistura de materiais pode estar na forma de massa plástica, barbotina, ou pó com baixo teor de umidade [IPT, 1980].

A exigência de tantas operações de preparo das matérias-primas deve-se ao fato de que a qualidade final do produto depende da mistura adequada dos vários componentes, bem como da granulometria destes na massa a ser conformada.

Existem diferentes meios de conformação dos materiais de constituição das peças cerâmicas, sendo que a definição por um deles é determinada pela adequação do recurso às propriedades da matéria-prima e à geometria final desejada. Quando a massa se apresenta na forma de barbotina, utiliza-se como recurso de conformação a colagem em moldes de gesso; exemplos de tal procedimento são as peças sanitárias e xícaras. No caso da produção de tijolos, telhas e pratos, por exemplo, utiliza-se a prensagem, extrusão, e às vezes, conformação plástica. O último meio de dar à mas-

sa a forma final desejada é através da prensagem, quando se trabalha com uma mistura de materiais na forma de pó, como é o caso de azulejos e ladrilhos.

Tem-se como resultado dessa etapa peças em cerâmica crua, mas com geometria perfeitamente definida, e com propriedades mecânicas e físicas tais que seja possível a manipulação das mesmas sem risco de destruição.

Assim como nas indústrias de cimento e de vidro, a etapa de processamento térmico é de fundamental importância na produção cerâmica. As operações de secagem e de queima das peças preparadas, quando ocorrem as transformações de estrutura e composição responsáveis pela qualidade final do produto, são as mais importantes mas não as únicas, podendo haver ações de processamento térmico durante a preparação da matéria-prima (secagem de algum dos elementos, por exemplo) ou mesmo no final da produção (tratamento térmico ou decoração).

A secagem das peças conformadas visa a eliminação da água livre, dotando-as também de maior resistência mecânica e tornando-as aptas para a queima ou decoração. Essa etapa reveste-se de grande importância dentro do processo produtivo, uma vez que eventuais distorções de operação via de regra causam defeitos no produto. Por exemplo, se uma peça vai para queima com teor de umidade excessivo, é provável que surjam bolhas de vapor, que constituir-se-ão em focos de tensão, ou contrações diferenciais provocando trincas ou distorções. No desenvolvimento da secagem é importante que se faça controle da temperatura, da umidade e homogeneidade do ambiente, bem como da velocidade do processo.

A diversidade das indústrias cerâmicas do ponto de vista tecnológico reflete-se de maneira clara quando analisamos os meios utilizados para execução das operações de processamento térmico nas várias fábricas. Na secagem, por exemplo, é possível encontrar desde instalações em que o processo é feito ao sol ou em salas fechadas com queima direta de um combustível, sem qualquer controle, até modernos fornos automatizados, inclusive com aproveitamento de calor residual dos fornos principais.

A etapa de queima das peças secas e cruas consiste em submetê-las a um processo de aquecimento controlado, até altas temperaturas, em uma atmosfera pré-definida e a mais homogênea possível. O perfil de temperaturas às quais o material cerâmico é submetido ao longo do tempo define uma curva de queima, quase sempre de

conhecimento empírico, determinada em função das matérias-primas de constituição, dos fenômenos físico-químicos desejados para que a peça tenha certas características finais, e de sua geometria.

Os principais fenômenos que ocorrem no material cerâmico ao longo do processo de queima são:

- até pouco mais de 100°C ocorre a eliminação da água livre residual da etapa da secagem ou da umidade absorvida do meio ambiente;

- até temperaturas próximas a 200°C dá-se a eliminação da água coloidal, que permanece intercalada entre as pequenas partículas de argilo-minerais após a secagem, e da água proveniente da matéria orgânica;

- na faixa de temperaturas entre 350°C e 650°C ocorre a combustão das substâncias orgânicas contidas na argila, bem como a dissociação dos compostos sulforosos;

- entre 450°C e 650°C tem-se a decomposição das argilas, com liberação da água de constituição, quimicamente combinada, na forma de vapor;

- em torno de 570°C ocorre a transformação rápida do quartzo de sua forma cristalina α para β , com violenta expansão no aquecimento, e de β para α , no resfriamento, com contração;

- na faixa de 800 a 950°C ocorre a decomposição dos carbonatos com liberação de CO_2 ;

- acima de 700°C começam a ocorrer as reações químicas da sílica e da alumina com elementos fundentes, formando-se sílico-aluminatos que dão à peça cerâmica características como dureza, estabilidade e resistência;

- com temperaturas superiores a 1000°C os sílico-aluminatos na forma vítrea começam a amolecer, assimilando pequenas partículas menores e menos fundentes, o que confere ao corpo maior dureza, compacticidade e impermeabilidade, com retração considerável. A esse fenômeno dá-se o nome de greficação, característica importante das porcelanas e grês.

A importância do processo de queima dentro da produção cerâmica é tão marcante que muitas pessoas do ramo, principalmente as mais experientes, acreditam ser possível salvar uma peça mal conformada através de uma boa queima, enquanto outra, moldada segundo rígido controle, pode ser irremediavelmente perdida através da queima mal controlada [IPT, 1980].

O processo de queima pode ocorrer em fornos descontínuos, nos quais a curva de queima é atingida ao longo do tempo de residência da matéria cerâmica em seu interior, ou em equipamentos contínuos, em que o perfil de temperatura é determinado pela posição relativa da peça. Em relação ao fato comentado quanto às secagens, de heterogeneidade tecnológica dos equipamentos, cabe comentar que no caso dos fornos esse aspecto é ainda mais marcante: a diversidade é extrema, existindo fornos extremamente rústicos, como é o caso dos fornos abóboda nas unidades de cerâmica estrutural ou vermelha, até fornos modernos e automatizados, como os fornos de rolo ou placa em algumas indústrias de piso e azulejos.

Dentro da indústria cerâmica podem existir outras etapas produtivas, associadas à decoração das peças, tal como ocorre com louças, pisos e azulejos, por exemplo. De uma forma geral essas etapas adicionais envolvem processamento térmico e contribuem de forma não desprezível para com o consumo energético global da instalação.

Na figura 36 apresenta-se um conjunto de fluxogramas simplificados de alguns dos principais processos produtivos nas indústrias cerâmicas.

5.5.4.2. Potencial de Conservação

Assim como nos casos das indústrias de cimento e vidro, também nas unidades de produção cerâmica se tem na etapa de queima, e portanto nos fornos, o maior potencial de economia de energia.

É interessante lembrar a heterogeneidade dos processos produtivos e do estágio de desenvolvimento tecnológico nas diversas fábricas desse segmento industrial, o que torna extremamente difícil a avaliação de um potencial médio de conservação de energia.

De uma forma geral, verifica-se que o grupo de maiores empresas desse sub-setor possui as instalações mais modernas, corpo técnico razoavelmente bem qualificado, e maior capacidade de investimento, enquanto seus empresários são mais receptivos à novas idéias. Por outro lado, as indústrias mais antigas ou de menor porte são ainda, em linhas gerais, antiquadas do ponto de vista administrativo e tecnológico, e refratárias a conceitos de modernização.

Dentro desse último grupo estão as indústrias de ce-

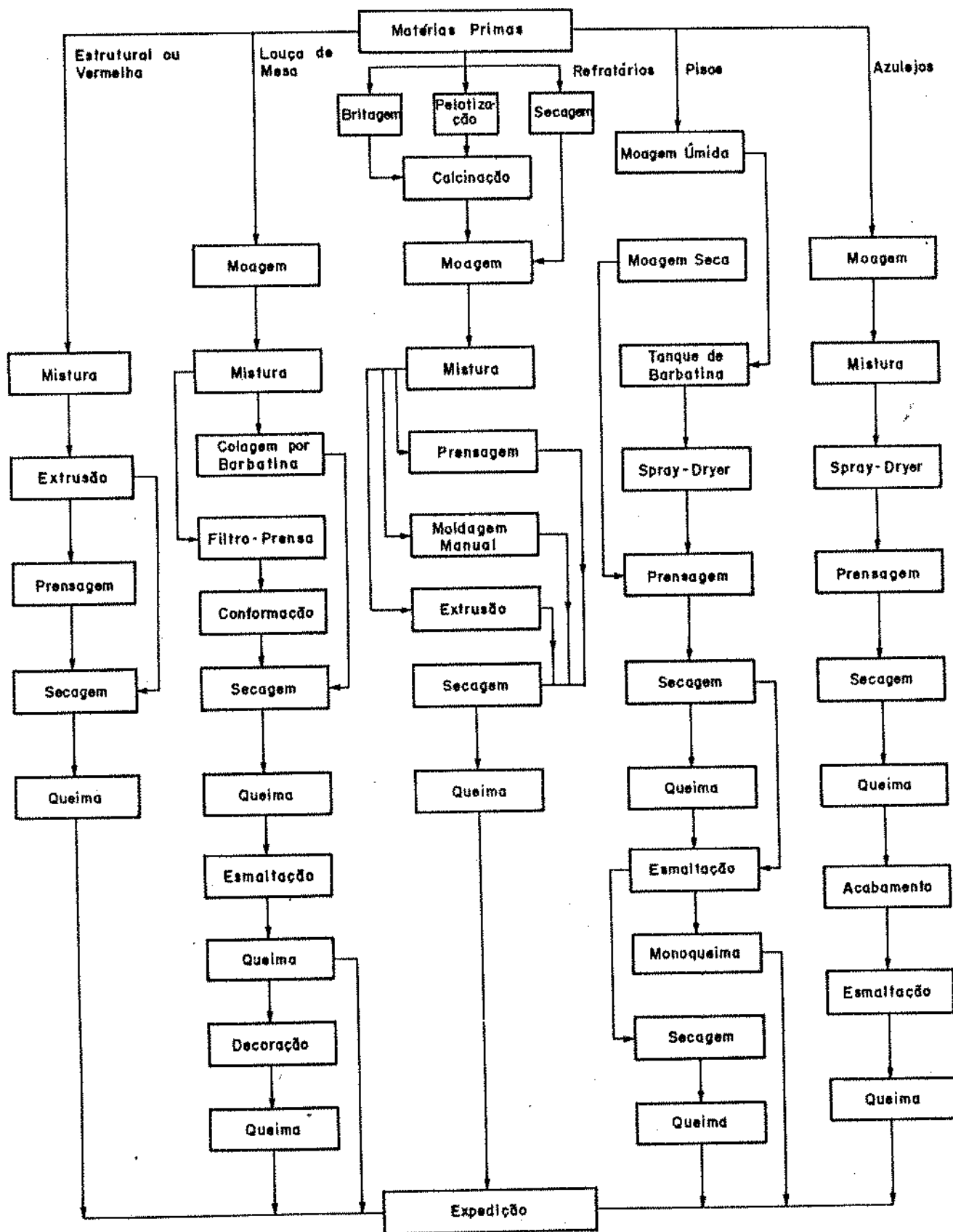


Figura:36-Fluxograma dos Processos de Fabricação de Produtos Cerâmicos.
Fonte: IPT.

râmica estrutural ou vermelha, algumas unidades de cerâmica branca, principalmente unidades produtoras de porcelana e louça em geral, indústria de refratários e também alguns fabricantes de pisos. Essas indústrias se utilizam, em sua grande maioria, de sistemas de combustão extremamente ineficientes, além de apresentarem baixo nível de controle operacional, baixo nível ocupacional nos fornos, e alto índice de rejeitos na produção.

Embora as maiores possibilidades de racionalização da demanda energética estejam nesse grupo de empresas, optamos por uma abordagem genérica das principais medidas de conservação, realçando, na medida do possível, em quais instalações determinados aspectos se mostram mais relevantes.

Grande parte das perdas de energia que se verificam nas indústrias cerâmicas estão associadas ao desenvolvimento ineficaz do processo de combustão, seja pela precariedade da instalação, seja pelas deficiências na operação, ou na pouca atenção dedicada à manutenção.

Neste aspecto, o primeiro ponto a ser destacado está associado aos próprios sistemas de queima, sendo relativamente comum se encontrar problemas relativos à inadequação do queimador para uma dada finalidade ou faixa de operação, ou às condições da instalação. Deve-se salientar que esses problemas, embora mais frequentes nas indústrias menos avançadas do ponto de vista tecnológico, não são exclusivos destas. Nessas instalações os sistemas para queima de combustíveis líquidos foram adaptados, regra geral, às fornalhas, sendo que normalmente utiliza-se lenha durante o período de pré-aquecimento, e óleos residuais no processo de queima propriamente dito.

São igualmente encontrados com relativa frequência falhas operacionais nos queimadores, causadas por instalação irregular ou ausência absoluta de manutenção. Durante a realização de estudos em indústrias desse segmento, técnicos do IPT [1980] verificaram vários casos em que os queimadores tinham a pedra refratária deteriorada, ou nem sequer a possuíam, bicos queimadores totalmente erodidos e ausência de qualquer meio de controle do processo, em especial, da vazão do combustível e do excesso do ar.

Nesse particular, cabe destacar o fato de que o controle do ar de combustão reveste-se de particular importância não só nos fornos, mas também em secadores e spray-dryers.

Outro ponto a ser destacado está relacionado às per

das de energia através do fluxo de gases de escape dos fornos, qu se sempre bastante significativas face às características de operação desses equipamentos. As possibilidades de reaproveitamento da energia contida nos gases estão condicionadas por vários fatores entre os quais devem ser salientados o caráter intermitente ou não desse fluxo, a quantidade e a qualidade da energia, e a existência ou não de limitações, tais como a presença de fuligem e/ou compostos sulforosos. Por exemplo, a recuperação do calor sensível dos gases em pré-aquecimento do ar de combustão é uma alternativa bastante utilizada nos fornos contínuos, mas que encontra restrições nos fornos descontínuos face à intermitência do processo. Obviamente existem possibilidades tecnológicas para que as restrições observadas nesse caso possam ser contornadas, mas isso encarece o custo de investimento na transformação e desestimula o empresário.

Ainda com relação às possibilidades de recuperação da energia contida nos gases de exaustão dos fornos, devem ser salientadas outras três alternativas: como ar de combustão, no pré-aquecimento da carga, e na secagem de peças cruas ou no acabamento. A primeira alternativa, como ar de combustão, só é possível quando o volume de ar infiltrado de maneira incontrolada for grande a ponto de haver nos gases de exaustão uma quantidade considerável de oxigênio; nesse caso tem-se uma medida paliativa, uma vez que as perdas devidas ao excesso de ar são maiores que os ganhos advindos da transformação.

A segunda possibilidade levantada é a utilização da energia dos gases no pré-aquecimento da carga dos fornos, solução que é perfeitamente factível do ponto de vista tecnológico, tanto em fornos contínuos quanto descontínuos. Em linhas gerais, o único problema estaria associado, no caso dos equipamentos do último grupo, à necessidade de programação das partidas dos diversos fornos numa instalação industrial, de maneira a que esse procedimento de recuperação de energia torne-se factível a baixo custo.

Finalmente, o último ponto a ser analisado é a possibilidade de alocação da energia efluente dos fornos na secagem, tanto de peças cruas quanto de peças que foram submetidas a operações de acabamento. Aqui também devem ser feitas ressalvas a respeito da possível não compatibilidade dos tempos de queima e secagem numa dada indústria, tal como no caso anteriormente descrito. No entanto, outro aspecto de importância deve ser analisado: o possível risco de deterioração das peças a serem secas, seja pela ação

de fuligem, seja pela ação de certos componentes gasosos diluídos na mistura de escape.

É interessante notar que nos fornos aplica-se uma certa vazão de ar sobre a carga ao fim do processamento, de maneira a que esta seja resfriada da temperatura de trabalho até temperaturas próximas à temperatura ambiente. É possível imaginar que essa vazão de ar, denominada como ar de resfriamento, possa ser reutilizada dentro do processo industrial com as mesmas finalidades descritas para os gases de escape dos fornos, apresentando a vantagem de que os riscos de contaminação estejam minimizados, mas com a desvantagem de estarem a temperaturas inferiores às dos gases.

Assim como em todos os equipamentos industriais que operam a altas temperaturas, também nos fornos cerâmicos boa parte das perdas de energia estão associadas a fluxos de calor para o meio ambiente através de processos convectivos e radiativos. Essas perdas são causadas pelo mau isolamento das paredes, pela existência de trincas e aberturas irregulares nas mesmas, e/ou pelo mau estado do material de revestimento refratário. A solução óbvia para esse problema é a melhoria da camada de material isolante, o que nem sempre é viável, no entanto, uma vez que em muitos fornos, principalmente nos mais antigos, tal procedimento poderia levar ao comprometimento de sua própria estrutura face a maior temperatura interna dos mesmos.

As perdas de calor através das paredes são ainda mais drásticas nos fornos mais rústicos, em função do dimensionamento inadequado dos revestimentos isolantes e refratários, mas também pelo fato de que existem várias aberturas em suas paredes, ou portas e janelas de acesso e observação que são mantidas inadvertidamente abertas durante sua operação.

Embora seja extremamente difícil avaliar com relativa precisão as perdas associadas a esse fluxo de calor, tem-se algumas indicações de que em casos extremos essas podem representar até 35% do consumo total de energia nos fornos [IPT, 1980].

Nos fornos, ao mesmo tempo em que se submete a carga a ser tratada ao processo, tem-se também o aquecimento de massas inertes, tais como as próprias paredes do forno, material refratário, placas deslizantes, placas de suporte, caixas refratárias de suporte e os carros de deslocamento.

Nas indústrias cerâmicas, de uma forma geral, a baixa relação entre carga útil e carga total nos fornos é uma das prin

cipais causas da baixa eficiência de utilização desses equipamentos. Até hoje utilizam-se, na queima, estruturas de suporte das peças que obedecem a mesma concepção empregada há muitos anos, bem como empregam-se técnicas de distribuição da carga em fornos que tornam o aproveitamento do espaço bastante irracional. Com efeito, são comuns casos em que a carga útil dos fornos não chega nem sequer a 30% da carga total. Algumas indústrias, no entanto, promoveram mais recentemente alterações no desenho e empilhamento do material de suporte, assim como passaram a utilizar peças ocas e lâ refratária a fim de reduzir a massa morta dos canos e suportes. Até onde foi possível avaliar, essas alterações propiciaram reduções significativas do consumo de energia [CEAG, 1982].

O último comentário a ser feito com relação às possibilidades de redução do consumo de energia em fornos diz respeito ao controle efetivo da curva de queima, ação que se traduz em benefícios indiretos do ponto de vista da demanda de energia na medida em que pode implicar em um menor índice de rejeição de peças ao fim do processo. É interessante notar que o menor número de peças rejeitadas ao longo da produção também propiciará redução do consumo específico em outras etapas, tais como preparação da matéria-prima, secagem, e eventualmente também nas operações de acabamento. Estudos feitos numa indústria de azulejos indicaram um potencial de redução do consumo energético de 6%, a partir da redução de peças rejeitadas após a queima, de 12% para 3% [IPT, 1980].

Deve-se ressaltar que a melhor produtividade nas indústrias cerâmicas é função também do controle eficaz em todas as operações do processo produtivo, principalmente naquelas que precedem a etapa de queima (preparação das matérias-primas, conformação e secagem).

A respeito das medidas potenciais de economia de energia em outros equipamentos térmicos das instalações cerâmicas, tem-se que as oportunidades são muito próximas às já descritas para o caso dos fornos. Por exemplo, para os spray-dryers, que tem importância significativa nas indústrias de pisos e azulejos, a melhoria de sua eficiência de uso depende do controle da combustão, da melhoria do isolamento térmico e do controle operacional (nível de temperatura, umidade dos fluxos de entrada e saída, etc).

Finalmente, com relação à geração de vapor, deve-se ter claro que esse processo só tem importância em relação ao consumo de energia em algumas linhas de produção de louças e pisos, ba-

ticamente devido ao processo de secagem, onde podem representar de 20 a 25% do consumo global. Nessas instalações existirão potenciais de economia associados não só à geração de vapor per si, mas a todo o circuito de vapor.

5.5.4.3. Tendência Comportamental em Conservação e Substituição

Assim como no caso da indústria de vidro, também para o segmento cerâmico a avaliação da tendência quanto à conservação e substituição de energia fica bastante prejudicada face à exiguidade das informações disponíveis para tanto.

Baseando-se em dados do Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985] é possível se fazer uma análise, ainda que pouco detalhada da evolução do consumo energético nas indústrias cerâmicas do país, bem como captar movimentos de substituição entre formas energéticas.

Observando-se a figura 37 pode-se concluir que os efeitos da recessão econômica se fizeram marcantes nas indústrias cerâmicas após 1980, provocando uma redução de 16% no consumo energético em 1984 em relação aquele verificado quatro anos antes.

O consumo de óleos combustíveis mostra-se notadamente decrescente também a partir de 1980, mas à taxas mais acentuadas do que àquelas que se verificaram para o consumo total. Tal fato nos leva à suposição de que a demanda de óleos derivados de petróleo tenha sido parcialmente deslocada em direção à outras formas de energia, principalmente eletricidade e lenha.

Com efeito, o consumo de energia elétrica mostra-se sempre crescente, muito mais até do que se poderia atribuir à uma eventual penetração da eletrotermia. Já o consumo de lenha também apresenta sinais de ter sido afetado a partir de 1980, embora não se mostre tão marcadamente decrescente como o de óleos pesados ou o próprio consumo energético total.

As informações da Pesquisa de Consumo de Energia do CNP confirmam em linhas gerais as conclusões tiradas da análise de dados do Balanço Energético. Os dados de consumo para a indústria cerâmica do Estado de São Paulo também atestam o mesmo efeito de retração ao longo dos anos de recessão econômica.

Para essa última amostragem de informações, o consumo de lenha mostra-se oscilatório ao longo do período 1981-1984, en-

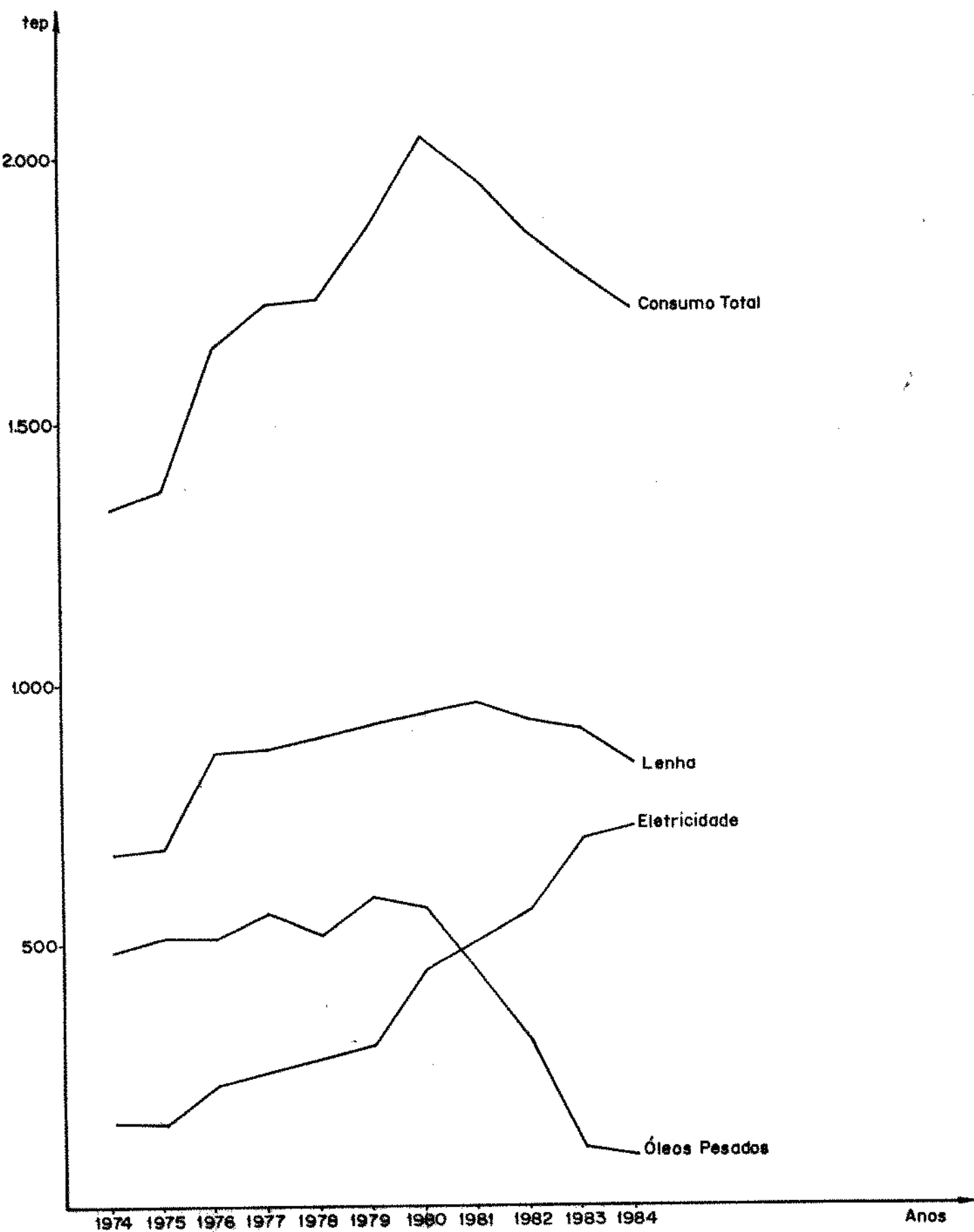


Figura: 37 - Evolução do Consumo Energético na Indústria Cerâmica - Brasil
Fonte: Balanço Energético Nacional

quanto o de óleos combustíveis é notadamente decrescente.

Quanto à eletricidade, pode-se atestar através dos dados do CNP que a penetração da eletrotermia no segmento cerâmico foi relativamente marcante, com utilização mais intensa nos fornos de queima e decoração, em menor escala na secagem, e de forma pouco significativa em fornalhas e geradores de vapor. Em que pese o fato desses equipamentos elétricos serem relativamente novos, acreditamos que a tendência para os próximos anos seja de desativação ou reformulação dos mesmos, uma vez que diante das relações de preços previstas para curto prazo para as principais formas energéticas utilizadas na indústria, o uso da eletrotermia deverá ficar limitado à aplicações bastante específicas.

Deve-se destacar também uma maior diversificação no perfil de consumo energético das cerâmicas a partir do início da década de 80, com penetração de várias formas energéticas até então não utilizadas como por exemplo, cavacos, serragem, resíduos florestais, moinha de carvão vegetal e carvão mineral, em substituição ao óleo combustível e à própria lenha.

Finalmente gostaríamos de comentar o fato de que não dispomos de informações que nos permitam avaliar de maneira precisa as medidas de conservação de energia que eventualmente tenham sido implantadas nas indústrias cerâmicas. Acreditamos, no entanto, que se algumas iniciativas foram tomadas, elas o foram nas unidades industriais mais modernas e mais capitalizadas, tais como as indústrias de louça sanitária, pisos e azulejos.

5.6. Indústria de Papel e Celulose

5.6.1. Caracterização geral

De acordo com o Censo Industrial de 1980 do IBGE o sub-setor de papel e celulose respondeu nesse ano por 1,3% do número total de estabelecimentos industriais do país, 2,8% do valor total da produção industrial, e absorveu 2,3% da mão-de-obra total empregada nas indústrias brasileiras. Segundo o Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985], do ponto de vista do consumo de energia a participação sobre o consumo global do país, em 1980, foi de 2,4% e 5,6% sobre o consumo energético industrial. Em 1984, ainda de acordo com a mesma publicação, esses percentuais foram 2,3% e 5,8%, respectivamente.

Pelos dados do IBGE, em 1980, 52,3% de todos os estabelecimentos industriais do sub-setor localizavam-se no Estado de São Paulo. Já de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, no mesmo ano, 30% de seus associados fabricantes de celulose, e 48,5% dos de papel situavam-se em São Paulo. Embora haja uma diferença razoável entre essas informações face ao fato de que as amostras são significativamente diferentes, constata-se claramente a importância do Estado nesse segmento da indústria nacional.

O setor de papel e celulose engloba todas as unidades industriais produtoras de papel, a partir de pasta celulósica ou reprocessamento de papel, e as instalações que se dedicam exclusivamente à produção de celulose, tendo como matéria-prima a madeira (mais usual no Brasil) ou bagaço-de-cana, bambu, babaçu e sisal.

Em trabalhos técnicos do sub-setor é costume a subdivisão deste segmento industrial em empresas que só produzem celulose, as que só produzem papel para fins sanitários, as que produzem qualquer outro tipo de papel, empresas integradas (produção de celulose e papel) de fibra curta e empresas integradas de fibra longa (*). Embora seja bastante interessante do ponto de vista energé

(*) Celulose de fibra curta é aquela obtida a partir de madeiras como o eucalipto, enquanto a celulose de fibra longa é obtida a partir de coníferas, como o Pinheiro Araucária.

tico a análise segundo esta classificação fracionada, neste trabalho, por falta de maiores informações, nos limitaremos a abordar o sub-setor de papel e celulose como um todo.

5.6.2. Processo produtivo e consumo energético

A primeira etapa no processo de produção do papel é a polpação, que consiste-se na deslignificação das fibras da matéria-prima por ação mecânica, química ou semi-química, e formação da pasta. A polpação química (cozimento da matéria-prima na presença de reagentes químicos), e em especial o processo sulfato ou Kraft, é a via mais importante e difundida, devido à sua simplicidade, rapidez e versatilidade quanto às matérias-primas [CESP/FDTE, 1981].

Numa unidade integrada de produção de papel a partir da madeira via processo sulfato, as principais etapas são: preparação da matéria-prima, polpação (ou cozimento), recuperação dos produtos químicos, branqueamento e a fabricação de papel propriamente dita (Figura 38).

A preparação da matéria-prima, quando inicialmente na forma de toras, envolve a descascagem e lavagem, sendo a seguir picada em cavacos de dimensões apropriadas para o processo de polpação. As cascas e as frações mais finas de madeira são normalmente destinadas ao uso como combustível em caldeiras. A etapa de preparação envolve apenas o consumo de energia elétrica.

O processo de polpação ocorre em autoclaves, chamados digestores, onde a matéria-prima em dimensões controladas é aquecida sob pressão na presença de soluções aquosas de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio (licor branco). Como veremos logo mais, a recuperação parcial das substâncias químicas contidas nessas soluções impõe novas etapas ao processo produtivo. É importante notar que parte desses compostos de sódio pode ser reaproveitada sem tratamento prévio na forma de licor negro fraco no próprio processo de polpação. A digestão, em suma, nada mais é do que a solubilização dos compostos não fibrosos da madeira, entre os quais destaca-se a lignina [IPT, 1978].

Após um período de 2 a 4 horas de processamento, à pressões entre 7 e 8 atm, a matéria resultante é descarregada à pressão atmosférica num tanque (blow tank). Essa súbita descompres-

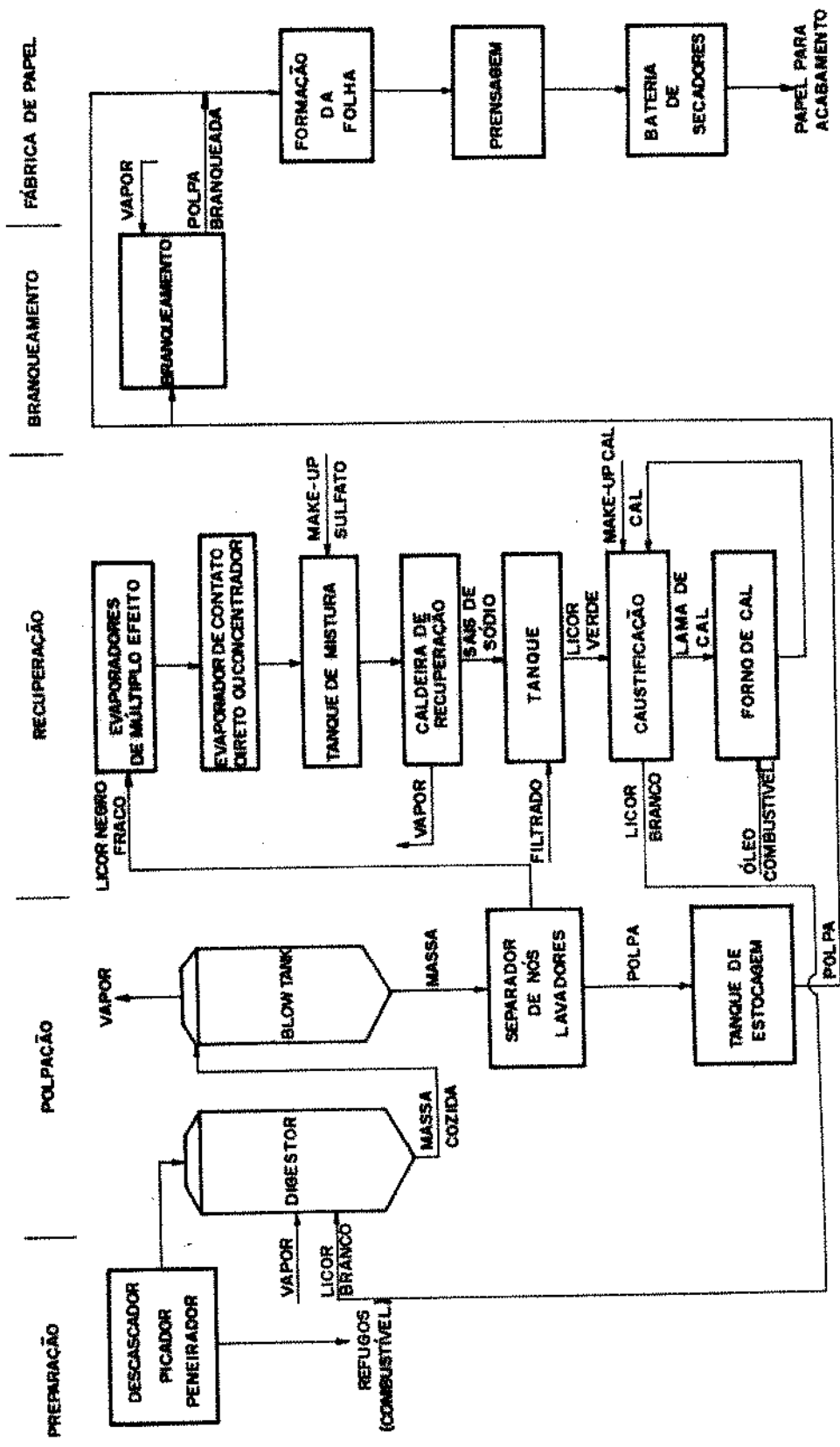


Figura:38-Fluxograma da Produção de Papel e Celulose - Processo Sulfato

são provoca a desintegração dos cavacos cozidos e a formação de vapor, que é utilizado no aquecimento da água de processo.

Do ponto de vista do consumo energético, a necessidade de vapor para cozimento sobre a demanda total de uma instalação integrada varia entre 16 e 29%, dependendo da matéria prima utilizada, da qualidade final do papel e do uso de digestores contínuos ou de batelada. O consumo de energia elétrica na digestão e descompressão deve-se apenas às necessidades de transporte e agitação.

A massa é então diluída com licor negro fraco e direcionada a um dispositivo separador de nós. Apenas a porção completamente cozida segue para a etapa de lavagem, sendo o restante reconduzido ao digestor. Da lavagem com água em filtros ou difusores tem-se a polpa, da qual precisa-se eliminar os resíduos em peneiras antes do branqueamento, e o licor negro fraco, que pode voltar ao digestor, diluir a massa à saída do "blow tank" ou seguir para a recuperação.

O licor negro fraco apresenta teores de sólidos da ordem de 15%. O conjunto de etapas denominado genericamente como recuperação tem como finalidade recuperar os reagentes químicos utilizados na polpação, reduzindo desta forma o custo de produção. Embora não seja o objetivo principal do processo, mas sim a maneira pela qual a recuperação é levada a termo, os compostos orgânicos do licor são utilizados como combustível na caldeira de recuperação. Nota-se que o licor negro não é computado no balanço geral energético de uma instalação porque sua queima é obrigatória em todas as indústrias de celulose e integradas.

A fim de que a concentração de sólidos seja corrigida até 40 ou 50%, o licor é direcionado a evaporadores de múltiplo efeito, sendo posteriormente encaminhado a um concentrador (evaporador de contato direto) onde o teor de sólidos chega a 60 ou 65%. Após eventuais correções das quantidades de sódio e enxofre, com adição de sulfato de sódio, o licor concentrado é queimado numa caldeira de recuperação. Aos compostos inorgânicos fundidos é então adicionado água tendo-se assim o licor verde.

A caldeira de recuperação é responsável por uma parcela bastante significativa da produção total de vapor numa unidade industrial, parcela esta que varia com as características da linha de produção e do produto final. Por outro lado, o consumo de vapor nas etapas de evaporação do licor negro representa pouco

mais de 30% da demanda total de uma instalação integrada, índice que sofre variação em função de alguns parâmetros, tais como matéria-prima, qualidade final do produto, tipo do processo empregado, etc.

O licor verde é então submetido a um armazenamento intermediário para separação dos resíduos sólidos. Segue-se a adição de cal, a caustificação e finalmente a decantação para separação das fases líquidas e sólidas. A fase líquida nada mais é do que o próprio licor branco, que voltará ao processo como insumo no digestor. A fase sólida, por sua vez, que constitui-se basicamente de carbonato de cálcio é lavada, sendo a água de lavagem empregada na dissolução dos fundidos da caldeira de recuperação (gerando licor verde) e o carbonato de cálcio enviado a um forno rotativo, para obtenção do óxido de cálcio que é utilizado na caustificação. Além da energia elétrica necessária ao transporte e agitação da matéria processada, tem-se consumo de energia térmica no aquecimento da solução durante a caustificação, através de vapor, e no forno de cal com queima direta de combustível, o que representa em torno de 7 a 8% do consumo total de combustíveis em indústrias integradas.

Completado o ciclo seguido pelas substâncias químicas necessárias ao processo de cozimento, voltemos agora nossa atenção ao processo de produção de papel. A massa de celulose lavada e isenta de partículas é submetida a uma etapa opcional de branqueamento, dependendo da qualidade final desejada para o papel. O branqueamento em si visa a destruição e solubilização dos materiais coloridos, e é realizado com aplicações de oxidantes, intercaladas por lavagens. A sequência mais usual é denominada CEDED e consiste na aplicação de cloro, extração alcalina, dióxido de cloro, extração alcalina e novamente dióxido de cloro. O consumo de energia térmica nessa etapa resume-se ao aquecimento da massa por aplicação de vapor após as operações de lavagem, e antes de cada um dos estágios da sequência, podendo representar de 11 a 14% do consumo total de vapor numa indústria integrada.

A última etapa do processo produtivo, a fabricação de papel propriamente dita, consiste na sequência de quatro operações básicas: preparação da massa, formação da folha, secagem e acabamento. A preparação da massa, em resumo, engloba o tratamento mecânico da fibra, eliminação de impurezas e eventual adição de

compostos químicos. Só então é que a massa é encaminhada à máquina de papel onde dá-se a formação da folha com deposição da massa em mesa e retirada da água por efeito de drenagem e sucção. A folha então formada é submetida à ação de prensas para agilizacão da secagem por meio mecânico e então submetida à ação de calor ao entrar em contato com cilindros secadores aquecidos internamente por injeção de vapor. Ao final do comprimento da máquina de papel, onde é bobinado, o produto deve estar rigorosamente pronto, exceto pelas operações finais de acabamento que adequam o mesmo ao seu uso. O consumo de vapor para secagem do papel representa uma fração substancial do consumo total de uma unidade integrada, variando entre 23 e 36% [Ministério da Indústria e Comércio, 1982].

5.6.3. Potencial de Conservação

As indústrias de papel e celulose, face às características do processo de produção e ao entrelaçamento existente entre as diversas etapas do mesmo, constituem-se num segmento industrial com enormes possibilidades de racionalização do uso da energia. A fim de que essa análise possa ser feita de maneira mais clara, retomaremos a sequência produtiva e sobre essa procuraremos levantar as medidas com maiores potenciais de conservação.

Os principais fatores determinantes do consumo de energia na polpação são o tipo de digestor (contínuo ou batelada), o sistema de aquecimento (direto ou indireto), a temperatura e o tempo de cozimento e a relação licor/madeira.

O desenvolvimento da etapa de cozimento em digestores contínuos proporciona reduções do consumo específico de vapor variáveis entre 50 e 60%, dependendo das especificidades dos digestores que operam em bateladas, submetidos à comparação [Ministério da Indústria e do Comércio, 1982].

Por sua vez a conversão do sistema de aquecimento a vapor de via direta para indireta gera economias também em outras etapas do processo produtivo. Essa transformação viabiliza a recuperação do condensado e seu emprego como água de alimentação dos geradores de vapor, refletindo diretamente sobre o consumo de energia na geração e sobre o custo de reposição da água de alimen-

tação. Indiretamente, uma vez que tal medida aumenta o teor de sólidos do produto, e consequentemente do licor negro a ser extraído na lavagem da massa cozida, haverá também uma queda no consumo de energia nas etapas de evaporação do processo de recuperação [Fiaschi, 1983]. De acordo com estudos preliminares, a combinação desses efeitos pode proporcionar economias de energia significativas para a instalação como um todo.

Alguns dos fatores determinantes do consumo energético na polpação foram escolhidos para avaliação pelo Sub-programa de Apoio Tecnológico em Conservação de Energia no Setor de Papel e Celulose [Ministério da Indústria e Comércio, 1982]. Baseado no fato de que alterações no digestor são de maneira geral dispendiosas, e considerando que a redução da temperatura do processo pode elevar em demasia o tempo de cozimento, atribuiu-se prioridade à otimização da relação licor/madeira. Avaliações preliminares estimaram um potencial de economia de vapor de 12% no cozimento de madeira de fibra longa em digestores descontínuos, em resposta a uma redução de 17% na relação licor/madeira.

Outra medida que foi escolhida para ser submetida a estudos de viabilidade foi o uso de licor verde na pré-impregnação de cavacos na etapa de cozimento, em substituição parcial ou total do licor branco. Na verdade, tal alternativa só propiciaria benefícios indiretos em outras etapas do processo produtivo, com redução dos gastos associados à caustificação e à produção de cal.

Na etapa de recuperação dos produtos químicos utilizados na polpação existe um largo potencial de conservação de energia, associado basicamente aos processos de evaporação do licor negro fraco, queima deste na caldeira de recuperação e reciclagem da cal.

Vimos anteriormente que o consumo de vapor nas etapas de evaporação do licor negro representa pouco mais de 30% da demanda total de uma instalação integrada. Associada a essa etapa existe uma série de procedimentos e tecnologias possíveis de aplicação visando a redução do consumo de energia, basicamente do consumo de vapor. Essas alternativas podem ser entendidas como oportunidades de redução dos custos operacionais, oportunidades estas de baixo investimento, de investimento moderado ou intensivas em capital.

No primeiro grupo pode-se citar um melhor controle da operação, eliminação de vazamentos, adequação do perfil de pressões,

nos corpos do evaporador, redução de perdas térmicas, etc.

Como medidas de investimento moderado tem-se o uso de equipamentos auxiliares para recuperação de calor de efluentes, recuperação e uso de "flash" de condensados e produto, e maior controle sobre o processo através de monitoração e automatização. É interessante notar as consequências de falhas operacionais no processo de evaporação: o simples descontrole da concentração do licor negro permitindo que essa passe de 63% para 60%, mantida constante a vazão, acarretará numa queda da produção de vapor em torno de 9,0%, sacrificando momentaneamente o atendimento da fábrica como um todo ou exigindo maior participação das caldeiras auxiliares (*) [IPT, 1978].

As melhores oportunidades para redução significativa do consumo de vapor na evaporação, no entanto, são aquelas que demandam altos investimentos e impõem alterações significativas ao processo. Nesse grupo devem se destacar os procedimentos de recompressão térmica ou mecânica da água evaporada do produto, e sua utilização como vapor de processo nos corpos subsequentes dos evaporadores de múltiplo efeito, e a adição de novos corpos, ou a combinação de tais alternativas. Além de restrições de ordem econômica, existem limitações associadas às propriedades físicas da matéria processada e à dificuldade de adaptação do evaporador às novas condições [Energy Research and Development Administration, 1977].

Um estudo preliminar realizado sobre uma instalação específica de um sistema evaporador de 03 efeitos indicou um potencial de economia de 19,6% de vapor na concentração do licor negro, pela adição de um quarto corpo ao conjunto. Da mesma forma, na análise da recompressão térmica, estudou-se a economia potencial da termo-compressão do vapor extraído do primeiro corpo do mesmo evaporador de três efeitos, para alimentação como vapor de processo: tal procedimento, conjuntamente com a duplicação da área de troca térmica no primeiro efeito, representou um potencial de economia de 23%. O mesmo equipamento, se adaptado para uso de termo-compres

(*) A demanda de vapor numa fábrica de celulose ou integrada é suprida preferencialmente pela caldeira de recuperação. As caldeiras auxiliares são caldeiras convencionais, a combustível ou elétricas, que atendem o restante da demanda.

sor e com um efeito adicional, poderia operar com 38% de redução no consumo de vapor em relação à situação original [Fiaschi, 1983].

As caldeiras de recuperação, embora responsáveis por uma fração considerável da produção de vapor em fábricas de celulose ou indústrias integradas, apresentam em geral baixo rendimento térmico. Algumas das principais causas do baixo desempenho desses equipamentos estão relacionadas às próprias características da lixívia (licor negro) enquanto combustível. Em vista disso, um dos principais projetos de racionalização energética previa o desenvolvimento de caldeiras de leito fluidizado, o que permitiria em princípio, a elevação do rendimento térmico a valores próximos de 85%. Isso reduziria, obviamente, a demanda energética global, face a menor utilização das caldeiras auxiliares.

As perdas químicas de sódio e enxofre são repostas na unidade de recuperação sob a forma de sulfato de sódio, seco ou em solução, que é adicionado ao licor negro concentrado antes da injeção deste na caldeira de recuperação. O sulfato decompõe-se em sulfeto numa reação endotérmica, consumindo energia que poderia estar disponível para geração de vapor; caso o sulfato esteja em solução, a redução potencial de produção de vapor será afetada pela evaporação da água de formação do sal. A elevação do "make-up" de sulfato seco em 16% implicará na redução potencial de aproximadamente 1% na produção de vapor; no caso de uma solução com 50% de sólidos, a mesma elevação de 16% implicará em perdas potenciais de 1,5% na geração. A diminuição do "make-up" depende principalmente do maior controle da velocidade dos gases da caldeira a fim de reduzir o arraste, e do bom funcionamento dos captadores de sólidos dos gases e dos filtros eletrostáticos [IPT, 1978].

Ainda com relação à etapa de recuperação de sólidos o último ponto a ser considerado é o forno de cal. A eficiência térmica de um forno de calcinação é função direta do teor de umidade da lama de cal que o alimenta; teoricamente, 35% do consumo energético nessa etapa é destinado à evaporação da água de constituição dessa lama. Além do potencial de conservação associado a um maior controle do teor de umidade da lama, outro aspecto a ser destacado é o da perda de pó, arrastado pelos gases de combustão do forno, não pelo calor sensível que com ele é desperdiçado, que é muito pequeno, mas principalmente pela energia consumida na evaporação d'água e na calcinação de uma fração da matéria-prima que não vai se transformar em produto. Obviamente a recuperação do pó de cal à saida

do forno reveste-se de maior importância se levarmos em conta os problemas de poluição ambiental e queda de produção.

Comparativamente às demais etapas do processo de fabricação de celulose e papel, as possibilidades de redução do consumo energético no branqueamento são pequenas, limitando-se basicamente à redução do tempo de permanência e da temperatura nos diversos estágios de purificação. Experiências em escala industrial visando a viabilização dessas medidas eram passíveis de financiamento através do Ministério da Indústria e Comércio a partir de 1982.

A fabricação de papel propriamente dita é uma etapa com grande potencial de conservação de energia, face ao intensivo consumo de vapor. As medidas de racionalização aqui discutidas valem, via de regra, tanto para as unidades de produção integradas quanto para aquelas que produzem exclusivamente papel.

Um primeiro ponto a ser destacado é a baixa eficiência dos sistemas de prensagem, responsáveis pela pré-secagem do papel antes de seu encaminhamento à sequência de cilindros secadores por ação térmica. Em 1982 estimou-se que o desempenho médio real desses equipamentos na indústria brasileira não era superior a 40% contra uma eficiência teórica de 70%. A importância de uma operação mais eficiente ressalta quando consideramos que para cada 1% adicional na umidade do papel temos um incremento associado de 4% no consumo de vapor para secagem [Ministério da Indústria e Comércio, 1982].

Nas máquinas de papel a eficiência da secagem influi diretamente não só no consumo de energia, mas também na própria produção; assim, o processo de secagem deve ser cuidadosamente controlado. Por exemplo, se o cilindro estiver muito quente, principalmente nos primeiros estágios, pode haver enrugamento do papel, ou mesmo um enfraquecimento de fibras no caso de secagem excessivamente rápida [Reay, 1977]. Existem uma série de fatores que devem ser controlados de maneira a propiciar a otimização energética e produtiva, tais como teor de umidade inicial e final do papel, coeficiente de evaporação, velocidade de avanço e temperatura do vapor.

Ainda com relação à secagem, é interessante destacar a iniciativa de algumas indústrias de papel nos Estados Unidos e Europa no sentido de utilizarem equipamentos de secagem com infravermelho ou micro-ondas, na substituição parcial ou total da secagem térmica. De acordo com a bibliografia consultada [Reay, 1977], os primeiros resultados foram positivos.

O Sub-programa de Apoio Tecnológico em Conservação de Energia no Setor de Papel e Celulose propôs em 1982, a fim de viabilizar o aproveitamento das fontes de calor secundário em máquinas de papel, a quantificação do potencial de conservação e a avaliação dos equipamentos disponíveis no país. Considerou-se, então, que as maiores possibilidades estavam associadas aos cilindros resfriadores, circuito de resfriamento de óleo, uso de "flash" de condensados e calor de exaustão das coifas [Ministério de Indústria e Comércio, 1982].

A última observação a ser feita com relação às possibilidades de racionalização do consumo energético na indústria de papel e celulose, diz respeito às potencialidades comuns em instalações industriais de consumo intensivo de vapor, potencialidades essas associadas aos sistemas de geração, distribuição ou utilização. Como veremos no próximo item, nas indústrias brasileiras de papel e celulose grande parte das medidas possíveis dentro desse grupo já foram implantadas.

5.6.4. Tendência comportamental em conservação e substituição

A tendência do consumo energético global na indústria brasileira de papel e celulose se apresentou crescente no período compreendido entre 1974 e 1984, com ocorrência de ligeiros decréscimos nos anos de 1977 e 1980. A taxa de crescimento de 74 a 84 foi de 95%, mas apenas 25,5% de 1976 a 84 [Ministério das Minas e Energia, 1985]. Já o comportamento dos principais insumos energéticos apresentou tendência muito mais diversificada, conforme pode ser observado na tabela 24 e na figura 39.

Nota-se que a evolução do consumo de eletricidade acompanhou a grosso modo, muito embora com taxas sensivelmente maiores, a do consumo total energético do sub-setor. Já no caso dos óleos pesados registrou-se uma queda acentuada em sua demanda, notadamente a partir de 1977, enquanto a lenha apresentou crescimento marcante em sua participação, basicamente a partir de 1979. Es-

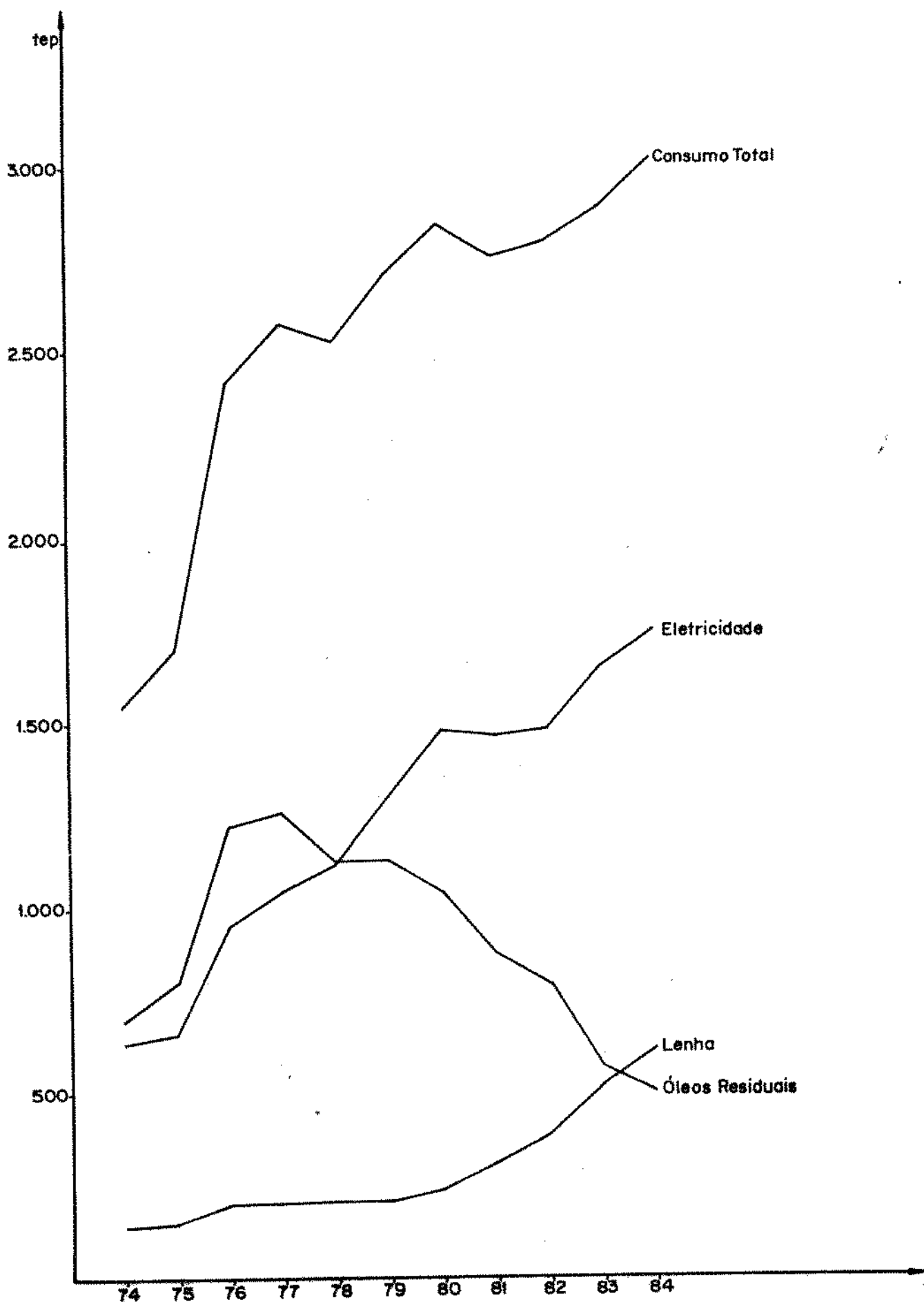


Figura:39- Sub-Sector: Papel Celulose
Consumo Energético (Tep) - Brasil
Fonte: Balanço Energético Nacional

TABELA 24

VARIAÇÃO PERCENTUAL DO CONSUMO ENERGÉTICO EM RELAÇÃO AO PRIMEIRO ANO DO PERÍODO. [Ministério das Minas e Energia, 1985].

Período	1974-1984	1976-1984
Consumo global	95%	25,5%
Consumo de óleos pesados	-28,5%	-59,0%
Consumo de eletricidade	178,8%	88,0%
Consumo de lenha	340,0%	211,0%

sa tendência pode ser creditada em primeiro lugar à própria iniciativa das indústrias brasileiras de papel e celulose com relação à adoção de medidas de conservação e substituição, e em segundo lugar aos efeitos do Protocolo de Objetivos para Conservação e Substituição de Energia no sub-setor, firmado em outubro de 1980 entre o Ministério da Indústria e Comércio, Ministério das Minas e Energia, Ministério dos Transportes, Secretaria de Planejamento e Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose.

O segmento industrial de papel e celulose tem se preocupado com conservação de energia desde antes da segunda alta acentuada dos preços internacionais do petróleo em 1979. A primeira iniciativa nesse sentido data de 1977, época em que o crescimento da produção física do sub-setor não foi acompanhado na mesma proporção pela receita operacional, o que obrigou a adoção de uma política de redução dos custos internos, notadamente redução do consumo de energia [CESP/FDTE; 1981].

Até 1980 as principais medidas simples de conservação de energia, principalmente aquelas associadas ao controle da combustão e cuidados nas etapas de geração, distribuição e utilização de vapor já haviam sido implantadas em grande parte das empresas do sub-setor. Uma pesquisa efetuada no mesmo ano junto a uma fração da indústria que respondia por 72% do consumo energético glo-

bal desse parque industrial, apresentou altos percentuais de realização de medidas tais como isolamento térmico de linhas de vapor e acessórios, recuperação de condensado, tratamento e pré-aquecimento da água de alimentação de caldeiras, análise dos gases de combustão e treinamento de pessoal [Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, 1981].

O acompanhamento da implantação dessas medidas de conservação de energia mostrou que as empresas que já se utilizavam de combustíveis alternativos, ou estavam em vias de consolidar a substituição, foram as que apresentaram menores índices de racionalização. Tal fato levou à distinção de duas correntes diferentes dentre as empresas do sub-setor: uma que optou e investiu preferencialmente em conservação, e outra que recorreu em primeira instância à substituição.

Até 1980 os esforços de conservação de energia estavam orientados quase que exclusivamente ao uso de combustíveis, e com muito maior ênfase às aplicações de geração ou uso de vapor. Nos últimos anos essa postura sofreu ligeira alteração, face principalmente à alta dos custos de energia elétrica, quando várias empresas passaram então a adotar medidas de racionalização do consumo de eletricidade. Vale ressaltar que no caso das empresas que consomem energia elétrica gerada internamente via processos de co-geração, a adequação da demanda elétrica à de vapor é quase sempre necessária a fim de manter-se razoavelmente uniforme as taxas de produção de potência e vapor para processo [Reay, 1977].

O Protocolo de Objetivos para Conservação e Substituição de Energia na Indústria de Papel e Celulose fixava duas metas básicas a serem cumpridas num horizonte de cinco anos:

- redução mínima de 20% no consumo de óleos combustíveis até fins de 1982, em relação à demanda verificada em 1980;

- redução de até 87%, em relação a 1980, no consumo de óleos pesados, até dezembro de 1985, através da substituição por resíduos florestais, madeira de reflorestamento e carvão mineral.

A partir de 1986 deveria ser iniciada nova fase em que ampliar-se-ia a substituição de derivados de petróleo por madeira de reflorestamento que, por seu turno, deveria ser plantada nos primeiros cinco anos de vigência do protocolo. A substituição total não era prevista, estimando-se em 200.000 toneladas de óleo por ano o saldo a ser mantido face à inviabilidade técnica e/ou econô

mica de adaptação ou troca de equipamentos para uso de energéticos alternativos [CEPS/FDTE, 1981].

A avaliação dos resultados alcançados pelo Protocolo é relativamente difícil face à precariedade das informações publicadas a respeito. De acordo com o Balanço Energético Nacional de 1985 [Ministério das Minas e Energia], a primeira meta do programa foi satisfatoriamente cumprida, registrando-se uma queda de 22,8% no consumo de óleos residuais de 1980 até 1982. Alternativamente, partindo de dados do consumo específico de óleos pesados para o sub-setor no mesmo período [Rousso, 1984] (queda de 16,4%), e tomando os índices de produção do segmento industrial no Estado de São Paulo como representativos de todo o país [SEADE, 1984] (queda de 3,4%), chegaremos a uma redução na demanda de óleos combustíveis da ordem de 19,2% no período 1980-1982. Portanto, confirma-se, o cumprimento da primeira meta (Ver figuras 40 e 41).

Com relação ao segundo ponto do programa, sabemos ainda com base no Balanço Energético, que o consumo de óleos pesados caiu 52,2% de 1980 a 1984, enquanto a demanda de energéticos alternativos (aqui considerados apenas a lenha e o carvão mineral) cresceu 145,2% no mesmo período. Muito embora sejamos tentados a supor que o segundo objetivo também tenha sido alcançado em fins de 1985, devemos considerar que a própria indústria de papel e celulose considerava factível o cumprimento de metas até 1984, mas não em 1985, face ao menor aporte de investimentos, à dificuldades gerais com energéticos alternativos, e à recessão econômica [Fiaschi, 1983].

Finalmente, quanto à nova fase do protocolo que deveria ter sido iniciada em 1986, é de se esperar que os resultados a serem alcançados estejam muito aquém das previsões iniciais. Recentemente, face à redução dos níveis de investimento em reflorestamento nos últimos anos, e à enorme pressão exercida sobre a demanda de madeira, causada pela tendência de substituição de derivados de petróleo por biomassa florestal em vários segmentos industriais, o sub-setor de papel e celulose encontra dificuldades na obtenção da madeira até como matéria-prima [Cherkassky, 1986].

Observando os valores de consumo específico da figura 40 fica claro que durante o período 1976-1980 foi tomada a maioria das iniciativas de conservação de energia na indústria de papel e celulose até aqui. Nesse espaço de tempo, o consumo es-

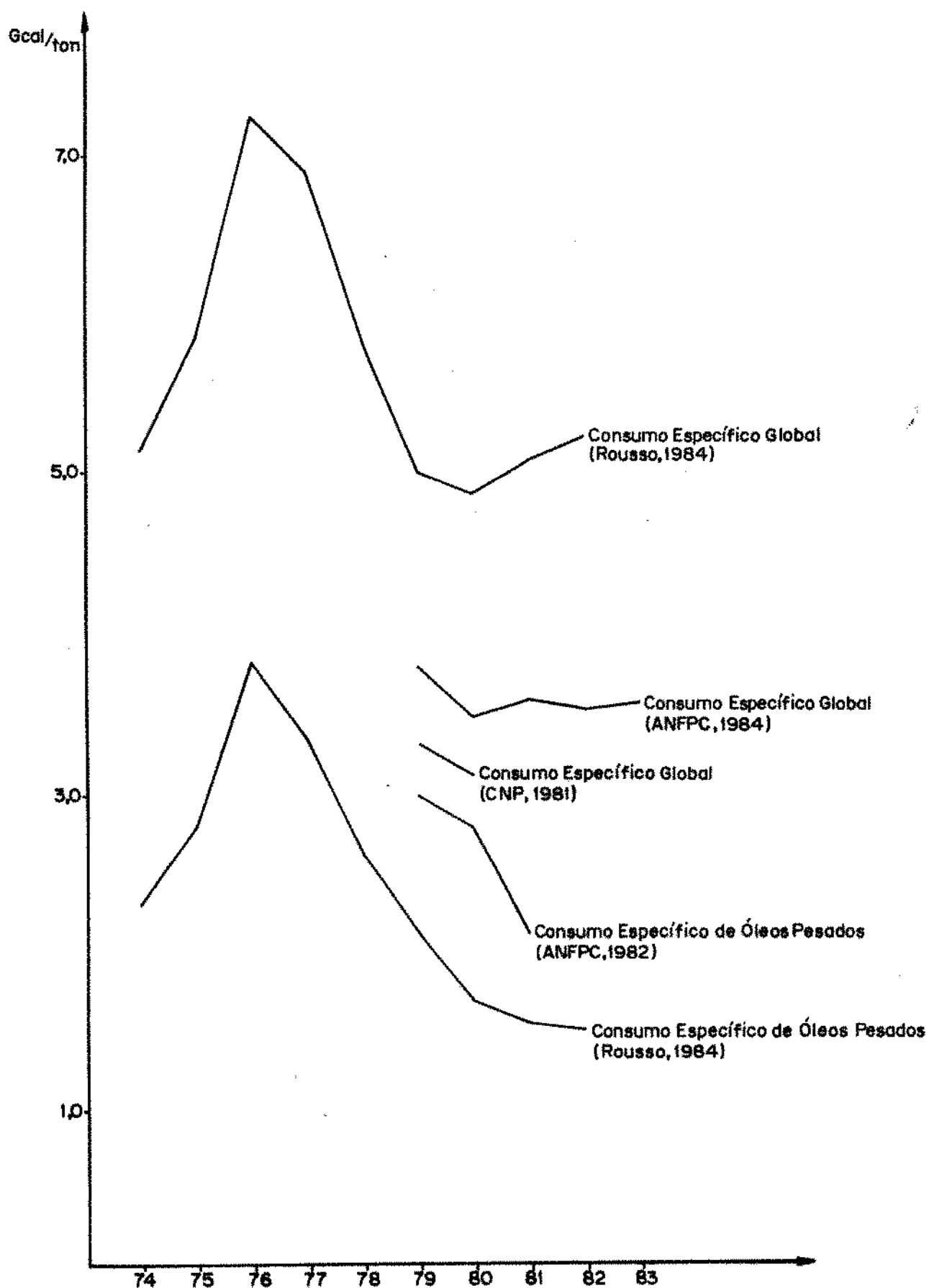


Figura: 40-Evolução do Consumo Específico de Energia na Indústria de Papel e Celulose

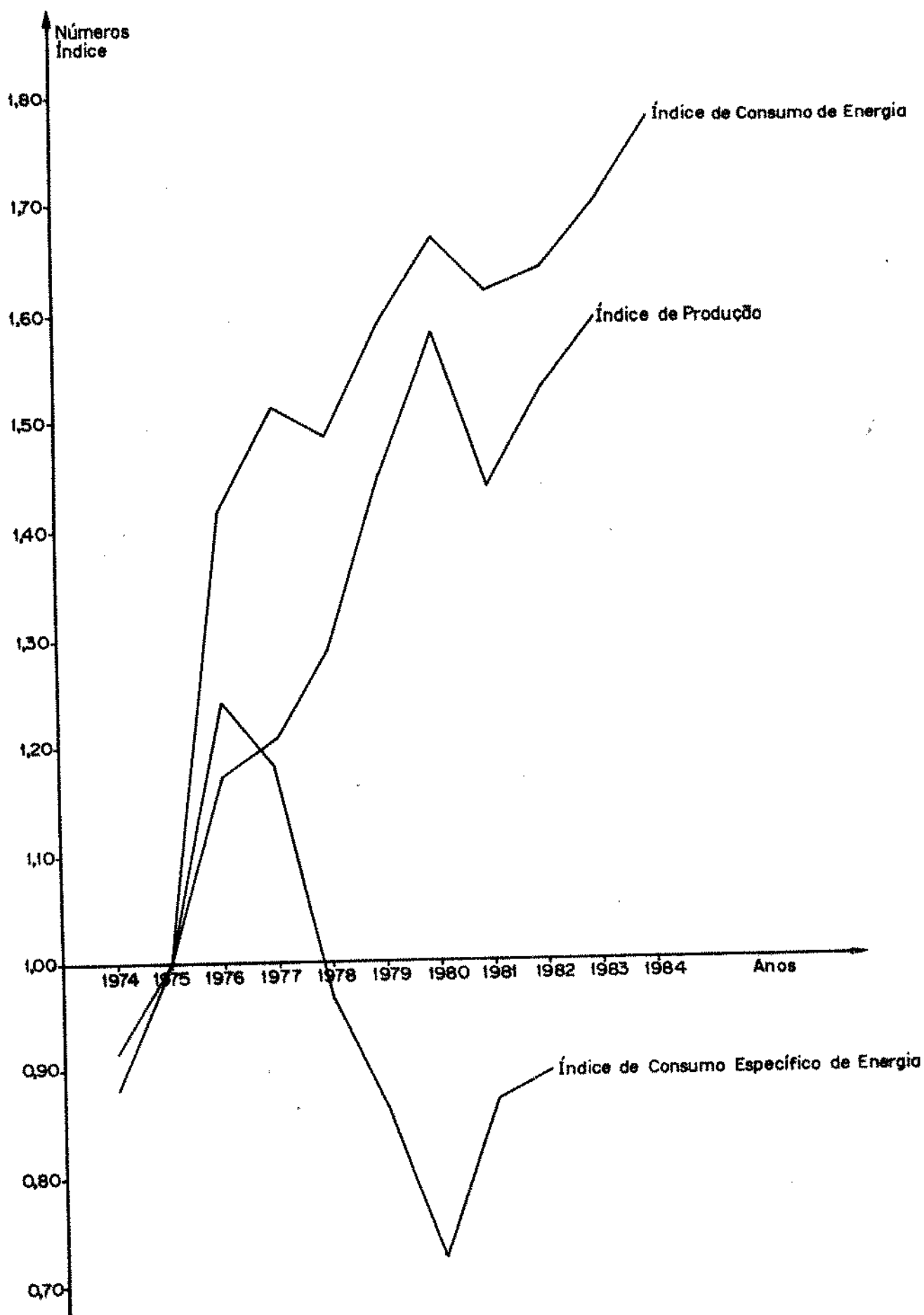


Figura:41- Números - Índice para a Indústria de Papel e Celulose

Fonte: Índice de Consumo de Energia - Balanço Energético Nacional, 1985

Índice de Consumo Específico de Energia - Rouso, 1984

Índice de Produção - Anuários Estatísticos do Estado de São Paulo, SEADE

pecífico global de energia caiu 41,5%, para uma redução no consumo específico de óleos combustíveis de 51%. Confirma-se, portanto, que até 1980 as ações de conservação atuaram unicamente sobre a demanda de derivados havendo poucos esforços de substituição (ver também figura 39).

Segundo Rousso [1984], a partir de 1980 o consumo específico total do sub-setor subiu ligeiramente, comportamento este creditado a um descuido do sub-setor face às condições mais favoráveis de fornecimento e à recessão econômica. É preciso lembrar, entretanto, que a partir de 1980 passou a ser cada vez mais crescente o uso de combustíveis alternativos em substituição aos óleos pesados, provocando um aumento do consumo específico, não só pela menor atenção destinada às medidas de racionalização, mas também pela menor eficiência de conversão nas diversas aplicações.

Observando a figura 40 constata-se que os dados de Rousso são sensivelmente diferentes dos de outras fontes: os dados de consumo global são maiores em relação aos valores levantados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose e pelo CNP, enquanto os de consumo específico de óleos pesados são menores. É interessante notar que a defasagem entre informações de diferentes fontes é relativamente esperada face à enorme diversidade entre os vários segmentos da indústria de papel e celulose do ponto de vista do consumo de energia. Desta forma, por exemplo, numa amostra em que prevalecerem indústrias integradas produtoras de papel de fibra longa, deveremos ter alto consumo específico global e baixo consumo específico de derivados de petróleo, enquanto em amostras onde houverem relativamente, muitas unidades fabricantes de papel para fins sanitários, os valores de consumo específico deverão ser bem menores [Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, 1982].

Embora apresentem tendências díspares segundo fontes diferentes, o comportamento geral das curvas de consumo específico após 1980 confirma que os esforços na indústria de papel e celulose, após essa data, foram em grande parte destinados à substituição.

Até 1980, boa parte da demanda de lenha no sub-setor devia-se basicamente às unidades integradas produtoras de papel de fibra longa, tradicionais consumidoras desse energético, e em menor escala às de celulose. A partir dessa data, verificou-se cres

cimento marcante na demanda de energéticos alternativos nos segmentos produtores de papel para fins sanitários, produtores integrados de papel de fibra curta e fabricantes exclusivos de papel [Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, 1981].

A substituição de derivados de petróleo por combustíveis alternativos deu-se quase que exclusivamente em direção à lenha e resíduos florestais, opção natural face ao tradicional conhecimento do sub-setor nesse ramo, aos menores investimentos requeridos na produção desses energéticos, e ao menor custo final do mesmo. Algumas poucas indústrias optaram por outras alternativas, de acordo com facilidades regionais ou conjunturais, como foi o caso da opção pelo carvão mineral no sul do país, do bagaço de cana no Nordeste, e até mesmo da energia elétrica. Deve-se ressaltar que o menor consumo dos óleos residuais deve-se também ao incremento na capacidade de geração via caldeiras de recuperação [CESP/FDTE, 1981].

O comportamento do segmento paulista de papel e celulose quanto à conservação e substituição não seguiu tendência diferente à verificada no conjunto de indústrias do ramo no país, investindo num primeiro período preferencialmente em conservação de energia, partindo a partir de 1980 para a centralização de seus esforços na substituição entre formas energéticas.

De acordo com dados do Conselho Nacional do Petróleo e do Conselho Estadual de Energia - SP, a participação da lenha na estrutura de consumo energético desse segmento industrial no Estado de São Paulo passou de 7,70% em 1981 para 22,29% em 1984. Igualmente marcante é a tendência de crescimento do consumo das demais formas energéticas, excluídos os três energéticos principais (óleos pesados, eletricidade e lenha), onde a incidência de resíduos florestais é decisiva, que apresenta uma variação de 0,64% na estrutura de consumo de energia útil para 11,87% entre os anos de 1981 e 1984.

Segundo informações da Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose [1981], a quase totalidade dos projetos de substituição para as indústrias de São Paulo fixava a lenha como opção preferencial, havendo na época apenas uma instalação prevista para uso de bagaço de cana e duas unidades para emprego de energia elétrica.

No entanto, no que, diz respeito ao uso de eletricidade em aplicações eletrotérmicas as informações da Associação não

se mostraram consistentes, tendo se verificado um crescimento da participação do consumo de energia elétrica em eletrotermia em relação ao consumo total, de 2,8% em 1981 para 6,7% em 1984, crescimento esse que pode ser atribuído quase que exclusivamente ao uso em geração de vapor.

5.7. Indústria Têxtil

5.7.1. Caracterização geral

O Censo Industrial de 1980 do IBGE indica a contribuição do sub-setor têxtil em 4,5% do número total de estabelecimentos industriais, 6,8% sobre o valor total da produção industrial, e a absorção de 8,4% da mão-de-obra empregada pelas indústrias do país nesse ano. Do ponto de vista do consumo de energia, segundo o Balanço Energético Nacional [Ministério das Minas e Energia, 1985], o sub-setor têxtil respondeu na mesma época por 1,8% do consumo total de energia no país e 4,4% do consumo industrial. Em 1984 essa participação foi respectivamente de 1,5% e 3,8%.

O Estado de São Paulo é o mais importante polo têxtil do país. De acordo com o IBGE [1980], em 1980, 53,2% de todos os estabelecimentos industriais do gênero localizavam-se no Estado. Verifica-se a existência de algumas áreas de concentração na capital e no interior, em cidades como Americana e Sorocaba; dentro da agregação adotada nesse trabalho, isso representa maior concentração nas áreas da ELETROPAULO e da CPFL.

A análise do parque têxtil do ponto de vista tecnológico coloca a descoberto a existência da relativa heterogeneidade de processos e tecnologias. Um primeiro aspecto de importância está no grau de pulverização do sub-setor, com grande número de estabelecimentos de pequeno porte, alguns deles especializados em apenas algumas etapas do processo produtivo. Outro fato marcante é que, de uma forma geral o empresariado é de formação bastante tradicional, sendo em parte refratário a alterações tecnológicas. A esse fato contrapõe-se o óbvio envolvimento da indústria têxtil com a indústria da moda, o que a obriga a manter-se em constante evolução e adequação quanto aos produtos. A consequência dessas linhas de comportamento opostas estas em que o parque têxtil mostra hoje uma composição de tecnologias obsoletas e modernas, com reflexos diretos, como veremos, sobre a demanda energética.

Um último comentário de ordem geral com o intuito de melhor caracterizar a indústria em análise, é que a modernização tecnológica foi bastante influenciada pela penetração no mercado das fibras sintéticas, em substituição total ou parcial das fibras

naturais (algodão, linho, lã e seda, ente outros). Essa tendência tem se mostrado oscilatória ao longo do tempo face aos diferentes ditames da moda.

5.7.2. Processo produtivo e consumo energético

O processo produtivo se caracteriza por um conjunto de etapas de transformação das matérias-primas - fibras naturais, químicas ou uma combinação destas - em produtos acabados ou semi-acabados - fios, tecidos, malhas ou telas.

Em função do número de etapas de produção a que se dedicam as diversas unidades industriais, as instalações têxteis podem ser integradas ou especializadas. A produção têxtil integrada envolve numa mesma instalação todas as etapas do processo, desde a preparação inicial das fibras até o acabamento final do produto. A produção especializada, por sua vez, responde somente por uma ou algumas das etapas da linha produtiva.

Os fluxogramas de produção são de uma forma geral bastante diversificados, variando em função da matéria-prima trabalhada, do tipo de produto final desejado e do grau de integralização ou especialização da instalação.

Três etapas conexas, independentes entre si, constituem o núcleo e o fundamento do processo de produção têxtil: a fiação, a tecelagem ou malharia e o beneficiamento [CESP/FDTE, 1981]. A fiação compõe-se de um conjunto de operações tais como limpeza, paralização, estiragem e torção das fibras. O consumo de energia nessa etapa envolve basicamente energia elétrica no acionamento de motores, em iluminação e condicionamento de ar. Os fios produzidos são destinados ao beneficiamento primário, etapa em que se destaca a operação de engomagem, ou diretamente à tecelagem ou malharia.

A produção de tecidos é resultado do entrelaçamento de fios em uma etapa exclusivamente consumidora de energia elétrica, assim como na malharia. No entanto, na tecelagem quase sempre é necessário que os fios de urdume sejam previamente engomados a fim de que possam resistir aos esforços mecânicos a que são submetidos.

A engomagem envolve o consumo de energia na forma de calor no cozimento das gomas, no aquecimento dos banhos de impreg-

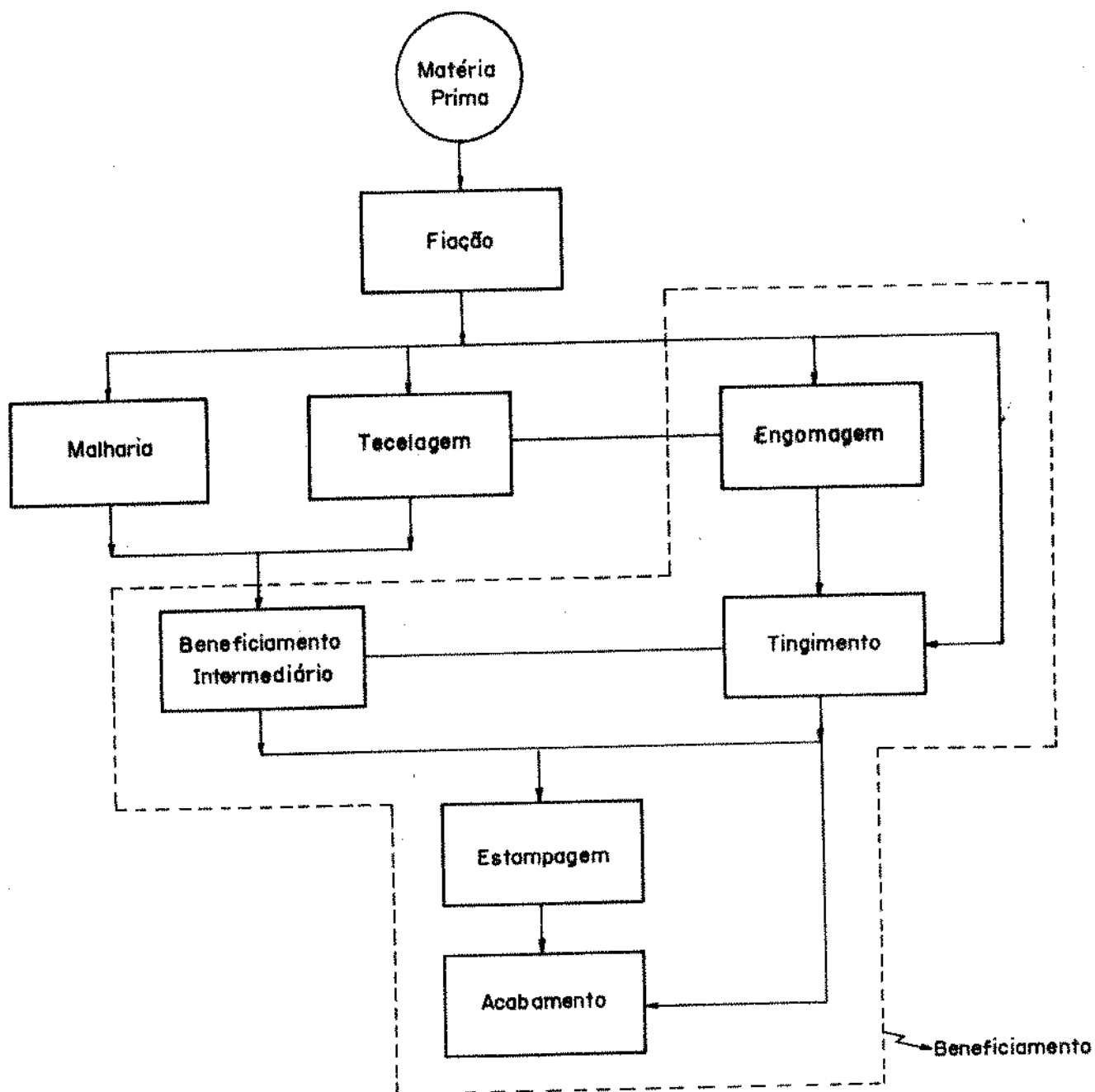


Figura:42-Fluxograma do Processo de Produção Têxtil
Fonte: IPT

nação e na secagem. De forma geral emprega-se vapor como meio de aquecimento.

Após a etapa de tecelagem (ou malharia), o tecido pode ser submetido a uma sequência de operações de beneficiamento intermediário que tem por objetivo a eliminação de impurezas ou imperfeições dos materiais têxteis, ou melhoria de suas propriedades visando a preparação destes para os processos de tingimento, estampagem e acabamento final. Aqui o consumo energético se dá principalmente na forma de energia elétrica e vapor, e em menor escala através da queima de gases.

O processo de tingimento visa a coloração dos materiais através da aplicação de corantes. Ao longo do processamento, são fatores determinantes de qualidade final a adequação entre elementos de coloração e elementos químicos auxiliares e o substrato têxtil, bem como o grau de agitação mecânica do banho e o nível de temperatura do mesmo. Eletricidade e vapor são portanto insumos energéticos de importância vital à essa etapa.

A estampagem do produto têxtil pode ser feita manual ou mecanicamente, num processo que por si só demanda apenas energia elétrica. No entanto, é na operação de secagem que garante-se a qualidade final, operação essa que se desenvolve através da injeção de ar quente sobre o substrato. O calor das câmaras de secagem é fornecido por trocadores de calor aquecidos a vapor ou óleo térmico. Eventualmente é necessário que haja uma etapa posterior de lavagem, o que implica na necessidade de mais uma secagem.

A última escala do beneficiamento têxtil constitui-se num conjunto de operações denominadas genericamente por acabamento, que visam dotar o material de propriedades específicas ao uso, tais como amaciamento, pré-encolhimento ou sanforização, engomagem, tratamentos anti-estáticos, impermeabilização, etc. A maior fração do consumo energético nessa etapa ocorre face à necessidade de emprego de calor para aquecimento de superfícies ou secagens [IPT, 1982].

O conjunto de etapas designadas por beneficiamento representa a mais importante divisão do processo de produção têxtil do ponto de vista do consumo energético. Como visto, a demanda de energia deve-se basicamente a processos de aquecimento e secagem, para os quais emprega-se principalmente vapor. Com efeito, 74,8% do consumo total de energia útil no sub-setor têxtil paulista em 1981 deveu-se à geração de vapor e aquecimento de fluídos térmi-

cos. O quadro: baixo dá uma idéia mais clara do perfil de uso de energia nessa indústria.

TABELA 25

PERFIL DE USO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA TÊXTIL - SÃO PAULO

Uso de Energia		Estrutura de Consumo (%)
Aplicações térmicas	50° a 100°C	36,0
	100° a 150°C	35,0
	150° a 200°C	7,0
Iluminação, força motriz, condiciona <u>mento</u> de ar, etc.		21,6
Transporte		0,4

FONTE: CESP/PDTE

5.7.3. Potencial de Conservação

Em sendo o consumo de energia na indústria têxtil determinado basicamente pelas operações em que requer-se o aquecimento de banhos e soluções e pelas secagens, a redução da demanda energética específica depende em primeira instância da melhor eficiência dessas etapas. Algumas possibilidades de conservação de energia decorrem de transformações no processo produtivo, enquanto outras provêm de adequações tecnológicas em sistemas de conversão, transporte e consumo de energia.

Um primeiro aspecto a ser abordado é a descontinuidade do processo produtivo em algumas instalações, com reflexo sobre o consumo específico das mesmas. A existência de tempos mortos na linha de produção acarreta perdas energéticas face a transitoriedade da operação e a necessidade de um maior número de etapas de secagem a fim de se evitar a deterioração dos materiais no armazenamento.

Outro ponto a ser destacado é que devido à não programação adequada da produção, muitas vezes os equipamentos são postos em operação com capacidade muito abaixo do ideal, trabalhando sob condições que levam à baixa eficiência. Pesquisas efetuadas nos EUA avaliaram o potencial de redução do consumo específico em 1% para cada 1% de redução da capacidade ociosa.

É importante lembrar que grande número das instalações têxteis de beneficiamento trabalham sob regime de encomenda, sendo portanto extremamente difícil a racionalização da produção. Estudos realizados pelo IPT [1982] indicam a possibilidade de se alcançar economias globais de até 50% em instalações que passam a trabalhar dentro de um fluxo contínuo e adequado de produção.

Grande parte das etapas de beneficiamento do substrato têxtil envolvem operações que ocorrem sob ação de banhos de lavagem, tingimento e engomagem. Uma vez que essas operações devem ser realizadas a quente, quanto maior a massa d'água requerida no processo, maior será o consumo de energia. Um parâmetro de extrema importância na análise da demanda energética têxtil é a relação de banho, definida como sendo a razão entre a massa d'água e a massa da matéria-prima sob tratamento. Os equipamentos mais antigos, que refletem tendências tecnológicas ultrapassadas, caracterizam-se, de uma forma geral, por exigirem altas relações de banho.

Em princípio é possível a adaptação das máquinas para uma condição de operação com menor relação de banho. No entanto, nesses casos, quase sempre é necessário que os estudos de transformação sejam amplos o suficiente para que se avalie a necessidade de alterações na classe de corantes (no caso de tingimento), melhoria da qualidade do tratamento d'água, condições de circulação, etc. Mesmo assim, quase sempre a qualidade final do processamento é inferior à qualidade obtida na condição inicial.

A importância do controle das condições de operação desses equipamentos é ainda mais reforçada quando vemos que um equipamento, como por exemplo uma barca pode trabalhar com relações de banho na faixa de 10 até 50:1. Deve-se lembrar que muitos trabalhos permitem a intercambialidade de equipamentos, sendo possível a substituição da mesma barca acima citada por um jigger, que opera com relação de banho 1:1, sem prejuízo marcante da qualidade do produto.

A título de exemplificação, vejamos alguns dados de estudos descritos na literatura. Wyles [1982] cita o caso de um processo de tingimento com relação de banho 30:1 apresentando consumo específico 19,6 MJ/kg de tecido processado; a adaptação do equipamento para relações de banho 20:1 e 10:1 representou economia de 32 e 63%, respectivamente. Já Von Der Eltz [1982] descreve processos de lavagem contínua que se desenvolvem com uma relação de banho 10:1; no caso em que a operação se dá com uma relação 15:1, verifica-se um acréscimo no consumo de vapor da ordem de 50%.

Ainda na abordagem dos aspectos relacionados ao consumo energético em etapas de banho a quente, deve-se ressaltar alguns outros pontos. Em primeiro lugar, os fluxos de efluentes à temperaturas de processo geralmente não são aproveitados em outras etapas da produção, ou nela própria, no pré-aquecimento do fluxo de alimentação. Outra possibilidade de grande interesse é a viabilização da conjunção de etapas hoje desenvolvidas de forma independente; como a indústria têxtil apresenta índices relativamente altos de consumo de energia e água, soluções dessa ordem permitiriam uma substancial redução no custo de produção.

Outro item dentro da mesma ótica é a possível redução do nível de temperatura de processamento, possibilidade esta condicionada a avanços na pesquisa de corantes e gomas aptos a trabalharem a frio ou à baixas temperaturas.

De acordo com Von Der Eltz [1982] as secagens consomem 25% da energia total demandada no beneficiamento de tecidos 100% algodão e 47% no caso de tecidos 100% sintéticos. A incidência das operações de secagem e fixação (operação térmica que visa dotar o material de estabilidade dimensional) sobre a demanda energética das instalações é tanto maior quanto maior for a descontinuidade do processo, uma vez que o produto deve ser sempre armazenado seco.

Nas indústrias têxteis a secagem dá-se com injeção de ar quente sobre o material, ou com a passagem deste sobre cilindros secadores aquecidos com injeção interna de vapor. O consumo de energia nos secadores é fortemente influenciado pelo controle exercido sobre as condições de operação dos equipamentos [Reay, 1977]. Essa prática geralmente possibilita consideráveis economias através de simples regulagens ou pequenas modificações, tais como a ação sobre a vazão do fluxo de saída, controle da umidade do ar, gases e produtos, e controle da velocidade de deslocamento do te-

cido. Um trabalho realizado numa indústria têxtil produtora de tecidos sintéticos possibilitou a redução do consumo energético em 25,4% através do simples ajuste das válvulas de exaustão de uma rama de secagem e fixação [IPT, 1985].

Deve-se ainda notar que a demanda nas secagens pode ser substancialmente reduzida, qualquer que seja o processo ou o equipamento utilizado, quanto menor for a umidade de entrada do produto. Tal objetivo pode ser alcançado com processos de extração mecânica, como por exemplo a centrifugação, a espremedura e a extração a vácuo. O estudo de Wagner [1982] ilustra de maneira apropriada esse conceito: a redução do teor de umidade do tecido de 80 para 30% à entrada da rama de secagem representa uma economia de 62% no processo.

Além de todos os itens anteriormente descritos, existe uma série de possibilidades de redução do consumo de energia em instalações têxteis, possibilidades essas típicas de unidades industriais que apresentam intenso consumo de vapor. Grande parte dos equipamentos têxteis que operam sob ação de banhos e soluções aquecidas são abertos à atmosfera, condição de operação que provoca perdas de energia significativas devido à evaporação superficial, e em menor proporção devido ao efeito combinado de transferência de calor por convecção e radiação ao ambiente. Um trabalho do IPT [1983] avaliou o potencial de 38% de economia de energia num jigger com aquecimento indireto a vapor após o recobrimento da superfície livre com esferas de isopor.

Em muitos casos o fornecimento de vapor aos diversos equipamentos se dá a pressões muito maiores do que as requeridas pelo processo, face à ausência ou mau funcionamento das válvulas redutoras de pressão, situação essa que implica em um mau aproveitamento do insumo energético.

Assim como nesse caso, a quantificação do potencial de conservação de energia associado ao processo de geração e distribuição de vapor é difícil de estabelecer, uma vez que as instalações têxteis são relativamente heterogêneas. Na tentativa de obter um quadro mínimo de caracterização do sub-setor sob este ponto de vista, recorreremos a alguns trabalhos correlatos realizados no exterior.

Uma pesquisa desenvolvida sobre a indústria têxtil americana pelo "Louisiana Department of Natural Resources" [1985], com avaliação de cerca de 500 caldeiras flamotubulares indus-

triais, estima em 5% o potencial de acréscimo na eficiência de geração de vapor, a partir de pequenos investimentos. Se considerarmos o fato de que não existe diferença marcante entre os geradores de vapor do parque têxtil nacional e os descritos no trabalho em questão, podemos encarar esse índice, para efeito de análise, como um bom parâmetro indicativo.

Na distribuição de vapor estão outros pontos que representam perdas energéticas na instalação, tais como vazamentos, ausência ou deterioração de isolamento térmico nas tubulações e acessórios, mau funcionamento de purgadores, não aproveitamento de vapor "flash", etc. Ainda que pesem as eventuais diversidades existentes entre nossas unidades industriais e a indústria Asiática, é interessante citar os resultados alcançados pela Bombay Textile Research Association, e descritos por Tarabadkar [1982], num programa de auditoria energética: o potencial de economia de energia em instalações têxteis é variável entre 5 e 10%, no caso específico de ações corretivas a custos moderados no sistema de distribuição de vapor.

5.7.4. Tendência comportamental em conservação e substituição

De 1976 a 1980 o consumo energético global da indústria têxtil brasileira apresentou tendência de crescimento, com variação percentual de 20,8 pontos em relação ao ano de 76. Esse comportamento sofreu reversão nos anos seguintes, registrando-se uma queda de 10,5% na demanda de energia no período 80-84, em relação àquela registrada em 1980 [Ministério das Minas e Energia, 1985].

A mesma análise quando feita para os principais insumos energéticos apresenta tendências bastante diversificadas, conforme pode ser observado no quadro a seguir.

O decréscimo marcante no consumo de óleos leves deve-se fundamentalmente às restrições impostas ao uso de óleo diesel em aplicações térmicas industriais a partir de 1982. Por outro lado, observa-se a pequena penetração da lenha no mercado têxtil dentro do horizonte de análise; com efeito, a participação percentual desse energético manteve-se praticamente inalterada (em torno de 7%) no período 74-84.

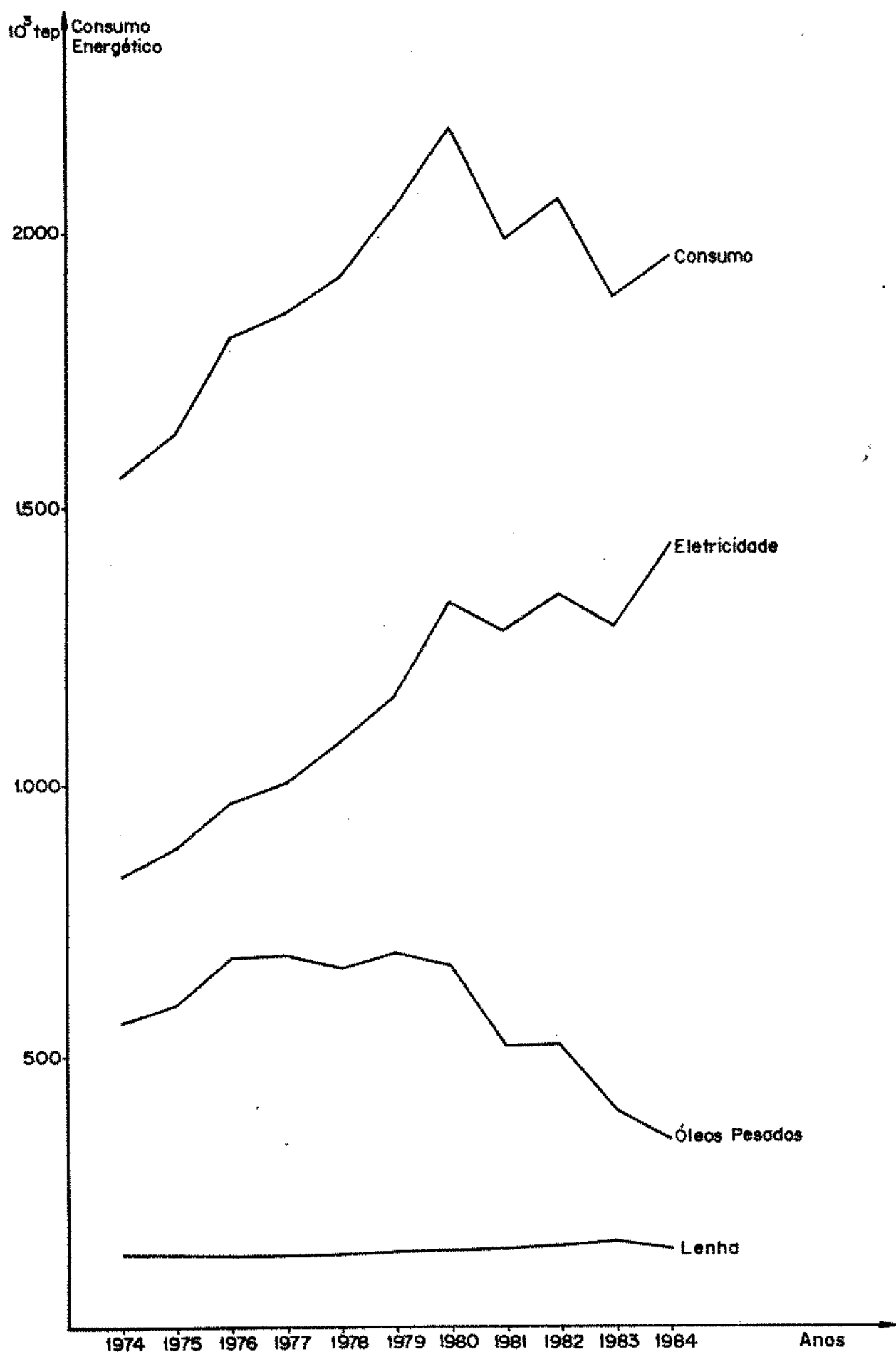


Figura:43-Consumo de Energia na Indústria Têxtil-Brasil
Fonte: Balanço Energético Nacional

TABELA 26

VARIAÇÃO PERCENTUAL DO CONSUMO ENERGÉTICO EM RELAÇÃO AO PRIMEIRO ANO DO PERÍODO

	76-80	80-84	76-84
Consumo global	20,76	-10,5	8,1
Cons. óleos pesados	-1,90	-48,0	-49,0
Cons. eletricidade	38,30	7,3	48,3
Cons. óleos leves	10,80	-39,0	-32,4
Cons. lenha	8,30	1,4	9,8

FONTE: Balanço Energético Nacional, 1985.

O entendimento do comportamento apresentado pelos óleos pesados e eletricidade, bem como pelo consumo global, exige o conhecimento de alguns parâmetros adicionais. Vejamos por exemplo alguns dados de consumo específico, calculados por Rousso [1984] a partir de informações do Balanço Energético e do Ministério da Indústria e Comércio. De uma forma geral esses valores são confirmados pelos dados de consumo específico global, para os anos de 1979 e 1980, levantados pela Pesquisa de Consumo de Energia, do CNP [1981] (1979: Rousso - 1,089 tep/ton, CNP - 1,067 tep/ton; 1980: Rousso - 1,105 tep/ton, CNP - 0,985 tep/ton), muito embora estejam distantes daqueles apresentados pelo IPT [1982] num estudo dedicado especialmente às indústrias em que destacam-se as etapas de beneficiamento, e portanto mais intensivas em energia (1,668 tep/ton em 1978, 1,509 tep/ton em 1979 e 1,410 tep/ton em 1980).

Os dados de Rousso apresentam uma tendência inicialmente crescente, e a seguir ligeiramente estável, para o consumo específico total até 1980. Como no mesmo período o consumo energético foi sempre crescente, supomos que o comportamento do consumo específico deve-se ao crescimento da produção do sub-setor às taxas próximas às verificadas no consumo de energia. Se nos permitirmos extrapolar a tendência da indústria paulista para todo o país, es-

sa hipótese é confirmada pelo que se verifica no Índice de Produção Física do SEADE, para o Estado de São Paulo (vide Figura 45).

Conforme pode-se observar na figura 44, a partir de 1980 a tendência do consumo específico global é notadamente decrescente. Uma análise menos cuidadosa pode atribuir tal comportamento exclusivamente a efeitos de medidas de conservação de energia estimuladas pelas políticas energéticas adotadas pelo governo após o segundo impacto da crise do petróleo.

Embora tal suposição não possa ser descartada, existem indícios de que não deve-se atribuir a ela importância demasiada. Em primeiro lugar porque os esforços de conservação no sub-setor foram bastante tímidos e também, e principalmente por isso, porque a partir de 1976 verificou-se uma diversificação da produção têxtil que passou a ser mais voltada à exportação de fios e tecidos semi ou não acabados [Rousso, 1984]. Assim, no geral, diminuiu a participação da etapa de beneficiamento resultando uma redução do consumo específico global. A evolução do consumo de óleos pesados analisada através de suas curvas de consumo físico e, principalmente, de consumo específico reforçam essa hipótese (vide Figura 43).

Deve-se ainda ressaltar que o comportamento do consumo global e dos dois principais energéticos (eletricidade e óleos pesados) na indústria têxtil refletem a combinação de diferentes efeitos, quais sejam: a redução do consumo de energia via adoção de medidas de conservação, a substituição entre insumos energéticos, alterações no perfil de produção e efeitos da recessão econômica. Dessa forma, a grosso modo, a tendência apresentada pela eletricidade é de acompanhamento da evolução do consumo total no setor, registrando-se ao longo do tempo participações no mercado cada vez maiores. A evolução dos óleos pesados é, em contrapartida, no sentido de ter sua importância cada vez mais reduzida.

Em que pese a dificuldade de se avaliar a importância sobre a demanda energética têxtil de cada um dos efeitos acima relacionados, analisaremos a seguir o comportamento da indústria têxtil paulista sob a ótica da conservação e substituição de energia.

Uma vez que a contribuição do parque têxtil de São Paulo é superior a 50% da indústria têxtil nacional, podemos considerar que as conclusões anteriormente tiradas valem também na análise do Estado. É preciso, no entanto, lembrar que as projeções de demanda realizadas nesse trabalho baseiam-se em dados das pesquisas anuais de grandes consumidores do CNP, não abrangendo portanto

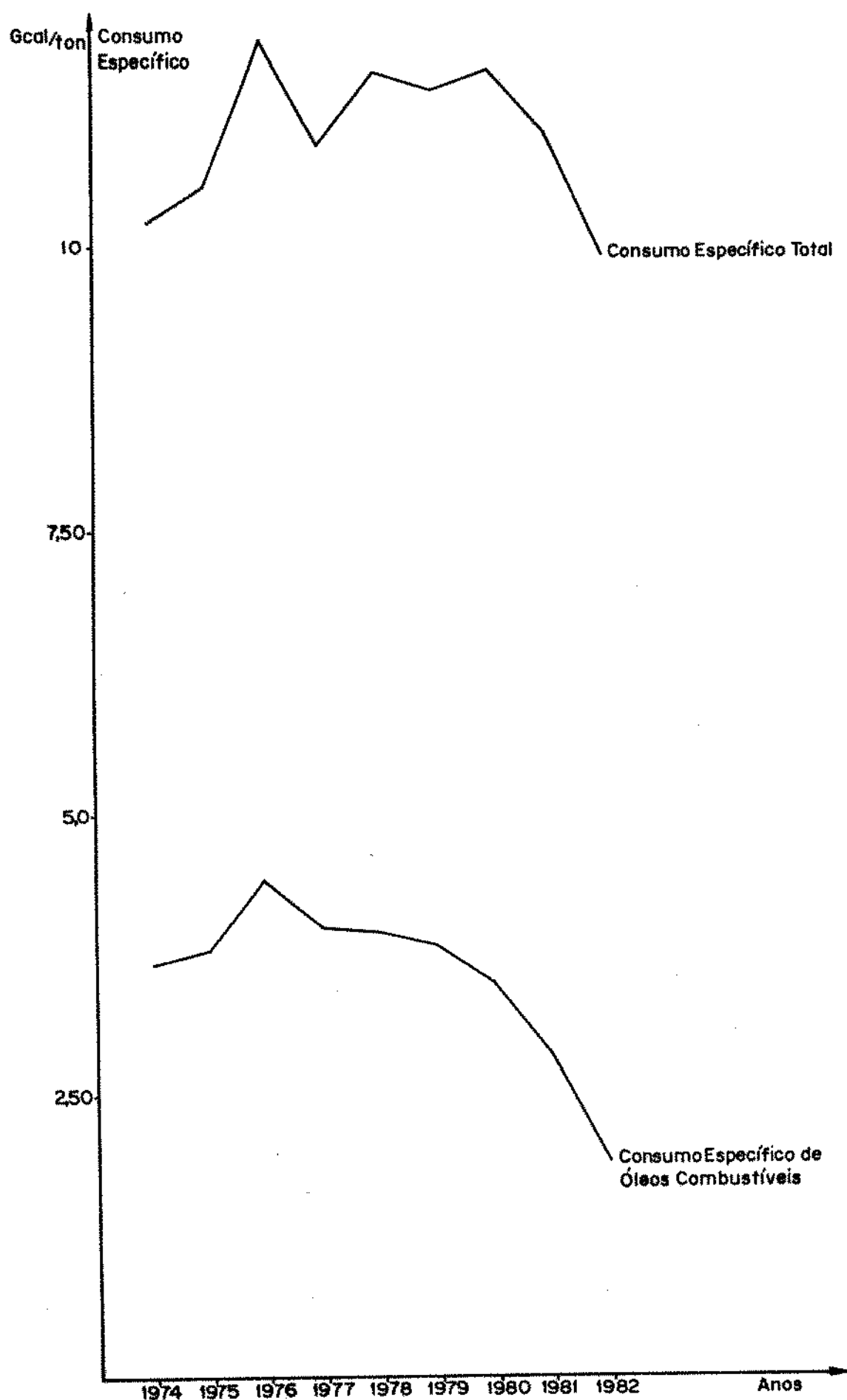


Figura:44-Consumo Específico de Energia na Indústria Têxtil
Fonte: Rouso (1984)

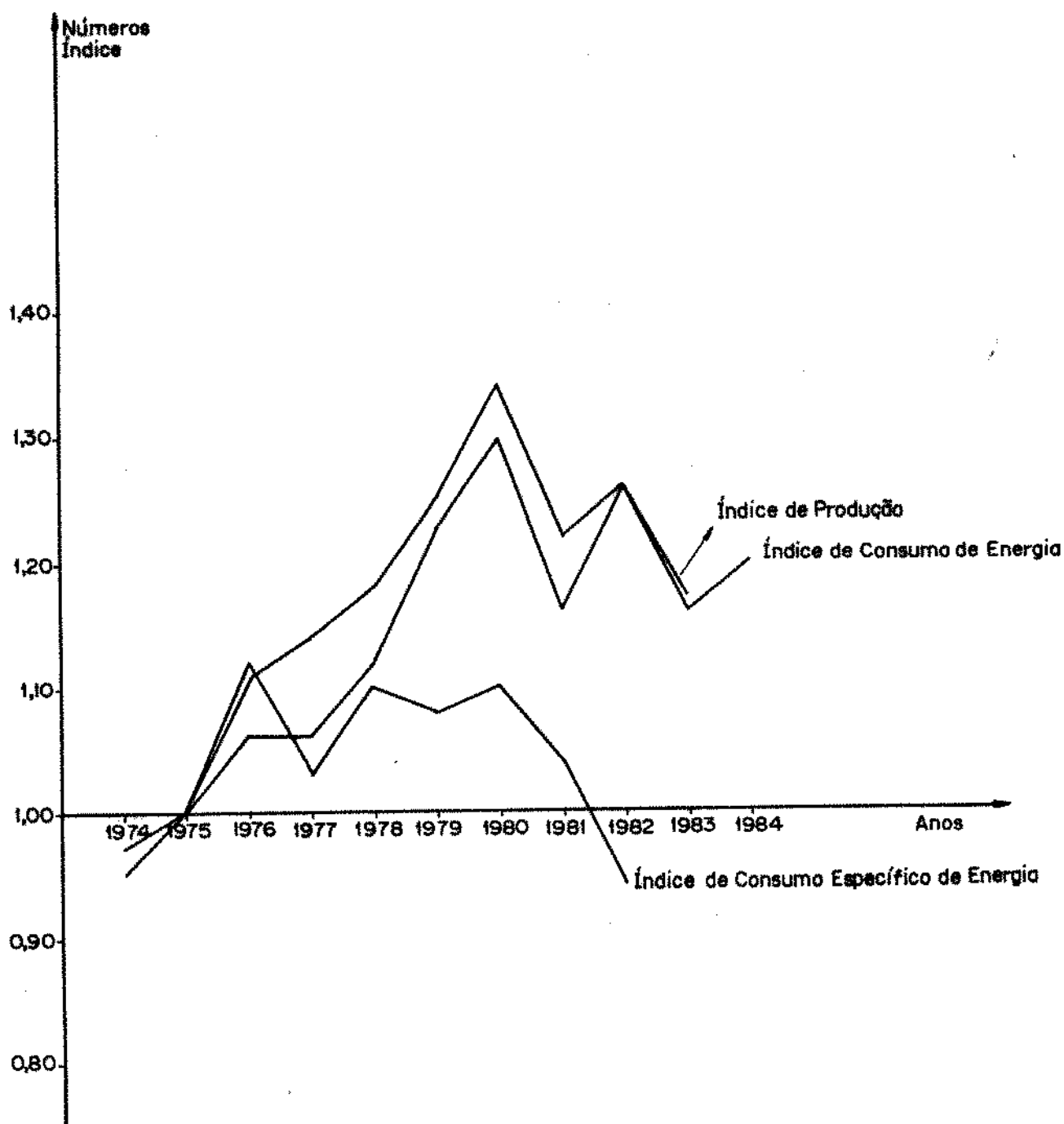


Figura:45-Números Índice para a Indústria Têxtil

Fonte: Índice Consumo de Energia-Balanco Energético Nacional, 1985

Índice de Consumo Específico de Energia-Rouso, 1984

Índice de Produção-Anuários Estatísticos do Estado de São Paulo, SEADE

todo o universo em análise, e dando destaque às indústrias com etapas de beneficiamento. Nessas condições, as parcelas de mercado dos principais energéticos obtidas a partir de dados do Balanço Energético Nacional, e que serviram de base para a análise até aqui desenvolvida, não equivalem às por nós trabalhadas no Capítulo 4.

Tendo por base relatórios de avaliação do programa CONSERVE, do IPT, e informações colhidas junto a organismos ligados à indústria têxtil, pode-se avaliar como esporádicos os esforços de conservação no sub-setor. À essa postura aparente de desinteresse do empresariado concorreram fatores tais como o desconhecimento da estrutura de custos de produção da própria empresa, a ignorância das perdas energéticas associadas ao processo produtivo e das oportunidades de economia ligadas às ações de conservação, e a desmotivação de investir na melhoria da indústria quando o mercado financeiro oferece alternativas mais vantajosas.

Se tomarmos como representativas do caso paulista as informações de 14 indústrias (apenas uma em São Paulo) atendidas pelo Conserve [CEAG, 1984], o custo de energia em relação ao faturamento situava-se em torno de 2%, enquanto o prazo médio de amortização do investimento para implantação de algumas medidas de conservação, e que possibilitariam a economia de 12,7% em aplicações energéticas unicamente térmicas, era de 26 meses. Obviamente esses parâmetros não representaram fatores de estímulo para um empresariado já previamente desinteressado.

Os relatórios que foram elaborados pelos técnicos do IPT em cinco indústrias têxteis do Estado comprovam as afirmações até aqui alinhadas: a implantação de medidas de conservação de energia só ocorreu em reduzido número de empresas, de forma geral em unidades de grande porte, sendo que não foi e não é prática comum a avaliação das economias alcançadas.

Quanto à substituição entre formas energéticas, as informações obtidas permitem-nos chegar à conclusões mais seguras. O primeiro ponto, já comentado, diz respeito à obrigatoriedade de redução ou simples eliminação do consumo de óleo diesel em aplicações térmicas. De acordo com uma pesquisa de consumo de energia, do CNP [1982], essa demanda devia-se basicamente à geração de vapor ou aquecimento de fluídos térmicos e operações de secagem. Até onde nos é possível avaliar, o deslocamento do mercado deu-se em direção aos óleos pesados, e, em casos esporádicos, para lenha ou

mesmo eletricidade.

Ao contrário do que se constatou a nível nacional, a penetração da lenha no mercado têxtil paulista foi significativa a partir de 1981, contrariando estudos que consideraram a participação desse energético como constante nos últimos dez anos [CEAG; 1984]. O indício mais evidente desse fenômeno são os dados da pesquisa efetuada pela Agência para Aplicação de Energia junto à indústrias do Estado [1984]. Na verdade, o potencial de substituição, basicamente de óleos pesados na geração de vapor, é maior para unidades mais afastadas dos grandes centros urbanos face à crescente dificuldade de acesso ao combustível e problemas na manipulação, principalmente associadas ao armazenamento e poluição ambiental. É razoável supor que só um programa bem estruturado de reflorestamento pode viabilizar uma maior penetração da lenha nesse mercado.

A questão toma outro aspecto quando a energia elétrica é analisada. O incentivo concedido pelo governo à eletrotermia via programas de substituição a baixo custo, entre os quais destaca-se a EGTD, teve boa receptividade junto à indústria têxtil. Basicamente o movimento de substituição ocorreu com a entrada da eletricidade em lugar dos óleos pesados em aplicações de geração de vapor e secagem. Na quase totalidade dos casos em que verificou-se tal fenômeno, as trocas de equipamentos foram feitas com período de amortização do investimento inferior a um ano, tão vantajosas eram as condições vigentes.

Finalmente, com relação nos demais energéticos, não existe qualquer indicação ou previsão, dentro do horizonte de planejamento, de incremento substancial em suas parcelas de mercado.

CAPÍTULO 6

PROJEÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA EM UM CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

6.1. Introdução

No quarto capítulo desse trabalho descreve-se a aplicação do modelo adotado na projeção da demanda energética industrial do Estado de São Paulo em um cenário considerado básico, em que imagina-se a retomada do crescimento econômico, sem que, no entanto, sejam levadas em conta alterações mais profundas da estrutura de consumo em função da adoção de medidas de conservação e/ou substituição de energia. É interessante deixar claro que, em tese, o modelo é capaz de captar apenas tendências de redução do consumo específico de energia induzidas pela elevação dos preços das formas energéticas consideradas em cada sub-setor industrial, bem como alterações da estrutura de consumo em função de mudanças relativas entre os preços desses energéticos.

A idéia básica na definição de um cenário alternativo é a de alterar as projeções realizadas de acordo com as premissas do cenário básico, em função de possíveis iniciativas, através de programas institucionais ou de iniciativas individuais de racionalização da demanda energética e/ou substituição entre energéticos.

Em primeiro lugar faz-se necessário o aprofundamento da questão conservação/substituição dentro do quadro de evolução da economia do país a nível geral. Quando da elaboração do cenário base, foi adotada a hipótese de crescimento do Produto Interno Bruto para o período 1986-1990 à taxas médias de 8,10% ao ano, admitindo taxas percentuais de crescimento anual dos investimentos ainda mais expressivas, com valor médio de 12,46%, no mesmo período. Para cada sub-setor industrial, conforme exposto anteriormente, foram tecidas considerações baseadas na análise de tendências passadas, de modo a que apresentassem comportamento ligeiramente diversificado entre si dentro do horizonte de planejamento.

No que tange à política de preços para os energéticos estabeleceu-se como tendência a retomada gradativa desses até a

recuperação do maior nível de preço real alcançado nos últimos anos. Deve ser mencionado que tal hipótese não configura propriamente uma situação de sobretaxação dos energéticos, visto que o preço atual não representa o custo real do produto e, no caso de alguns energéticos, mesmo os valores corrigidos provavelmente não o representariam.

Diante do exposto, tem-se no cenário básico a configuração de um quadro de retomada do crescimento dos níveis de produção, e, por consequência, crescimento do consumo de energia, sem que no entanto hajam pressões claras visando a economia de energia via utilização do instrumento preço.

A tendência de retomada do crescimento econômico no país, preconizada pelo BNDES e adotada nesse trabalho, é reforçada ainda mais em função do Plano de Estabilização Econômica adotado pelo Governo Federal em fevereiro de 1986. O quadro que se enxerga para os próximos anos, tomando como certo o sucesso do "Plano Cruzado", é aquele em que o setor industrial brasileiro será pressionado a aumentar a curto prazo sua capacidade de produção a fim de atender a demanda crescente por bens de uma maneira geral. Paralelamente a isso, é factível supor que o mercado interno tenda a se disciplinar, abrindo margem para que haja um movimento de melhoria da eficiência do parque industrial do país.

O Brasil, enquanto nação carente de infra-estrutura básica e com baixa capacidade de investir com dinheiro próprio poderá optar por uma política de racionalização de seus recursos, entre os quais, e com especial destaque, os energéticos. É dentro desse quadro que deverão ser definidas nos próximos anos as futuras iniciativas em conservação e substituição de energia, tendo de um lado a necessidade da nação racionalizar ao máximo a aplicação de recursos necessários à manutenção de um certo padrão de desenvolvimento, e do outro o interesse da classe empresarial em avançar na busca de uma maior eficiência para poder firmar-se no mercado.

Outro ponto de importância a ser destacado é o fato de que o Governo Brasileiro, na medida de suas possibilidades, deveria evitar ao máximo um aumento da dependência de petróleo importado, intensificando a produção nacional e a oferta de outros insumos energéticos. Técnicos do Conselho Nacional do Petróleo tem manifestado receio de que a retomada do desenvolvimento econômico dê-se as custas do aumento exagerado no consumo de derivados de petróleo. Nesse sentido, esse deverá ser um dos aspectos básicos das políticas ener

géticas a serem definidas para os próximos anos.

Finalmente, uma vez que o cenário alternativo será formulado a partir dos resultados alcançados quando da aplicação do modelo às considerações do cenário básico, faz-se necessária a avaliação das projeções da demanda de energia assim obtidas. Na tabela 26 são apresentadas as taxas de crescimento anuais do consumo de energia, para cada sub-setor industrial estudado, calculadas tomando por base as projeções da demanda energética no período de planejamento 1985-1990, e para efeito de comparação, os mesmos valores para o período 1976-1980, calculados com dados do Balanço Energético Nacional e da base de dados que alimentou o modelo de projeção. Deve-se mencionar que o crescimento médio do Produto Interno Bruto de 1976 a 1980 foi de 6,80%, enquanto a expectativa considerada para o período 1985-1990 é de 8,10%.

TABELA 26

TAXAS ANUAIS DE CRESCIMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA (%)

Sub-setor industrial	Balanço Energético 1976-1980	Base de Dados 1976-1980	Projeções 1985-1990
Metalurgia	10,18%	9,40%	9,11%
Alimentos e Bebidas	4,40%	6,72%	8,20%
Química	13,96%	3,05%	8,82%
Minerais Não-Metálicos	5,17%	8,55%	4,34%
Papel e Celulose	4,20%	4,72%	8,65%
Têxtil	4,83%	-1,29%	9,90%
Setor Industrial	8,36%	5,59%	8,56%

É importante notar que as taxas de crescimento previstas para o consumo energético são de uma forma geral coerentes com as hipóteses lançadas na construção do cenário básico. O crescimento da demanda de energia é pouco superior ao desempenho da economia

como um todo para os sub-setores Metalurgia e Química, enquanto os segmentos Alimentos e Bebidas e Papel e Celulose acompanham de maneira próxima a evolução econômica. Devem ser ressaltadas restrições quanto aos resultados da indústria Têxtil e de Minerais Não-Metálicos, a primeira por apresentar crescimento do consumo energético a níveis superiores ao dos outros sub-setores, quando não existe qualquer razão para supor que seu desempenho possa ser tão expressivo, e com relação à segunda, por efetivamente existir carência de investimentos na construção civil, situação que se imagina que poderá ser sanada, ou atenuada, nos próximos anos, acarretando demandas superiores às previstas pelos resultados da projeção.

Não serão feitas, no entanto, correções nas projeções de demanda energética em qualquer sub-setor, embora haja o reconhecimento de que os resultados obtidos não possam ser considerados plenamente consistentes. Tal opção baseia-se no fato de que tem-se como principal objetivo nesse trabalho a aplicação de uma metodologia de avaliação dos impactos de programas de conservação e substituição de energia sobre o perfil de consumo industrial; alterações puras e simples sobre as hipóteses levantadas no cenário básico, de maneira a adequar os resultados das projeções às expectativas, poderiam distorcer o procedimento almejado.

Análises mais detalhadas dos resultados das projeções de demanda energética, obtidas a partir das considerações do cenário básico serão feitas para cada sub-setor industrial no item seguinte.

6.2. Cenário de Conservação de Energia

A elaboração desse cenário tem como ponto de partida, como já explicado, as considerações e resultados do cenário básico, agregando, na medida do possível, às projeções de cada sub-setor industrial, fatores de correção que possam traduzir expectativas de conservação e/ou substituição para os anos de projeção.

Deve ser deixado claro que a inclusão desse cenário dentro do contexto em que foi desenvolvido esse trabalho reveste-se, antes de mais nada, do caráter de ser um exercício exploratório e um exemplo de aplicação da metodologia, do que propriamente um procedimento de ajuste das projeções em que se possa obter resultados plenamente confiáveis.

Uma análise detalhada que tivesse como objetivo determinar potenciais de economia de energia num dado sub-setor industrial e possibilidades reais de substituição entre insumos energéticos, deveria levar em conta uma série de diferentes fatores, tais como, obviamente, o estágio atual de utilização da energia nas instalações desse segmento e existência ou não de limitações ao consumo dos energéticos que atendem à demanda atualmente, além do conhecimento do grau de ociosidade, nos últimos anos, do parque industrial em análise, do nível de obsolescência dos principais equipamentos sob o ponto de vista de consumo energético, do estágio atual de tecnologias alternativas que possam possibilitar reduções de consumo específico ou emprego de formas energéticas até então não utilizadas, capacidade de investimento das empresas, nível de organização empresarial e grau de conscientização do empresariado.

Apesar de todas as limitações existentes, o que se traduz em última análise na exiguidade de informações, o procedimento a ser adotado em cada sub-setor será o de analisar, tão detalhadamente quanto possível, a influência de cada um dos fatores acima listados, definindo assim parâmetros de correção a serem aplicados às projeções de consumo energético. O cenário de conservação de energia será, dessa forma, constituído do conjunto de hipóteses levantadas para cada segmento industrial.

Além dos fatores anteriormente expostos, que servem de definição de um quadro amplo no qual deve-se inserir o cenário de conservação de energia, algumas outras considerações de importância devem ser feitas. São elas:

- no horizonte de planejamento não se considera factível o lançamento de programas institucionais nos moldes dos Protocolos de Conservação e Substituição de Energia;

- não haverá restrição à oferta de carvão mineral, em função de problemas de suprimento;

- os programas de incentivo à eletrotermia que porventura possam ser adotados não premiarão aplicações não prioritárias, como a geração de vapor. A substituição das cargas aplicadas em usos pouco nobres e tecnologicamente infundados deverão prosseguir a fim de aliviar o sistema elétrico;

- não ocorrerão alterações profundas, dentro do horizonte de planejamento, no quadro de suprimento de lenha e carvão ve

getal. É interessante fazer a ressalva de que o Conselho Estadual de Energia - SP, em seu Balanço Energético Estadual, versão 1984, prevê uma situação de escassez desses insumos face à falta de maiores investimentos em reflorestamentos no Estado. Diante do fato, preconiza-se a necessidade de uma política específica para essas formas energéticas, e o aprimoramento da tecnologia empregada, visando alcançar maior eficiência de utilização [São Paulo Energia, 1986] ;

- o Governo Federal não deverá exercer pressão explícita no sentido de se reduzir o consumo industrial de derivados de petróleo, a menos que haja absoluta necessidade de tomar tal atitude;

- deverão haver linhas de financiamento para conservação e substituição, atendendo empresários ou grupos empresariais, compatíveis com os investimentos a serem feitos.

6.2.1. Indústrias Metalúrgicas

A caracterização do processo produtivo e de como a energia nele se insere, bem como a definição da tendência comportamental desse sub-setor quanto à conservação e substituição, foram feitas a partir da separação das indústrias siderúrgicas das demais unidades metalúrgicas. Vimos que as primeiras, de uma forma geral, constituem um grupo de empresas de grande porte, bem organizadas em torno de organismos de classe, enquanto entre as outras indústrias metalúrgicas, embora existam também instalações de grande porte, prevalecem as pequenas e médias empresas.

A indústria siderúrgica, dada a relevância da energia dentro de sua estrutura de custo de produção, foi um dos primeiros segmentos, senão o primeiro, a trabalhar de maneira decidida tendo como objetivo a redução do consumo de energia. Embora os primeiros esforços datem de 1975, e os resultados mais significativos em termos de redução do consumo específico, segundo Rouso [1984], tenham sido alcançados até 1979, para o sucesso das políticas de conservação e substituição muito contribuiu o Protocolo assinado, em 1979, com o Governo Federal.

Também bastante expressivos foram os resultados alcançados na redução do consumo de óleos combustíveis nas indústrias si

derúrgicas, através da substituição por coque e carvão mineral e maior aproveitamento dos gases de processo. Souza [1985] avalia que o consumo específico desse energético foi reduzido em 65% no período 1979-1984.

Em contraposição ao relativo sucesso das medidas de conservação e substituição de energia nas siderurgias, nas demais metalúrgicas os resultados alcançados não foram expressivos, face à desorganização das indústrias, ao pequeno poder político de sua Associação, e à pouca significância desse segmento do ponto de vista do consumo energético.

Tanto as indústrias siderúrgicas quanto as indústrias de fundição deverão experimentar um período de produção crescente, se confirmadas as hipóteses de retomada do desenvolvimento econômico para os próximos anos.

Na tabela 27 são apresentados os resultados das projeções de consumo energético, obtidos da aplicação do modelo às considerações do cenário básico, na forma de taxas médias de crescimento anual.

TABELA 27

TAXAS DE CRESCIMENTO DAS PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA NO CENÁRIO
BÁSICO - METALURGIA

Consumo energético	9,11% a.a.
Óleos combustíveis	10,36% a.a.
Energia elétrica	4,66% a.a.
Carvão Mineral	9,16% a.a.
Energéticos residuais	11,00% a.a.

A alta taxa de crescimento para o consumo energético é coerente com a hipótese de alto ritmo de produção para o sub-setor. A demanda de carvão mineral segue de maneira bastante próxima os índices verificados para o consumo global, uma vez que admitiu-

-se que esse energético deveria ter sua parcela de mercado mantida constante ao longo do período de projeção.

As taxas de crescimento do consumo de energia elétrica a níveis inferiores aos dos demais energéticos devem-se à consideração que as cargas aplicadas em eletrotermia devam ser substituídas, processo que ocorre com deslocamento da demanda em direção aos óleos combustíveis e energéticos residuais, grupo em que se destacam o gás natural e o carvão vegetal. Isso explica porque os índices de crescimento da demanda desses energéticos são superiores ao do consumo de energia total.

Quando da análise da tendência comportamental quanto à conservação e substituição de energia na indústria metalúrgica, identificou-se que por parte das siderurgias não seria de se esperar reduções significativas do consumo específico, enquanto para as demais metalúrgicas, embora haja um grande potencial a ser explorado, as iniciativas são muito dependentes de pressões externas.

Considerando que o consumo específico das siderurgias tenha se mantido constante após 1982 (10,32 Gcal/ton, segundo Rousso [1984]), julgamos factível a recuperação do índice apresentado em 1980 (9,63 Gcal/ton) - o menor num período de dez anos. Tal hipótese, imaginada possível de ser alcançada até 1990, significa uma economia de 7,2% no consumo total energético em relação ao valor projetado para aquele ano.

Considerando que tal índice é relativamente modesto e pode facilmente ser alcançado no caso das indústrias de fundição sem a necessidade de grandes investimentos, por extensão, assume-se esse valor como o potencial de conservação esperado para a indústria Metalúrgica até 1990. Faz-se a ressalva, no entanto, de que essa economia deve incidir somente sobre o consumo de combustíveis.

Quanto às possibilidades de substituição de energia, em vista das considerações anteriores de que haverá condições para garantir o suprimento de carvão mineral e não haverá pressões extremas para redução do consumo de derivados de petróleo, considera-se viável a manutenção da estrutura de consumo determinada pelas projeções do cenário básico.

6.2.2. Indústrias de Alimentos e Bebidas

O sub-setor de Alimentos e Bebidas é um dos segmentos industriais em que mais se encontram estabelecimentos de pequeno e médio porte. Como comentado anteriormente, quando da análise desse sub-setor industrial, tal fato tem grande importância no consumo de energia, uma vez que são estabelecimentos, de uma maneira geral, com má estrutura organizacional, baixa capacidade de investimento, e corpo técnico pouco qualificado.

Quanto ao ritmo de produção, pode-se dizer que as indústrias alimentícias, justamente pelo fato de trabalharem com gêneros de primeira necessidade, não são muito susceptíveis, em relação aos demais segmentos industriais, ao desempenho da economia a nível mais geral. Deve-se ressaltar, no entanto, que num país com as características do Brasil, existe uma demanda fortemente reprimida por bens alimentares, o que se traduz em expectativas de necessidade de crescimento da produção à taxas elevadas, no caso de um processo econômico em que se aumente o poder aquisitivo da população.

O consumo energético nas indústrias de Alimentos e Bebidas está bastante condicionado à demanda de vapor no processo produtivo. De acordo com a análise feita anteriormente, as medidas potenciais de conservação de energia são em grande número associadas aos sistemas de geração, distribuição e utilização de vapor, e não constituem, da mesma forma que as medidas que podem ser citadas em associação aos demais equipamentos ou ao próprio processo produtivo, em alternativas que requeiram qualquer espécie de sofisticação tecnológica e/ou inversão de capital a níveis elevados.

A avaliação feita quanto à tendência comportamental do segmento de Alimentos e Bebidas em conservação e substituição de energia foi de que as poucas iniciativas tomadas devem ter ficado restritas às instalações de maior porte. Especificamente quanto à substituição entre formas de energia, verificou-se nos últimos anos forte penetração da energia elétrica em aplicações de eletrotermia, da lenha e de resíduos agrícolas, tais como cascas de sementes, além do bagaço de cana.

Na tabela 28 são apresentadas as taxas de crescimento previstas dentro do horizonte de planejamento para o consumo energético global, e para cada um dos principais insumos, dentro das hipóteses estabelecidas no cenário básico.

TABELA 28

TAXAS DE CRESCIMENTO DAS PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA NO CENÁRIO
BÁSICO - ALIMENTOS E BEBIDAS

Consumo energético	8,20% a.a.
Óleos combustíveis	9,12% a.a.
Energia elétrica	2,10% a.a.
Lenha	8,52% a.a.
Energéticos residuais	18,14% a.a.
Energéticos residuais excluindo o gás natural	9,50% a.a.

O crescimento da demanda de eletricidade à taxas bastante inferiores em relação à previsão de crescimento do consumo energético total deve-se ao fato de que no cenário base considera-se a substituição das cargas aplicadas em eletrotermia por óleos combustíveis ou outras formas energéticas.

A penetração do gás natural faz com que o crescimento projetado do consumo de formas energéticas classificadas como residuais seja bastante acentuado, atenuando em parte o crescimento da demanda de óleos combustíveis. No caso da lenha, lançou-se mão da hipótese de manutenção de sua parcela de participação no mercado.

Nesse cenário de conservação de energia é factível supor a possibilidade de redução do consumo específico via adoção de medidas de conservação relativamente simples e baratas nos sistemas de vapor e demais equipamentos, e através da racionalização das estruturas de produção. Essas medidas, dada a sua baixa complexidade, poderiam ser implantadas independentemente de programas governamentais específicos, dependendo muito mais da conscientização do empresariado.

O potencial de redução do consumo energético estimado é de 10% sobre a demanda de energia útil projetada para 1990. Imagina-se que essa economia incida apenas sobre o consumo de combustíveis.

Em adição, supõe-se válido imaginar a melhoria dos equipamentos que queimam lenha, elevando-se a eficiência de utilização de 53,1%, valor adotado na construção da base de dados, para 70%.

Dentro do espírito das considerações inicialmente formuladas, as únicas hipóteses que justificariam a alteração da estrutura de consumo seriam as associadas a restrições na oferta de óleos combustíveis e lenha, que no entanto preferimos descartar. Portanto, não se considera a possibilidade de substituição entre formas energéticas.

6.2.3. Indústrias Químicas

Espera-se que, assim como ocorreu no passado, o processo de retomada do desenvolvimento econômico que se prevê para os próximos anos também esteja fundamentado, entre outros pontos, na ampliação do parque químico nacional. Tal hipótese é evidenciada, no cenário básico, na adoção de taxas de crescimento dos investimentos no sub-setor químico, no período de projeção, superiores às previstas para a economia como um todo.

No quinto capítulo dessa tese, quando da análise da tendência comportamental da indústria Química em conservação e substituição de energia, identificou-se um processo contínuo de redução do consumo específico, notadamente a partir de 1979, com queda de 31,5 pontos percentuais nesse índice, desse ano até 1982 [Rousso, 1984].

Na mesma oportunidade esclareceu-se que o potencial de economia de energia no sub-setor, avaliado por especialistas do ramo em 30% em 1981, estava muito mais fundamentado, no caso das grandes indústrias, na oportunidade de se alterar as vias de produção, seja na adaptação das plantas ou até mesmo na instalação de novas unidades, do que propriamente na adoção de medidas clássicas de conservação de energia.

No que tange a esse segmento industrial, se a política de desenvolvimento a ser traçada e o nível de competitividade do mercado forem estabelecidos de maneira a que se cobre do empresário uma maior eficiência na produção, é factível esperar reduções significativas no consumo específico de energia nos próximos anos.

As taxas de crescimento do consumo de energia previstas, sob as hipóteses do cenário básico, para a indústria Química no horizonte de projeção de 1985 a 1990, estão apresentadas na tabela 29.

TABELA 29

TAXAS DE CRESCIMENTO DAS PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA NO CENÁRIO
BÁSICO - QUÍMICA

Consumo energético	8,82% a.a.
Óleos combustíveis	8,74% a.a.
Energia elétrica	7,09% a.a.
Gases	10,11% a.a.
Energéticos residuais	16,30% a.a.

Dentro dos resultados previstos deve-se destacar em primeiro lugar o crescimento do consumo energético na indústria Química à taxas relativamente expressivas, reflexo da adoção da hipótese de que esse segmento deva apresentar, até 1990, desempenho superior à média do setor industrial.

O crescimento da demanda de eletricidade, previsto à níveis inferiores ao do consumo total da energia, deve-se à consideração de substituição das cargas aplicadas em eletrotermia a partir de 1986. Essa substituição é suposta ocorrer em direção aos óleos combustíveis, muito embora as taxas de crescimento previstas para o consumo desse energético não sejam muito altas face à penetração posterior do gás natural na matriz energética.

Deve-se destacar que o consumo de Gases apresenta tendência acentuada de crescimento em vista de que no cenário básico imaginou-se maior uso dos combustíveis gasosos que se inserem nessa classificação, principalmente gás de refinaria.

Com relação aos combustíveis classificados como residuais, grupo no qual destacam-se o alcatrão, enxofre, nafta, carvão mineral, lenha e carvão vegetal, prevê-se a manutenção da par-

cela desses insumos no mercado, não admitindo-se restrições de oferta, nem maiores facilidades de consumo. O crescimento verificado na participação dos energéticos residuais deve-se à suposta penetração do gás natural na matriz energética.

Considera-se plausível imaginar um potencial de redução do consumo de energia de 12% sobre a demanda energética total projetada para 1990. Quanto às possibilidades de substituição, não se levará em conta qualquer alteração da estrutura de consumo, visto que, em primeiro lugar, não se imaginam restrições à oferta para qualquer energético, e em segundo lugar, porque nenhuma outra forma de energia deverá apresentar maiores atrativos ao empresariado do que os combustíveis gasosos (gás natural, principalmente).

6.2.4. Indústria de Minerais Não-Metálicos

Foi visto que esse sub-setor industrial consiste no conglomerado de unidades de produção de cimento, vidro, produtos cerâmicos e de outros bens de menor importância. Em linhas gerais, é um segmento industrial fortemente influenciado pelo ritmo de desenvolvimento da economia, na medida em que sua produção é extremamente dependente das demandas da construção civil e indústria automobilística.

Ao longo dos anos de recessão econômica é certo que toda a indústria de Minerais não-Metálicos deva ter operado com certa ociosidade. Não é possível, no entanto, avaliar se a capacidade instalada hoje é suficiente para atender às demandas crescentes do mercado nos próximos anos. A hipótese feita no cenário básico é a de que os níveis de investimento nos primeiros anos do período de planejamento devam ser inferiores à média da economia, equalizando-se a esse valor com o passar do tempo.

Nos três principais grupos industriais de minerais não-metálicos (cimento, vidro e cerâmica) o consumo de energia ocorre em grande parte em operações de queima e processamento de matéria-prima em fornos. Não se tem informação de quão obsoletos ou atuais esses equipamentos possam ser no presente, devendo-se ressaltar, no entanto, que muitos deles foram adaptados ou substituídos nos últimos anos para viabilização do uso de outras formas energéticas.

Quanto à estrutura das empresas do sub-setor pode-se afirmar que dificilmente qualquer unidade teria condições de viabilizar transformações de grande monta única exclusivamente com recursos próprios.

As indústrias de cimento, que são maiores, contam com mais recursos e melhor estrutura organizacional, foram as que mais trabalharam em conservação e substituição nos últimos anos, enquanto as pequenas unidades de produção de vidro e cerâmica, com menor organização e menos recursos, certamente foram as que menos fizeram.

As indústrias de cimento experimentaram uma redução bastante significativa no consumo de óleos combustíveis, basicamente em função da expressiva substituição desse energético por carvão mineral. No entanto, com relação ao consumo específico global das instalações, os resultados foram muito mais modestos; Rousso [1984] apresenta informações que atestam redução de apenas 3,0% entre 1979 e 1982.

Tal fato abre espaço para a suposição de que existe potencial de redução do consumo de energia nas instalações cimenteiras, principalmente associado à otimização do uso do carvão mineral nos fornos.

Nas indústrias de vidro, para as quais não se tem informações mais detalhadas da tendência quanto à conservação e substituição de energia nos últimos anos, acredita-se que haverá uma melhoria do consumo específico de energia associada ao incremento gradativo do ritmo de produção e consequente fuga da condição de operação com ociosidade.

Também é válido supor que as indústrias produtoras de artefatos de vidro, principalmente as de pequeno e médio porte, promovam alterações em suas instalações de maneira a propiciar economia de energia.

Para as indústrias cerâmicas deverá ser seguida a mesma tendência suposta para as de vidro, embora seja claro que as diferenças tecnológicas e na estrutura organizacional devam apresentar restrições à conservação de energia no primeiro segmento. As indústrias de maior porte não teriam grandes dificuldades para adotar técnicas de economia de energia, sendo que o mesmo não pode se afirmar com relação às unidades de menor porte, que quase não possuem corpo técnico qualificado.

Na tabela 30 resumem-se as taxas de crescimento projetadas para o consumo de energia total e para os principais ener

géticos sob as hipóteses do cenário básico, no período 1985-1990.

TABELA 30

TAXAS DE CRESCIMENTO DAS PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA NO CENÁRIO
BÁSICO - MINERAIS NÃO-METÁLICOS

Consumo energético	4,34% a.a.
Óleos combustíveis	-9,40% a.a.
Energia elétrica	0,38% a.a.
Carvão mineral	4,28% a.a.
Energéticos residuais	7,61% a.a.

A taxa decrescente que se verifica para o consumo de óleos combustíveis deve-se ao fato de que o crescimento da demanda nas indústrias de cimento e cerâmica não é suficiente para anular o decréscimo nas indústrias de vidro, onde se espera haver forte penetração do gás natural.

O deslocamento das cargas relativas à aplicações de eletrotermia, e em menor razão a penetração do gás natural, fazem com que o consumo de eletricidade ao fim do período de projeção seja praticamente estático. (É interessante notar que ao longo desse período verificam-se consumos superiores aquele esperado para 1990).

Já no caso do carvão mineral, a tendência é praticamente idêntica à do consumo total, sendo mantida, portanto, a parcela de mercado desse energético. Quanto aos energéticos residuais, uma vez que nessa classificação se insere a lenha e o gás natural, a tendência de crescimento é superior a do consumo global.

Do ponto de vista da conservação de energia, uma vez que as taxas médias anuais de crescimento já são baixas em rela-ção ao que poderia ser esperado dado o desempenho previsto da eco-nomia, para manter a coerência, deve-se estabelecer um pequeno per-centual de redução do consumo específico no período 1985-1990. Essa hipótese também é relativamente adequada em função do perfil

das empresas desse segmento. Considera-se, portanto, como provável a redução do consumo de energia em 5% em relação ao valor projetado para 1990.

Quanto à substituição de energia, acredita-se que a participação do carvão mineral nas indústrias de cimento e a futura penetração do gás natural nas indústrias de vidro não sejam passíveis de reversão. O único problema ficaria por conta da lenha nas cerâmicas, caso houvesse restrições à oferta, fato que não é possível explorar dada a agregação dos dados de consumo. Assim, não é feita qualquer consideração de alteração da estrutura de consumo definida pelas projeções.

6.2.5. Indústrias de Papel e Celulose

O sub-setor de Papel e Celulose foi um dos primeiros segmentos industriais a trabalhar organizadamente em conservação de energia, obtendo resultados expressivos na redução do consumo específico e na substituição dos óleos combustíveis derivados de petróleo.

A organização das indústrias do sub-setor se faz em torno da Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, um organismo de classe bastante atuante e desde há muito preocupado com as questões associadas ao consumo e suprimento energético, inclusive com elaboração de levantamentos estatísticos e acompanhamento dos índices de consumo específico de seus associados.

De acordo com informações de Rouso [1984], apresentadas no Capítulo 5, o consumo específico médio das indústrias de Papel e Celulose caiu em 41,6% de 1976 a 1980, passando, no entanto a ser crescente (23,7% em relação ao valor de 1980) desse ano até 1982. As indústrias do sub-setor promoveram maciça redução no consumo de óleos combustíveis, avaliada por Souza [1985] em 68% no período 1979-1984, quando índices bastante expressivos já haviam sido verificados de 1976 a 1979.

Ainda com relação às economias de energia alcançadas pelas empresas do sub-setor, é interessante notar que a implantação das medidas clássicas de conservação de energia já haviam sido bastante exploradas até os primeiros anos da década de 80, restando às indústrias oportunidades de ganho de eficiência através

de alterações na engenharia do processo e melhoria nas condições de uso da lenha e dos resíduos florestais, além, é óbvio, da manutenção das condições obtidas nas instalações quando da realização dos primeiros esforços em conservação.

A tendência de crescimento dos valores projetados da demanda de energia para a indústria de Papel e Celulose, no período 1985-1990, de acordo com as considerações do cenário básico, está apresentada na tabela 31.

TABELA 31

TAXAS DE CRESCIMENTO DAS PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA NO CENÁRIO
BÁSICO - PAPEL E CELULOSE

Consumo energético	8,65% a.a.
Óleos combustíveis	10,12% a.a.
Energia elétrica	5,08% a.a.
Lenha	8,43% a.a.
Energéticos residuais	12,16% a.a.

O ritmo de crescimento do consumo de energia nas indústrias de Papel e Celulose é coerente, na medida em que esse segmento deverá atender não só a demanda do mercado interno, como provavelmente deverá assumir papel de destaque dentro da pauta de exportações.

A elevação da demanda de energia elétrica a níveis inferiores ao do consumo energético deve-se ao fato que imagina-se a substituição das cargas elétricas alocadas em eletrotermia, com substituição por óleos combustíveis e energéticos residuais (principalmente resíduos florestais e cavacos de madeira).

A manutenção da parcela de mercado ocupada pela lenha ao longo do período de projeção deve-se à preocupação de que taxas de crescimento mais acentuadas para esse insumo poderiam levar a problemas de abastecimento.

Para o cenário alternativo de evolução da demanda e-

nergética nesse sub-setor considera-se factível a redução do consumo específico na medida em que forem destinados esforços à transformações da engenharia do processo produtivo, e ganhos de eficiência na queima de combustíveis tais como lenha e resíduos florestais. Acredita-se que o primeiro grupo de medidas pode propiciar redução de 5% sobre o consumo de combustíveis projetado para 1990, enquanto do segundo grupo teríamos redução da demanda de energia secundária associada à melhoria na eficiência de conversão da lenha, que passaria de 74,9% para 79,9%.

Quanto à substituição, mais uma vez não será feita qualquer alteração na estrutura de consumo por considerá-la adequada as hipóteses principais desse cenário.

6.2.6. Indústria Têxtil

Assim como acontece com as indústrias alimentícias, o sub-setor têxtil também se caracteriza pelo grande número de unidades de produção de pequeno e médio porte, e pela heterogeneidade das empresas quanto ao aspecto tecnológico e organizacional.

As indústrias têxteis também são susceptíveis às oscilações da economia a nível mais geral sofrendo sempre os impactos de retração do mercado interno, toda vez em que ocorre um processo econômico recessivo.

É interessante notar que, de uma forma geral, do ponto de vista do consumo energético, esse segmento industrial pode ter sua demanda de energia sob forte influência dos ditames da moda, uma vez que o tipo de tecido requerido pelo mercado, o nível de acabamento e as colorações, por exemplo, determinam maior ou menor necessidade de operações no processo produtivo que são intensivas em energia.

Ao analisar as curvas de consumo específico para a indústria têxtil, Rouso [1984] atribuiu às alterações do perfil do produto exigido pelo mercado a redução de 14,0 pontos percentuais nesse índice, verificada de 1980 a 1982.

Os esforços de conservação de energia na indústria têxtil foram, em linhas gerais, escassos e concentrados nos estabelecimentos de grande porte. Quanto à redução bastante acentuada que se verifica na curva de evolução do consumo de óleos combustíveis,

devem ser destacados quatro fatores: em primeiro lugar a própria recessão econômica que levou à redução do consumo energético; em segundo lugar o fato já comentado de menor solicitação por produtos beneficiados; um terceiro aspecto seria o processo de substituição que realmente existiu, com deslocamento da demanda de óleos combustíveis para eletricidade e lenha; e, finalmente, os reflexos dos diminutos esforços de conservação de energia.

Na tabela 32 são apresentadas as taxas anuais de crescimento do consumo energético na indústria têxtil, calculadas a partir das projeções de demanda do cenário básico.

TABELA 32

TAXAS DE CRESCIMENTO DAS PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA NO CENÁRIO
BÁSICO - TÊXTEL

Consumo energético	9,90%
Óleos combustíveis	13,37%
Energia elétrica	4,91%
Óleos leves	-0,87%
Energéticos residuais	21,30%

Uma primeira observação deve ser feita com relação à alta taxa de crescimento do consumo energético estabelecida pelas projeções para o período 1985-1990. Acredita-se, embora tenha sido feita a opção de mantê-la sem alterações, que esse valor é relativamente exagerado em comparação às previsões de desempenho da economia.

A retração do consumo de óleos leves deve-se à consideração de que a política de restrição ao uso de óleo diesel e que rosene em aplicações térmicas industriais deverá prosseguir dentro do horizonte de planejamento.

A baixa taxa de crescimento da demanda de eletricidade em relação à do consumo energético total deve-se à hipótese de substituição das cargas aplicadas em eletrotermia, principalmen-

te geração de vapor, com emprego de óleos combustíveis e lenha. Isso explica os altos valores registrados para o consumo de óleos e energéticos residuais (basicamente lenha e cavacos de madeira).

Acredita-se que seja viável considerar a redução do consumo de energia nas indústrias têxteis, através de esforços concentrados na melhoria dos sistemas de vapor e no melhor rendimento dos equipamentos em que ocorre queima de lenha. Como não é possível abordar explicitamente a demanda desse energético, consideraremos um potencial de economia de 10% sobre a demanda projetada de combustíveis para 1990.

Não será considerada a hipótese de alteração da estrutura de consumo, embora acredite-se que a taxa de crescimento do consumo de energéticos residuais, onde a lenha tem participação significativa, seja excessiva.

Os resultados das projeções alteradas para o sub-setor de Alimentos e Bebidas, levando-se em consideração a possibilidade de redução do consumo energético via adoção de medidas de conservação, são apresentadas na figura 46. As linhas tracejadas representam os resultados das projeções originais desse segmento industrial, obtidas a partir da adoção das hipóteses do cenário básico; as linhas cheias correspondem às projeções modificadas pela hipótese de redução do consumo energético em 10% do valor da demanda de combustíveis calculada para 1990.

Estabeleceu-se que a redução da demanda se iniciou em 1986 com economia equivalente a 2% do valor da demanda de combustíveis calculada para esse ano. A evolução desse efeito se deu com acréscimos uniformes, iguais a 2% ao ano, da energia conservada, até atingir os 10% previstos para 1990.

As projeções de energia útil do cenário de conservação de energia para os demais sub-setores industriais são apresentados graficamente nas figuras 57 a 61. Ainda no anexo B são apresentadas as estruturas de consumo de energia útil para todos os segmentos industriais considerados, para os anos de 1986 a 1990, obtidas a partir das hipóteses formuladas para o cenário de conservação.

Na tabela 33 apresenta-se um quadro comparativo das taxas de crescimento anuais das projeções de demanda de energia útil, segundo o cenário básico e o cenário de conservação, para todos os sub-setores industriais.

Para o segmento de Alimentos e Bebidas, as economias de energia secundária previstas para 1990, de acordo com as hipóte

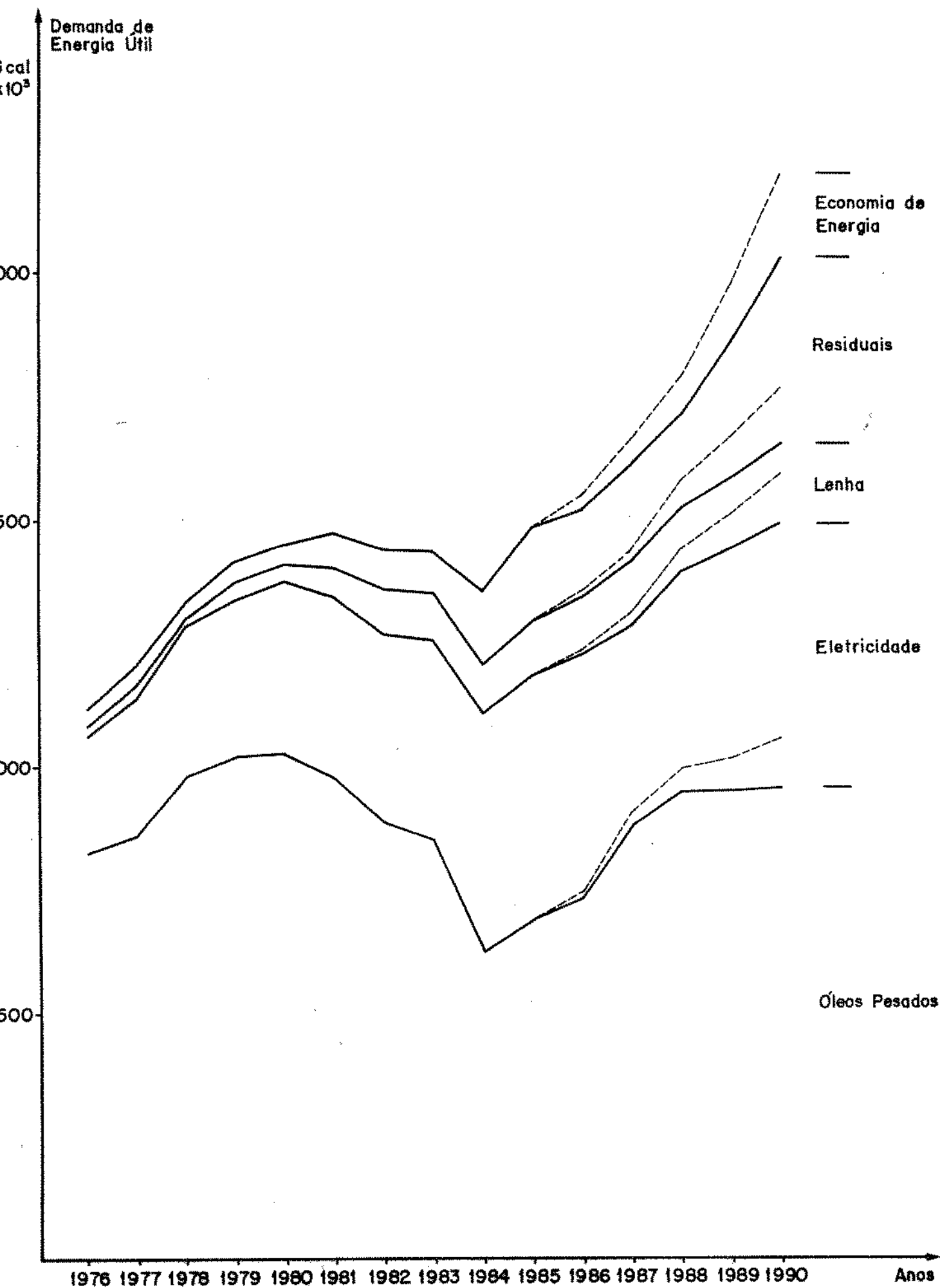


Figura-46-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos Considerada a Hipótese de Conservação - Alimentos e Bebidas.

TABELA 33
TAXAS DE CRESCIMENTO DAS PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA ÚTIL - CENÁRIO BÁSICO E DE CONSERVAÇÃO

Energético	Metalurgia		Alimentos e Bebidas		Química		Minerais não metálicos		Papel e Celulose		Têxtil
	cenário básico	cenário conservação	cenário básico	cenário conservação	cenário básico	cenário conservação	cenário básico	cenário conservação	cenário básico	cenário conservação	
Consumo energético	9,11%	7,98%	8,20%	6,98%	8,82%	6,52%	4,34%	3,45%	8,65%	7,95%	9,90%
Óleos Pesados	10,36%	9,00%	9,12%	7,47%	8,74%	6,44%	-9,40%	-10,15%	10,12%	9,16%	13,37%
Elettricidade	4,66%	4,66%	2,10%	2,10%	7,09%	4,84%	0,38%	-0,48%	5,08%	5,08%	4,91%
Carvão mineral	9,16%	7,81%					4,28%	3,39%			
Lenha			8,52%	6,88%					8,43%	7,50%	
Outros gases					10,11%	7,80%					
Óleos leves											-0,87%
Energéticos residuais	11,00%	13,84%	18,14%	16,34%	16,30%	13,86%	7,61%	19,33%	12,16%	11,22%	21,30%

ses formuladas no cenário de conservação, correspondem a 60.736 ton equivalentes de óleo combustível BPF e 508.421 m³st de lenha. Na tabela 34 apresenta-se a demanda projetada, em termos de energia secundária, para os três energéticos analisados explicitamente em cada sub-setor industrial.

Deve-se salientar que o consumo de óleos pesados está calculado, para todos os segmentos da indústria, em termos de equivalência com o óleo BPF, enquanto que para o carvão mineral, em Metalurgia, o consumo é tomado equivalente a coque metalúrgico, e para o mesmo energético, em Minerais não Metálicos, a equivalência é feita para o carvão 4.500. O consumo de Outros Gases é expresso em demanda equivalente de gás de refinaria.

As economias globais previstas para 1990 correspondem a 312.059 ton de óleo combustível, o que equivale a 9,19% da demanda calculada para o mesmo ano de acordo com as hipóteses do cenário básico. A redução no consumo de energia elétrica é estimada em 1.044.769 Mwh, correspondente a 3,52% do consumo previsto para essa amostra do setor industrial sem consideração de esforços de conservação. Para os sub-setores de Alimentos e Bebidas e Papel e Celulose, segmentos em que a demanda de lenha é analisada explicitamente, a economia prevista é de 825.900 m³st, ou 18,17% do consumo calculado para 1990.

DEMANDA DE ENERGIA SECUNDÁRIA - SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO - 1990

	Energéticos	Cenário Básico	Cenário Conservação
Metalurgia	Carvão Mineral (ton)	3.274.969	3.039.006
	Elettricidade (Mwh)	9.701.858	9.701.858
	Óleos Pesados (ton)	514.147	477.317
Alimentos e Bebidas	Óleos Pesados (ton)	693.522	632.786
	Elettricidade (Mwh)	3.692.828	3.692.828
	Lenha (m ³ st)	1.651.761	1.143.340
Química	Óleos Pesados (ton)	1.292.115	1.137.054
	Elettricidade (Mwh)	7.046.595	6.119.269
	Outros gases (1000m ³)	88.773	77.684
Minerais não Metálicos	Óleos Pesados (ton)	160.702	152.626
	Elettricidade (mwh)	2.350.892	2.233.449
	Carvão Mineral (ton)	898.784	853.736
Papel e Celulose	Óleos Pesados (ton)	445.744	423.407
	Elettricidade (Mwh)	2.965.242	2.965.242
	Lenha (m ³ st)	2.893.979	2.576.500
Têxtil	Óleos Pesados (ton)	288.935	259.916
	Elettricidade (Mwh)	3.944.460	3.944.460
	Óleos Leves (m ³)	1.739	1.675

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho constitui o desenvolvimento e a aplicação de uma metodologia de planejamento energético voltada à avaliação de impactos de programas de conservação e/ou substituição de energia no setor industrial do Estado de São Paulo.

Foram abordados de maneira explícita os seis principais sub-setores industriais, do ponto de vista do consumo energético. A cada um desses segmentos foi aplicado um modelo de base econométrica para projeção da demanda de energia, o que foi feito inicialmente de acordo com as hipóteses consideradas num cenário básico de evolução da conjuntura econômica até o ano de 1990.

Num segundo passo, cada sub-setor industrial foi detalhadamente estudado, dentro do limite de nossas possibilidades, quanto ao seu processo produtivo, de como a energia se insere na sequência de produção, quais são as medidas potenciais de conservação de energia e qual tem sido a tendência comportamental desse segmento quanto à adoção de medidas de economia de energia e substituição.

Essa análise serviu de subsídio para definição de um cenário alterantivo em relação aquele que havia sido considerado como básico, sendo que nele foram então levadas em conta possibilidades de redução do consumo específico ou alternativas de substituição entre insumos energéticos. Os impactos dessas medidas sobre a demanda de energia projetada em cada sub-setor foram finalmente analisados.

Houveram uma série de dificuldades ao longo da execução desse trabalho que acabaram por estabelecer limitações ao mesmo. A primeira delas está no próprio modelo de projeção de demanda de energia empregado, que é puramente de base econométrica, quando o ideal seria se dispor de um modelo misto: econométrico - uso final. Essa limitação foi imposta pela não disponibilidade de séries históricas de consumo energético para o setor industrial, desagregadas por classes de uso, o que fez com que não se tivesse um instrumento adequado para aprofundamento do estudo da correlação entre eficiências de conversão em certos usos e a demanda de energia.

Essa restrição está sendo superada na medida em que um novo banco de dados está sendo construído, com incorporação da desagregação das informações de consumo de energia por uso. Acredita-se que num curto espaço de tempo o modelo de base econométrica original possa ser transformado em um modelo misto.

Outro ponto ainda associado a implementação do modelo, e que deve ser destacado, é a necessidade de aprofundamento na análise estatística e/ou incorporação de novas técnicas ao procedimento adotado, de maneira a que possa haver maior consistência nos resultados da projeção. Esse também deverá ser um passo a ser dado a curto prazo.

Discutidas as limitações ao procedimento de projeção, vejamos agora as dificuldades associadas à construção de cenários de evolução da atividade econômica. Em um estudo do gênero, que se decidisse fazer com maior profundidade, seria necessário que os recursos da técnica de cenários fossem explorados de maneira menos simplista, ao contrário do que foi feito nesse trabalho. Ocorre que dentro do proposto para essa tese, acreditamos que não caberia um maior aprofundamento desse ponto, mesmo porque as limitações intrínsecas ao desenvolvimento do trabalho (dificuldade de acesso à informações e falta de recursos para promover discussões mais amplas, por exemplo), tornariam tal objetivo, se fosse esse o caso, bastante difícil.

A mesma crítica deve ser feita à análise das características dos processos produtivos e das possibilidades futuras de conservação e substituição de energia, que são utilizadas, dentro da metodologia, na configuração de um cenário alternativo de evolução da demanda energética. O ideal seria a realização de levantamentos junto à diversas empresas de cada sub-setor, e o estabelecimento de contatos mais estreitos junto à especialistas e associações industriais, como forma de estabelecer um quadro mais preciso da realidade e do que dela se espera para o período de planejamento.

É preciso destacar que, dentro das condições de contorno impostas à realização desse trabalho, as iniciativas acima descritas foram tomadas e constituíram-se em importantes contribuições para o mesmo. Não foi possível, no entanto, que se avançasse na questão da substituição entre formas energéticas, por exemplo, a menos do caso do gás natural, por absoluta falta de informações.

Como contribuições desse trabalho é importante mencionar, em primeiro lugar, o estabelecimento e exemplificação de uma

metodologia de planejamento em que são considerados os aspectos de conservação e substituição, o que é uma necessidade, dadas as características do mercado energético nos últimos anos.

Também acreditamos que se constitua numa contribuição importante a implementação de um novo modelo de projeção da demanda energética, em especial para o setor industrial. Para que isso se tornasse factível, foi necessário um grande esforço na construção de um banco de dados de consumo de energia, o que por si só, face à precariedade organizacional das informações do gênero no Brasil, já é relevante.

Ainda que as projeções obtidas nesse trabalho não possam ser consideradas como completamente satisfatórias, é importante destacar que essas, em si, se constituem em uma contribuição de valor, inclusive como base de comparação para estudos similares que venham a ser realizados no futuro.

Quanto às políticas energéticas e programas de conservação e substituição de energia, algumas observações devem ser feitas. Em primeiro lugar, é interessante observar que resultados efetivos em conservação de energia só podem ser alcançados através de esforços sistemáticos e contínuos, e não através de programas e medidas ocasionais como até agora foi prática no Brasil. A racionalização do uso da energia depende antes de mais nada da conscientização dos consumidores, e não pode, portanto, ser estabelecida pura e simplesmente através de decretos.

A prática da conservação de energia deve abrangar, em igualdade de condições, todo e qualquer insumo energético, de maneira a que não se tenham processos de racionalização energética voltados exclusivamente a uma forma de energia. É interessante destacar que em nosso país houve até hoje, face às distorções provocadas pelas políticas energéticas, um esforço concentrado na economia de derivados de petróleo, mas nada, ou quase nada foi feito quanto às demais formas de energia.

É necessário que o planejamento energético esteja voltado à diversificação de insumos de energia no atendimento da matriz de consumo, sendo igualmente importante a descentralização na oferta, através, por exemplo, do estímulo ao pequeno produtor de lenha e carvão vegetal, às pequenas centrais hidrelétricas e à cogeração.

Além disso, é fundamental que as políticas de estímulo ao uso de certas formas de energia se pautem, também, por critérios de racionalidade energética, a fim de que não se verifiquem no futu

ro situações absurdas tais como o estímulo ao uso de energia elétrica em geração de vapor.

As políticas de conservação e substituição de energia devem ser definidas no sentido de que a sociedade se paute pela racionalização de seus recursos e pela preservação do meio ambiente. A conservação de energia, entendida em seu sentido mais amplo, é o objetivo, mas também pode, e deve, ser um dos meios para definição de um modelo de desenvolvimento próprio, coerente com as características de nosso país, e com os anseios do povo.

ANEXO A

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO

292

1976

	CEFL	CESP	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metallurgia					
Carvão Mineral	3,18%	85,09%	61,34%		59,69%
Elettricidade	48,17%		14,55%		15,71%
Óleos Pesados	24,08%	11,90%	17,36%		17,48%
Residuais	24,57%	3,01%	6,75%		7,12%
Consumo energético (Gcal útil)	255.309	71.293	11.347.258		11.673.860
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	69,32%	82,19%	74,13%	73,06%	73,82%
Elettricidade	23,69%	15,37%	20,54%	21,79%	20,80%
Lenha	4,72%	1,10%		3,22%	2,06%
Residuais	2,27%	1,34%	5,33	1,93	3,32%
Consumo energético (Gcal útil)	1.938.220	994.245	2.256.621	389.596	5.578.682
Química					
Óleos Pesados	82,17%	73,51%	59,01%		61,60%
Elettricidade	13,27%	15,76%	18,19%		17,65%
Outros Gases			17,69%		15,63%
Residuais	4,56%	10,73%	5,11%		5,12%
Consumo energético (Gcal útil)	1.332.570	161.109	11.336.763		12.830.442
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	71,61%	74,28%	81,58%	62,36%	78,84%
Elettricidade	19,52%	20,79%	17,16%	21,21%	18,28%
Carvão mineral					
Residuais	8,87%	4,93%	1,26%	16,43%	2,88%
Consumo energético (Gcal útil)	238.830	1.165.385	3.141.171	96.262	4.641.648
Papel e Celulose					
Óleos pesados	83,00%	87,58%	82,38%		83,81%
Elettricidade	13,41%	12,23%	17,25%		15,38%
Lenha	2,02%	0,07%	0,06%		0,36%
Residuais	1,57%	0,12%	0,31%		0,45%
Consumo energético (Gcal útil)	867.659	1.477.004	3.403.466		5.748.129
Têxtil					
Óleos Pesados	52,16%	57,40%	68,56%	57,29%	65,60%
Elettricidade	36,96%	38,35%	28,07%	42,71%	29,95%
Óleos Leves	3,15%	4,20%	2,20%		2,40%
Residuais	7,73%	0,05%	1,17%		2,05%
Consumo energético (Gcal útil)	728.887	211.477	4.059.955	56.444	5.056.763

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1977

	CPFL	CESP	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	3,79%		68,29%		66,76%
Elettricidade	49,43%	83,57%	12,07%		13,13%
Óleos Pesados	21,40%	12,52%	12,95%		13,10%
Residuais	25,38%	3,91	6,69%		7,01%
Consumo energético (Gcal útil)	261.008	81.476	14.304.780		14.647.264
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	68,93%	77,63%	70,60%	69,12%	70,97%
Elettricidade	24,15%	19,52%	24,47%	23,55%	23,52%
Lenha	4,79%	1,23%		5,61%	2,35%
Residuais	2,13%	1,62%	4,93%	1,72%	3,16%
Consumo energético (Gcal útil)	2.221.477	934.707	2.467.733	429.059	6.052.976
Química					
Óleos Pesados	83,17%	70,69%	58,29%		61,54%
Elettricidade	11,95%	17,25%	17,92%		17,17%
Outros gases			20,06%		17,32%
Residuais	4,88%	12,06%	3,73%		3,97%
Consumo energético (Gcal útil)	1.720.152	166.802	11.924.324		13.811.278
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	71,04%	72,56%	73,14%	62,03%	72,71%
Elettricidade	19,45%	22,20%	17,17	22,06%	18,53%
Carvão mineral					
Residuais	9,51%	5,24%	9,69%	15,91%	8,76%
Consumo energético (Gcal útil)	254.652	1.245.337	3.801.808	98.356	5.400.153
Papel e Celulose					
Óleos pesados	82,38%	86,30%	83,12%		83,89%
Elettricidade	13,73%	13,53%	16,32%		15,21%
Lenha	2,28%	0,04%	0,14%		0,41%
Residuais	1,61%	0,13%	0,42%		0,49%
Consumo energético (Gcal útil)	869.729	1.747.577	3.768.547		6.385.853
Têxtil					
Óleos Pesados	51,49%	61,55%	68,83%	66,57%	65,87%
Elettricidade	37,85%	37,30%	27,89%	33,06%	29,84%
Óleos Leves	2,75%	1,04%	1,71%	0,37%	1,83%
Residuais	7,91%	0,11%	1,57%		2,46%
Consumo energético (Gcal útil)	767.970	195.119	3.990.604	47.503	5.001.196

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO

1978

	CPFL	CESP	ELETROPÁULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metallurgia					
Carvão Mineral	3,49%		65,05%		63,45%
Elettricidade	51,54%	76,46%	12,11%		13,28%
Óleos Pesados	28,26%	11,76%	16,15%		16,34%
Residuais	16,71%	11,78%	6,69%		6,93%
Consumo energético (Gcal útil)	286.017	102.727	14.865.480		15.254.224
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	70,68%	81,54%	70,12%	69,78%	72,48%
Elettricidade	24,27%	16,00%	25,32%	25,65%	23,18%
Lenha	2,74%	1,02%		2,84%	1,38%
Residuais	2,31%	1,44%	4,56%	1,73%	2,96%
Consumo energético (Gcal útil)	2.434.836	1.290.300	2.561.469	452.878	6.739.483
Química					
Óleos Pesados	85,90%	67,21%	58,59%		62,18%
Elettricidade	11,85%	22,20%	17,41%		15,66%
Outros gases			21,28%		16,96%
Residuais	2,25%	10,59%	2,72%		5,20%
Consumo energético (Gcal útil)	1.913.741	181.299	12.868.813		14.963.853
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	72,83%	70,47%	70,12%	64,27%	70,21%
Elettricidade	19,76%	24,23%	20,12%	20,70%	21,05%
Carvão mineral			0,04%		0,03%
Residuais	7,41%	5,30%	9,72%	15,03%	8,71%
Consumo energético (Gcal útil)	267.642	1.330.542	4.155.989	111.923	5.866.096
Papel e Celulose					
Óleos pesados	83,16%	85,38%	83,25%		83,86%
Elettricidade	13,86%	14,47%	15,97%		15,24%
Lenha	1,83%	0,01%	0,30%		0,43%
Residuais	1,15%	0,14%	0,48%		0,47%
Consumo energético (Gcal útil)	935.644	1.969.332	3.831.419		6.736.395
Têxtil					
Óleos Pesados	52,75%	62,27%	71,08%	61,78%	67,78%
Elettricidade	38,54%	36,67%	26,14%	37,53%	28,43%
Óleos Leves	2,16%	1,03%	1,50%	0,69%	1,59%
Residuais	6,55%	0,03%	1,28%		2,20%
Consumo energético (Gcal útil)	861.730	227.056	4.395.268	51.900	5.535.954

TABELA 38

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1979

	CEPL	CESP	ETROPOLULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	3,72%	82,23%	59,42%		58,19%
Elettricidade	55,58%	11,76%	13,70%		14,32%
Óleos Pesados	29,08%	5,28%	17,03%		14,72%
Residuais	11,62%		9,85%		9,87%
Consumo energético (Gcal útil)	274.520	66.225	15.359.106		15.699.851
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	72,57%	81,80%	66,61%	66,74%	71,76%
Elettricidade	21,28%	16,47%	27,97%	26,25%	21,65%
Lenha	5,00%	0,82%	0,02%	4,19%	2,37%
Residuais	1,15%	0,91%	5,40%	2,82%	4,22%
Consumo energético (Gcal útil)	2.752.079	1.319.042	2.549.022	474.565	7.094.708
Química					
Óleos Pesados	87,82%	54,00%	58,29%		62,57%
Elettricidade	10,82%	39,39%	18,37%		17,64%
Outros gases			18,36%		15,32%
Residuais	1,36%	6,61%	4,98%		4,47%
Consumo energético (Gcal útil)	2.068.335	255.519	11.680.695		14.004.549
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	71,71%	68,33%	72,26%	66,07%	71,15%
Elettricidade	25,87%	20,07%	20,64%	25,97%	22,29%
Carvão mineral	0,12%	2,05%	0,73%		1,03%
Residuais	2,30%	9,55%	6,37%	7,96%	5,53%
Consumo energético (Gcal útil)	226.108	1.577.879	4.322.593	100.300	6.226.880
Papel e Celulose					
Óleos pesados	80,89%	81,54%	81,80%		81,61%
Elettricidade	15,12%	17,56%	17,24%		17,05%
Lenha	2,66%	0,90%	0,48%		0,88%
Residuais	1,33%		0,48%		0,46%
Consumo energético (Gcal útil)	877.796	1.834.606	3.942.857		6.655.259
Têxtil					
Óleos Pesados	57,87%	57,11%	63,89%	52,95%	62,36%
Elettricidade	39,20%	42,39%	33,90%	47,05%	35,39%
Óleos Leves	0,67%	0,46%	0,73%		0,70%
Residuais	2,26%	0,04%	1,48%		1,55%
Consumo energético (Gcal útil)	897.107	206.678	3.654.093	50.139	4.808.017

TABELA 39

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1980

	CPFL	CESE	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metallurgia					
Carvão Mineral	5,51%		59,02%		57,75%
Elettricidade	55,00%	85,64%	14,06%		15,17%
Óleos Pesados	29,34%	10,38%	16,03%		15,87%
Residuais	10,15%	3,98%	10,89%		11,21%
Consumo energético (Gcal útil)	302.226	86.352	16.332.469		16.721.047
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	73,59%	79,60%	63,92%	65,01%	70,76%
Elettricidade	21,02%	17,97%	31,21%	25,66%	25,44%
Lenha	4,32%	1,70%	0,36%	6,21%	2,58%
Residuais	1,07%	0,73%	4,51%	3,12%	1,22%
Consumo energético (Gcal útil)	2.807.093	1.391.916	2.516.053	522.392	7.237.454
Química					
Óleos Pesados	86,89%	55,05%	56,71%		61,14%
Elettricidade	11,25%	39,20%	18,35%		17,71%
Outros gases			20,70%		17,22%
Residuais	1,86%	5,75%	4,24%		3,93%
Consumo energético (Gcal útil)	2.138.883	288.297	12.041.664		14.468.844
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	71,64%	59,39%	69,15%	62,44%	67,44%
Elettricidade	25,55%	30,54%	21,93%	28,83%	24,94%
Carvão mineral	0,75%	6,60%	2,93%		3,88%
Residuais	2,06%	3,47%	5,99%	8,73%	3,74%
Consumo energético (Gcal útil)	246.657	1.789.575	4.312.804	96.402	6.349.036
Papel e Celulose					
Óleos pesados	78,20%	78,78%	80,64%		79,80%
Elettricidade	15,98%	19,33%	17,92%		18,06%
Lenha	4,26%	1,89%	0,85%		1,59%
Residuais	1,56%		0,59%		0,55%
Consumo energético (Gcal útil)	908.040	1.937.254	4.068.504		6.913.798
Têxtil					
Óleos Pesados	54,61%	54,49%	62,44%	48,00%	60,46%
Elettricidade	43,26%	41,12%	34,97%	52,00%	37,18%
Óleos Leves	0,37%	0,27%	0,74%		0,64%
Residuais	1,76%	0,12%	1,85%		1,72%
Consumo energético (Gcal útil)	865.799	240.749	3.636.602	58.390	4.801.540

TABELA 40

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1981

	CPFL	CESP	ELETRIPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Naturalgás					
Carvão Mineral	4,12%		64,99%		63,35%
Elettricidade	59,37%	82,91%	14,58%		15,91%
Óleos Pesados	29,41%	12,54%	12,77%		13,11%
Residuais	7,10%	4,55%	7,66%		7,63%
Consumo energético (Gcal útil)	316.252	91.585	14.938.695		15.346.532
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	66,77%	75,53%	60,43%	65,51%	66,12%
Elettricidade	22,40%	18,83%	31,75%	22,85%	24,94%
Lenha	8,07%	1,93%	0,71%	8,22%	4,49%
Residuais	2,76%	3,71%	7,11%	3,42%	4,45%
Consumo energético (Gcal útil)	2.966.932	1.335.818	2.486.403	594.543	7.383.696
Química					
Óleos Pesados	86,42%	35,04%	57,57%		61,11%
Elettricidade	8,23%	37,83%	20,03%		18,72%
Outros gases			16,52%		13,81%
Residuais	5,35%	27,13%	5,88%		6,36%
Consumo energético (Gcal útil)	1.872.473	310.760	11.106.098		13.289.331
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	50,99%	54,54%	63,99%	58,44%	60,99%
Elettricidade	36,20%	29,05%	21,02%	32,51%	23,79%
Carvão mineral	1,19%	10,42%	4,65%		6,06%
Residuais	11,62%	5,99%	10,34%	9,05%	9,16%
Consumo energético (Gcal útil)	172.089	1.757.447	4.417.051	94.736	6.441.323
Papel e Celulose					
Óleos pesados	66,72%	68,35%	77,78%		73,71%
Elettricidade	23,52%	22,39%	20,20%		21,22%
Lenha	9,31%	9,01%	1,16%		4,43%
Residuais	0,45%	0,25%	0,86%		0,64%
Consumo energético (Gcal útil)	648.728	1.764.054	3.436.510		5.849.292
Têxtil					
Óleos Pesados	50,92%	33,92%	62,24%	49,07%	58,70%
Elettricidade	47,62%	60,47%	34,83%	50,93%	38,61%
Óleos Leves	1,01%	0,68%	0,88%		0,89%
Residuais	0,45%	4,93%	2,05%		1,8%
Consumo energético (Gcal útil)	879.029	169.575	3.272.516	58.426	4.379.546

TABELA 41

298

EFICIÊNCIA MÉDIA DE UTILIZAÇÃO DE DIVERSAS FORMAS DE ENERGIA NA INDÚSTRIA

	Gás natural	Carvão vapor	Lenha	Óleo diesel	Óleos combustíveis	GLP	Querosene	Gás	Coque	Eletricidade	Carvão vegetal	Bagago cana
Cimento	37,0	37,0		35,3	38,3					87,5	37,0	
Ferro gusa e aço	45,0	76,5		40,2	48,1	43,8	44,8	45,0	85,0	50,4	85,0	
Ferro-ligas		25,0							25,0	52,8	25,0	
Mineração/Pelotização		83,5		35,0	25,5	46,7				63,0	20,0	
Não-ferrosos e outros			44,0		34,0				86,7	58,9	10,0	
Química	60,0	47,7	46,6	64,1	84,7	61,1	61,4			85,1		
Alimentos e Bebidas		53,1	53,1	38,6	73,1	26,7	27,8	26,9		85,3		50,0
Têxtil		49,0	60,0	52,5	79,6	75,0	47,5	90,0		86,2		
Papel e Celulose	88,0	75,0	74,9	38,7	81,4	30,0	87,5	40,0		87,8		
Cerâmica	30,0	26,7	26,9	34,3	30,9	30,0	30,0	30,0		77,7		
Outros		60,0	32,7	31,5	41,1	25,4	25,6	25,1	15,0	78,5		
Sector Industrial	56,8	44,0	46,0	43,8	59,0	41,6	36,8	42,9	83,2	72,9	71,7	50,00

FONTE: FDTE

Energético	Unidade	Fator de Conversão p/ Gcal
Eletricidade	Mwh	0,86
Lenha	m ³ st	0,96
Bagaço de cana	ton	2,30
Serragem de madeira	ton	2,50
Cavacos de madeira	ton	2,50
Nó de pinho	ton	4,00
Casca semente algodão	ton	2,80
Casca semente amendoim	ton	3,20
Casca coco babaçu	ton	4,50
Torta óleo algodão	ton	4,50
Torta óleo mamona	ton	4,50
Torta óleo oiticica	ton	5,00
Resíduos de couro	ton	2,00
Resíduos de borracha	ton	4,00
Coque metalúrgico	ton	7,92
Carvão vapor médio	ton	4,10
Carvão vegetal	ton	6,80
Óleo A (BPF)	ton	10,40
Óleo C (OC-4)	ton	10,90
Óleo D (BTE)	ton	10,70
Óleo E	ton	10,10
Óleo F	ton	10,30
Óleo Diesel	m ³	9,00
Mistura 25	ton	10,51
Mistura 50	ton	10,63
Mistura 75	ton	10,74
Mistura 80	ton	10,76
Querosene	m ³	8,60
Álcool etílico	m ³	5,10
Gasolina	m ³	8,15
GLP	ton	11,90
Propano	ton	12,00
Gás de nafta	m ³	0,004
Gás de refinaria	m ³	0,013
Gás de coqueria	m ³	0,005
Gás de alto forno	m ³	0,001
Gás de gasogênio	m ³	0,001
Gás natural	m ³	0,010

Tabela 43 - Valor de transformação industrial - em milhares de cruzeiros *

	Metalurgia	Alimentos e Bebidas	Química	Minerais não Metálicos	Papel e Celulose	Têxtil
3	31.768.241	26.549.786	26.748.366	11.571.516	8.407.434	23.434.991
4	40.837.746	27.934.687	32.861.099	13.717.006	12.050.605	21.756.067
5	43.370.106	30.429.276	42.883.557	17.172.016	9.648.842	21.401.451
6	44.424.878	34.773.764	49.141.491	17.776.621	10.521.049	25.613.171
7	47.635.675	37.029.511	44.939.298	19.491.915	10.547.298	24.755.508
8	52.768.231	39.742.645	48.974.802	19.798.392	12.138.269	25.639.627
9	58.195.390	42.288.787	57.572.357	20.297.124	15.809.764	30.553.804
0	56.936.489	38.801.317	71.090.347	20.975.655	14.817.683	31.415.063
1	45.421.017	40.368.068	85.870.973	19.496.658	11.720.288	27.246.438

Fonte: IBGE

Valores deflacionados em relação ao valor monetário de 1977

Tabela 44 - Inversões de capital - valores em milhares de cruzeiros *

Metalurgia	Alimentos e Bebidas	Química	Minerais não Metálicos	Papel e Celulose	Têxtil
5.402.978	3.813.703	5.067.441	2.595.554	2.334.997	4.090.176
7.800.586	5.241.134	5.189.890	2.766.107	1.369.967	3.994.453
7.702.394	4.257.785	3.761.466	2.164.503	1.656.566	3.314.642
6.037.126	5.816.394	4.992.501	2.531.753	1.911.282	2.908.843
8.810.538	4.843.854	8.047.904	2.359.870	1.337.125	2.338.352
8.485.361	5.049.745	5.889.984	2.233.827	1.856.004	2.277.151
6.123.996	3.890.160	5.162.706	2.461.424	1.419.567	1.938.241
12.678.156	4.187.757	9.486.980	1.753.074	1.427.857	1.941.066
12.368.381	3.363.075	5.331.691	1.993.137	655.879	1.957.871

Fonte: IBGE

Valores deflacionados em relação ao valor monetário de 1977

TABELA 45

RELAÇÃO INVERSÕES DE CAPITAL/VALOR DE TRANSFORMAÇÃO INDUSTRIAL

o	Metalurgia	Alimentos e Bebidas	Química	Minerais não Metálicos	Papel e Celulose	Têxtil
3	0,170.075	0,143.643	0,189.449	0,224.305	0,277.730	0,174.533
4	0,191.014	0,187.621	0,157.934	0,201.655	0,113.685	0,183.602
5	0,177.597	0,139.924	0,087.714	0,126.048	0,171.686	0,154.879
6	0,135.895	0,167.264	0,101.594	0,142.420	0,181.663	0,113.568
7	0,184.957	0,130.811	0,179.084	0,121.069	0,126.774	0,094.458
8	0,160.804	0,127.061	0,120.266	0,112.829	0,152.905	0,088.814
9	0,105.232	0,091.990	0,089.673	0,121.270	0,089.791	0,063.437
10	0,222.672	0,107.928	0,133.450	0,083.577	0,096.362	0,061.788
11	0,272.305	0,083.310	0,062.090	0,102.230	0,055.961	0,071.858

TABELA 46

PREÇOS MÉDIOS DE DIVERSAS FORMAS ENERGÉTICAS

Energético	Unidade	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Óleo combustível (BPF)	Cr\$/kg.	0,32	0,49	0,73	0,98	1,82	6,73	18,77
Óleo diesel	Cr\$/l	1,31	1,91	3,14	4,21	7,05	14,58	37,13
Querosene	Cr\$/l	1,48	2,01	3,07	4,31	8,26	17,12	38,00
GLP	Cr\$/kg	2,68	3,46	4,97	6,61	8,60	14,37	29,35
Carvão mineral	Cr\$/ton	78,56	106,53	159,53	226,57	383,67	659,49	2226,07
Eleticidade								
Sub-Grupo A2								
Demanda	Cr\$/kw	42,93	48,00	67,00	95,00	154,12	316,37	726,08
Consumo	Cr\$/Mwh	48,58	55,50	77,50	109,80	175,29	360,02	1038,75
Sub-Grupo A3								
Demanda	Cr\$/kw	47,60	62,00	85,00	114,00	167,00	336,40	762,00
Consumo	Cr\$/Mwh	62,00	83,50	114,60	153,60	226,30	456,00	975,00
Sub-Grupo A4								
Demanda	Cr\$/kw	52,00	68,00	90,00	122,00	178,00	360,00	796,00
Consumo	Cr\$/Mwh	73,80	101,00	149,30	202,00	295,35	594,32	1658,00

FONTE: CPFL.

TABELA 47

FATORES MULTIPLICATIVOS PARA DEFLAÇÃO DE VALORES MONETÁRIOS EM RE
LAÇÃO AO VALOR MÉDIO DO CRUZEIRO EM 1977

Ano	Fator
1973	3,315650
1974	2,576656
1975	2,014910
1976	1,426534
1977	1,000000
1978	0,720981
1979	0,468384
1980	0,233918
1981	0,111445
1982	0,056804
1983	0,022317
1984	0,006961
1985	0,002279
1986	0,000950

FONTE: Conjuntura Econômica

ANEXO B

TABELA 48

VALOR DE TRANSFORMAÇÃO INDUSTRIAL - PROJEÇÃO POR SUB-SETOR A PARTIR DAS
CONSIDERAÇÕES DO CENÁRIO BÁSICO - ESTADO DE SÃO PAULO

Ano	Metallurgia	Alimentos e Bebidas	Química	Minerais não Metálicos	Papel e Celulose	Têxtil
1982	45.284.754	41.054.325	85.699.231	19.633.135	11.720.288	27.518.902
1983	42.839.377	44.379.726	78.671.894	16.727.431	12.107.058	25.262.352
1984	48.708.372	43.669.650	86.932.443	16.259.063	12.966.659	23.317.151
1985	52.751.167	47.294.232	95.886.485	16.958.202	14.042.891	25.252.475
1986	56.707.504	51.314.242	105.954.566	18.060.485	15.236.537	27.398.935
1987	60.677.030	54.906.239	115.490.476	19.324.719	16.303.095	29.316.860
1988	65.531.192	59.298.738	127.039.524	20.870.697	17.607.342	31.662.209
1989	70.773.687	64.042.637	139.743.476	22.540.353	19.015.930	34.195.186
1990	77.143.319	69.806.474	155.115.259	24.568.984	20.727.363	37.272.753

TABELA 49

INVERSÕES DE CAPITAL - PROJEÇÃO POR SUB-SETOR A PARTIR DAS CONSIDERAÇÕES DO
CENÁRIO BÁSICO - ESTADO DE SÃO PAULO

Ano	Metallurgia	Alimentos e Bebidas	Química	Minerais não Metálicos	Papel e Celulose	Têxtil
1982	12.542.054	3.781.079	7.420.450	1.875.916	1.043.431	1.952.393
1983	12.560.867	3.786.751	7.431.581	1.878.730	1.044.996	1.955.322
1984	12.579.708	3.792.431	7.442.728	1.881.548	1.046.563	1.958.255
1985	13.586.085	4.171.674	8.187.000	2.032.072	1.151.219	2.154.080
1986	15.121.312	4.726.507	9.357.741	2.261.696	1.304.331	2.440.573
1987	16.179.804	5.057.362	10.153.149	2.420.015	1.395.635	2.611.413
1988	18.234.639	5.750.221	11.645.662	2.727.357	1.586.837	2.969.177
1989	20.896.896	6.589.753	13.392.511	3.125.551	1.818.515	3.402.677
1990	23.759.771	7.492.549	15.267.463	3.553.751	2.067.651	3.868.844

TABELA 50

RELAÇÃO INVERSÕES DE CAPITAL/VALOR DE TRANSFORMAÇÃO INDUSTRIAL - PROJEÇÃO POR SUB-SETOR
A PARTIR DAS CONSIDERAÇÕES DO CENÁRIO BÁSICO. ESTADO DE SÃO PAULO

Ano	Metalurgia	Alimentos e Bebidas	Química	Minerais não Metálicos	Papel e Celulose	Têxtil
1982	0,276960	0,092099	0,086587	0,095549	0,089028	0,070947
1983	0,293208	0,085326	0,094463	0,112314	0,086313	0,077401
1984	0,258267	0,086844	0,085615	0,115723	0,080712	0,083984
1985	0,257550	0,088207	0,085382	0,119828	0,081979	0,085302
1986	0,266655	0,092109	0,088318	0,125229	0,085606	0,089075
1987	0,266655	0,092109	0,087913	0,125229	0,085606	0,089075
1988	0,278259	0,096970	0,091670	0,130679	0,090124	0,093777
1989	0,295264	0,102896	0,095836	0,138664	0,095631	0,099507
1990	0,307995	0,107333	0,098427	0,144644	0,099755	0,103798

TABELA 51

PREÇOS MÉDIOS DE DIVERSAS FORMAS ENERGÉTICAS

Energético	Unidade	1982	1983	1984	1985	1986*
Óleo Combustível (BPF)	Cr\$/kg	32,29	91,57	315,17	862,18	1.642,20
Óleo Diesel	Cr\$/l	72,67	189,33	640,17	1.691,82	
Querosene	Cr\$/l	73,67	192,17	661,25	1.749,09	
GLP	Cr\$/kg	53,67	148,76	526,28	1.365,03	4.770,00
Carvão mineral	Cr\$/ton	5.304,51	10.643,70	31.587,22	110.079,10	426.840,00
Eleticidade						
Sub-Grupo A2 Demanda	Cr\$/kw	1.012,25	2.134,67	6.665,67	22.342,82	49.103,00
Consumo	Cr\$/Mwh	2.700,42	6.983,75	21.804,67	73.066,82	160.578,00
Sub-Grupo A3 Demanda	Cr\$/kw	1.326,00	2.895,58	9.041,92	30.300,55	66.592,00
Consumo	Cr\$/Mwh	2.909,83	7.288,83	22.759,33	76.265,00	167.608,00
Sub-Grupo A4 Demanda	Cr\$/kw	1.280,70	2.750,00	8.642,00	29.474,00	64.773,00
Consumo	Cr\$/Mwh	3.975,58	9.893,83	31.087,00	106.018,00	232.996,00
Gás natural	Cr\$/m ³					1.495,00

FONTES: CPFL/Rhodia/CEG

* Em fevereiro de 1986.

TABELA 52

EVOLUÇÃO DOS PREÇOS MÉDIOS ANUAIS DO ÓLEO BPF DEFLACIONADOS EM RE-
LAÇÃO AO VALOR DO CRUZEIRO EM 1977

Ano	<u>Cr\$ (1977)</u> Gcal
1975	62,00
1976	67,22
1977	70,20
1978	67,95
1979	81,97
1980	151,38
1981	201,15
1982	176,38
1983	196,51
1984	210,97
1985	188,95
1986	150,02
1987	163,37
1988	177,90
1989	193,73
1990	210,97

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1982

	CPFL	CESP	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	4,19%		66,04%		64,37%
Elettricidade	61,25%	85,53%	15,04%		16,41%
Óleos Pesados	23,90%	10,19%	10,38%		10,66%
Resíduos	10,66%	4,28%	8,54%		8,56%
Consumo energético (Gcal útil)	308.495	89.339	14.572.296		14.970.130
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	62,19%	70,35%	56,28%	61,02%	61,89%
Elettricidade	24,32%	20,45%	35,21%	24,80%	27,21%
Lenha	11,33%	2,71%	1,00%	11,53%	6,34%
Resíduos	3,06%	6,49%	7,51%	2,65%	8,56%
Consumo energético (Gcal útil)	2.891.293	1.301.762	2.423.014	579.386	7.159.455
Química					
Óleos Pesados	74,10%	40,49%	66,84%		67,31%
Elettricidade	8,83%	37,67%	25,83%		23,36%
Outros gases			2,93%		2,37%
Resíduos	17,07%	21,84%	4,40%		6,96%
Consumo energético (Gcal útil)	1.854.933	307.849	9.155.137		11.317.919
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	40,87%	43,81%	51,41%	46,94%	48,98%
Elettricidade	39,56%	31,74%	22,97%	35,52%	25,99%
Carvão mineral	4,81%	16,85%	12,55%	6,08%	13,42%
Resíduos	14,76%	7,60%	13,07%	11,46%	11,61%
Consumo energético (Gcal útil)	163.420	1.668.923	4.194.562	89.964	6.116.870
Papel e Celulose					
Óleos Pesados	61,17%	62,66%	71,30%		67,57%
Elettricidade	24,80%	23,60%	21,29%		22,38%
Lenha	12,53%	7,96%	6,66%		7,70%
Resíduos	1,50%	5,78%	0,75%		2,35%
Consumo energético (Gcal útil)	673.519	1.831.467	3.567.835		6.072.821
Têxtil					
Óleos Pesados	49,49%	32,97%	60,49%	47,69%	57,05%
Elettricidade	48,39%	61,46%	35,40%	51,77%	39,24%
Óleos Leves	0,79%		0,74%	0,12%	0,72%
Resíduos	1,33%	5,57%	3,37%	0,42%	2,99%
Consumo energético (Gcal útil)	908.817	175.322	3.383.414	60.406	4.527.959

1983

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO

	CPFL	CESP	ELETROPÁULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	4,52%		71,20%		69,40%
Elettricidade	57,69%	80,57%	14,17%		15,46%
Óleos Pesados	20,26%	8,64%	8,80%		9,03%
Resíduos	17,53%	10,79%	5,83%		6,11%
Consumo energético (Gcal útil)	347.507	100.636	16.415.069		16.863.212
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	59,52%	67,33%	53,86%	58,40%	58,93%
Elettricidade	25,84%	21,73%	36,63%	26,36%	28,77%
Lenha	11,85%	2,84%	1,04%	12,06%	6,59%
Resíduos	2,79%	8,10%	8,47%	3,18%	5,71%
Consumo energético (Gcal útil)	2.895.136	1.303.493	2.426.235	580.156	7.205.020
Química					
Óleos Pesados	73,48%	30,49%	64,78%		64,87%
Elettricidade	8,76%	41,81%	28,68%		25,94%
Outros gases			2,89%		2,34%
Resíduos			3,64%		6,85%
Consumo energético (Gcal útil)	1.870.595	27,70%	9.228.832		11.409.875
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	26,41%	28,31%	33,23%	30,34%	31,66%
Elettricidade	50,57%	40,57%	29,37%	45,42%	33,23%
Carvão mineral	9,16%	23,97%	25,16%	12,92%	24,22%
Resíduos	13,86%	7,15%	12,24%	11,32%	10,89%
Consumo energético (Gcal útil)	141.371	1.443.742	3.628.607	77.826	5.291.546
Papel e Celulose					
Óleos pesados	45,09%	46,19%	52,55%		49,81%
Elettricidade	26,68%	25,39%	22,91%		24,08%
Lenha	23,59%	10,56%	22,22%		18,85%
Resíduos	4,64%	17,86%	2,32%		7,26%
Consumo energético (Gcal útil)	651.165	1.770.680	3.449.417		5.871.261
Têxtil					
Óleos Pesados	43,70%	29,12%	53,42%	42,11%	50,38%
Elettricidade	53,96%	68,53%	39,48%	57,72%	43,75%
Óleos Leves	0,60%	0,81%	0,49%	0,11%	0,52%
Resíduos	1,74%	1,54%	6,61%	0,06%	5,35%
Consumo energético (Gcal útil)	716.915	138.301	2.668.984	47.651	3.571.851

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO

1984

	CPFL	CESP	ELETROPÁULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalmgia					
Carvão Mineral	4,30%		67,79%		66,08%
Elettricidade	65,71%	91,76%	16,14%		17,61%
Óleos Pesados	17,57%	7,49%	7,63%		7,83%
Residuais	12,42%	0,75%	8,44%		8,48%
Consumo energético (Gcal útil)	374.452	108.439	17.687.840		18.170.731
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	46,40%	52,48%	41,99%	45,52%	45,95%
Elettricidade	31,61%	26,58%	44,80%	32,24%	35,19%
Levedura	13,62%	3,26%	1,19%	13,87%	7,58%
Residuais	8,37%	17,68%	12,02%	8,37%	11,28%
Consumo energético (Gcal útil)	2.731.371	1.229.760	2.288.994	547.339	6.797.464
Química					
Óleos Pesados	66,87%	32,73%	60,48%		60,77%
Elettricidade	11,53%	49,16%	33,26%		30,17%
Outros gases			4,20%		3,41%
Residuais	21,60%	18,11%	2,06%		5,65%
Consumo energético (Gcal útil)	1.837.284	304.920	9.188.735		11.330.939
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	20,07%	21,51%	25,25%	23,05%	24,06%
Elettricidade	54,79%	43,95%	31,81%	49,20%	36,00%
Carvão mineral	5,15%	24,23%	25,23%	12,24%	24,23%
Residuais	19,99%	10,31%	17,71%	15,51%	15,71%
Consumo energético (Gcal útil)	128.360	1.310.863	3.294.637	70.663	4.804.523
Papel e Celulose					
Óleos Pesados	33,38%	34,20%	38,91%		36,88%
Elettricidade	32,09%	30,54%	27,55%		28,96%
Lenha	26,94%	6,08%	29,74%		22,29%
Residuais	7,59%	29,18%	3,80%		11,87%
Consumo energético (Gcal útil)	637.102	1.732.440	3.374.924		5.744.466
Têxtil					
Óleos Pesados	26,79%	17,85%	32,74%	25,81%	30,88%
Elettricidade	70,06%	79,35%	56,18%	74,04%	60,10%
Óleos Leves	0,29%	0,26%	0,22%	0,06%	0,24%
Residuais	2,86%	2,54%	10,86%	0,09%	8,78%
Consumo energético (Gcal útil)	732.401	141.289	2.726.639	48.680	3.649.009

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1985

	CPFL	CESP	ELETRIPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Met-lurgia					
Carvão Mineral	4,30%		68,00%		66,28%
Eletricidade	66,55%	88,22%	16,00%		17,47%
Óleos Pesados	17,16%	7,28%	7,67%		7,87%
Resíduos	11,99%	4,50%	8,33%		8,38%
Consumo energético (Gcal útil)	403.410	116.825	19.055.758		19.575.993
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	46,30%	52,02%	43,39%	44,70%	46,25%
Eletricidade	31,54%	24,66%	41,55%	32,88%	33,73%
Lenha	13,98%	3,47%	1,20%	13,85%	7,76%
Resíduos	8,18%	19,85%	13,86%	8,57%	12,26%
Consumo energético (Gcal útil)	2.978.489	1.363.662	2.479.007	594.863	7.416.021
Química					
Óleos Pesados	66,87%	27,63%	60,48%		60,61%
Eletricidade	11,53%	56,56%	33,26%		30,26%
Outros gases			3,90%		3,15%
Resíduos	21,60%	15,81%	2,36%		5,88%
Consumo energético (Gcal útil)	2.077.055	353.174	10.297.175		12.729.404
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	20,71%	22,19%	25,96%	23,50%	24,73%
Eletricidade	51,22%	41,31%	29,41%	47,11%	33,58%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,31%
Resíduos	21,07%	11,50%	19,63%	16,39%	17,38%
Consumo energético (Gcal útil)	136.220	1.342.709	3.311.663	76.172	4.866.764
Papel e Celulose					
Óleos pesados	34,19%	35,03%	38,86%		37,18%
Eletricidade	28,13%	26,72%	26,01%		26,48%
Lenha	30,00%	5,70%	30,00%		22,66%
Resíduos	7,68%	32,05%	5,13%		13,68%
Consumo energético (Gcal útil)	695.802	1.883.691	3.654.918		6.234.411
Têxtil					
Óleos Pesados	27,53%	22,07%	33,42%	26,17%	31,70%
Eletricidade	68,00%	69,23%	53,98%	73,28%	57,64%
Óleos Leves	0,23%	0,22%	0,19%	0,04%	0,20%
Resíduos	4,24%	8,48%	12,41%	0,51%	10,46%
Consumo energético (Gcal útil)	801.055	154.533	2.982.227	53.243	3.991.058

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1986

	CPFL	CESP	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalmurgia					
Carvão Mineral	4,30%		68,00%		66,28%
Elettricidade	67,65%	88,44%	15,54%		17,05%
Óleos Pesados	16,05%	7,06%	8,06%		8,22%
Resíduos	12,00%	4,50%	8,40%		8,45%
Consumo energético (Gcal útil)	431.575	124.981	20.386.154		20.942.710
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	47,75%	52,86%	45,81%	48,70%	48,07%
Elettricidade	30,51%	24,00%	37,12%	35,47%	32,03%
Lenha	13,94%	3,46%	1,20%	13,85%	7,62%
Resíduos	7,80%	19,68%	15,87%	1,98%	12,28%
Consumo energético (Gcal útil)	3.056.364	1.392.225	2.698.130	609.610	7.756.329
Química					
Óleos Pesados	66,87%	28,43%	61,15%		61,29%
Elettricidade	11,53%	51,97%	32,60%		29,55%
Outros gases			4,50%		3,63%
Resíduos	21,60%	19,60%	1,75%		5,53%
Consumo energético (Gcal útil)	2.664.862	394.215	12.832.772		15.891.849
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	20,70%	22,72%	26,67%	23,87%	25,35%
Elettricidade	48,79%	39,46%	27,59%	45,74%	31,83%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00	13,00%	24,27%
Resíduos	23,51%	12,82%	20,74%	17,39%	18,55%
Consumo energético (Gcal útil)	147.821	1.402.456	3.389.695	84.046	5.024.018
Papel e Celulose					
Óleos pesados	34,93%	35,79%	40,11%		38,22%
Elettricidade	26,16%	24,90%	24,69%		24,92%
Lenha	30,00%	5,36%	30,00%		22,54%
Resíduos	8,91%	33,95%	5,20%		14,32%
Consumo energético (Gcal útil)	763.187	2.054.311	3.965.411		6.782.909
Têxtil					
Óleos Pesados	28,01%	23,46%	35,64%	25,24%	33,50%
Elettricidade	66,66%	69,50%	51,27%	74,04%	55,36%
Óleos Leves	0,16%	0,20%	0,14%	0,02%	0,15%
Resíduos	5,17%	6,84%	12,95%	0,70%	10,99%
Consumo energético (Gcal útil)	885.493	170.822	3.296.581	58.856	4.411.752

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO

1987

	CPFL	CESP	ELETROPULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	4,30%		68,00%		66,28%
Elettricidade	67,89%	88,66%	13,93%		15,49%
Óleos Pesados	15,81%	6,85%	9,67%		9,78%
Resíduos	12,00%	4,49%	8,40%		8,45%
Consumo energético (Gcal útil)	462.590	133.964	21.851.152		22.447.706
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	50,89%	55,15%	59,16%	50,42%	54,49%
Elettricidade	25,63%	20,42%	25,94%	25,10%	24,76%
Lenha	13,82%	3,43%	1,20%	13,70%	7,56%
Resíduos	9,66%	21,00%	13,70%	10,78%	13,19%
Consumo energético (Gcal útil)	3.275.274	1.499.983	2.884.566	656.168	8.315.991
Química					
Óleos Pesados	68,68%	34,42%	63,41%		63,53%
Elettricidade	9,72%	46,04%	30,34%		27,40%
Outros gases			4,50%		3,66%
Resíduos	21,60%	19,54%	1,75%		5,41%
Consumo energético (Gcal útil)	2.774.121	432.848	13.962.056		17.169.025
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	21,58%	22,56%	27,25%	24,74%	25,70%
Elettricidade	50,86%	39,20%	29,58%	46,25%	33,24%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,50%	13,00%	24,58%
Resíduos	20,56%	13,24%	17,67%	16,01%	16,48%
Consumo energético (Gcal útil)	159.178	1.490.738	3.508.338	91.020	5.249.274
Papel e Celulose					
Óleos pesados	43,03%	37,93%	44,02%		42,06%
Elettricidade	21,00%	25,51%	22,82%		23,43%
Lenha	30,00%	5,12%	30,00%		22,45%
Resíduos	5,97%	31,44%	3,16%		12,06%
Consumo energético (Gcal útil)	821.594	2.204.439	4.242.893		7.268.926
Têxtil					
Óleos Pesados	35,87%	37,61%	41,68%	28,05%	40,18%
Elettricidade	59,18%	53,03%	46,33%	68,98%	49,47%
Óleos Leves	0,14%	0,17%	0,12%	0,02%	0,13%
Resíduos	4,81%	9,19%	11,87%	2,95%	10,22%
Consumo energético (Gcal útil)	949.207	183.113	3.533.778	63.091	4.729.189

TABELA 59

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO

1988

317

		CPFL	CESP	ELETROPÁULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia						
	Carvão Mineral	4,30%		68,00%		66,28%
	Elettricidade	67,41%	88,88%	13,93%		15,48%
	Óleos Pesados	16,29%	6,63%	9,50%		9,62%
	Resíduos	12,00%	4,49%	8,57%		8,62%
	Consumo energético (Gcal útil)	508.296	147.199	24.010.150		24.665.645
Alimentos e Bebidas						
	Óleos Pesados	54,06%	55,15%	58,66%	51,00%	55,60%
	Elettricidade	27,22%	20,43%	25,24%	25,81%	25,15%
	Lenha	13,81%	3,43%	1,20%	13,70%	7,49%
	Resíduos	4,91%	20,99%	14,90%	9,49%	11,76%
	Consumo energético (Gcal útil)	3.444.976	1.675.666	3.108.828	732.531	8.962.001
Química						
	Óleos Pesados	68,67%	33,56%	63,41%		63,51%
	Elettricidade	9,72%	44,51%	30,33%		27,35%
	Outros gases			4,50%		3,66%
	Resíduos	21,61%	21,93%	1,76%		5,48%
	Consumo energético (Gcal útil)	2.857.345	444.103	14.325.069		17.626.517
Minerais não Metálicos						
	Óleos Pesados	21,58%	22,92%	22,89%	24,74%	22,89%
	Elettricidade	50,86%	39,20%	28,60%	46,25%	32,60%
	Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,23%
	Resíduos	20,56%	12,88%	23,51%	16,01%	20,38%
	Consumo energético (Gcal útil)	174.240	1.587.622	3.755.760	100.839	5.618.461
Papel e Celulose						
	Óleos pesados	42,82%	37,75%	40,92%		40,17%
	Elettricidade	20,71%	25,27%	22,79%		23,30%
	Lenha	30,00%	4,80%	30,00%		22,32%
	Resíduos	6,47%	32,18%	6,29%		14,21%
	Consumo energético (Gcal útil)	908.193	2.407.078	4.581.275		7.896.546
Têxtil						
	Óleos Pesados	35,87%	38,08%	41,24%	25,54%	39,83%
	Elettricidade	59,78%	47,71%	45,82%	68,97%	49,01%
	Óleos Leves	0,14%	0,17%	0,12%	0,02%	0,13%
	Resíduos	4,21%	13,04%	12,82%	5,47%	11,03%
	Consumo energético (Gcal útil)	1.047.077	201.993	3.898.136	69.609	5.216.815

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1989

	CPFL	CESP	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	4,30%		68,00%		66,28%
Elettricidade	66,20%	89,10%	13,30%		14,85%
Óleos Pesados	17,50%	6,40%	8,97%		9,39%
Resíduos	12,00%	4,50%	9,73%		9,48%
Consumo energético (Gcal útil)	564.742	163.546	26.676.519		27.404.807
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	54,06%	55,15%	47,12%	51,00%	51,66%
Elettricidade	27,23%	20,43%	24,50%	25,81%	24,90%
Lenha	13,81%	3,43%	1,20%	13,70%	7,56%
Resíduos	4,90%	20,99%	27,18%	9,49%	15,88%
Consumo energético (Gcal útil)	3.848.380	1.871.951	3.351.026	818.339	9.889.696
Química					
Óleos Pesados	68,68%	30,93%	61,56%		61,94%
Elettricidade	9,72%	46,23%	30,34%		27,41%
Outros gases			4,50%		3,66%
Resíduos	21,60%	22,84%	3,60%		6,99%
Consumo energético (Gcal útil)	2.931.635	457.870	14.740.496		18.130.001
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	21,58%	22,52%	13,16%	24,70%	16,34%
Elettricidade	50,86%	39,20%	25,27%	46,25%	30,50%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,18%
Resíduos	20,56%	13,28%	36,57%	16,05%	28,98%
Consumo energético (Gcal útil)	192.105	1.678.211	3.882.269	113.249	5.865.834
Papel e Celulose					
Óleos pesados	42,82%	37,75%	40,71%		40,05%
Elettricidade	20,71%	25,27%	23,12%		23,49%
Lenha	30,00%	4,49%	30,00%		22,17%
Resíduos	6,47%	32,49%	6,17%		14,29%
Consumo energético (Gcal útil)	1.013.579	2.640.257	4.947.777		8.601.613
Têxtil					
Óleos Pesados	35,87%	38,06%	39,89%	23,01%	38,79%
Elettricidade	59,79%	46,96%	45,98%	68,97%	49,10%
Óleos Leves	0,14%	0,17%	0,12%	0,02%	0,13%
Resíduos	4,20%	14,81%	14,01%	8,00%	11,98%
Consumo energético (Gcal útil)	1.160.969	223.964	4.322.144	77.181	5.784.258

PERFIL PROJETADO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO
1990

	CPFL	CESP	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metallurgia					
Carvão Mineral	4,30%		68,00%		66,28%
Elettricidade	64,58%	89,34%	12,18%		13,72%
Óleos Pesados	19,12%	6,16%	8,18%		8,39%
Residuais	12,00%	4,50%	11,64%		11,61%
Consumo energético (Gcal útil)	631.684	182.966	29.844.138		30.658.788
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	54,06%	55,15%	35,43%	51,00%	47,84%
Elettricidade	27,23%	20,43%	23,56%	25,81%	24,59%
Lenha	13,81%	3,43%	1,20%	13,70%	7,64%
Residuais	4,90%	20,99%	39,81%	9,49%	19,93%
Consumo energético (Gcal útil)	4.339.051	2.110.606	3.648.635	922.670	11.020.962
Química					
Óleos Pesados	68,67%	29,18%	59,85%		60,50%
Elettricidade	9,72%	46,00%	30,35%		27,41%
Outros gases			4,50%		3,66%
Residuais	21,61%	24,82%	5,30%		8,43%
Consumo energético (Gcal útil)	3.037.174	475.269	15.300.635		18.813.078
Materiais não Metálicos					
Óleos Pesados	21,58%	22,52%	3,90%	24,70%	10,32%
Elettricidade	50,86%	39,20%	22,09%	46,25%	28,53%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,13%
Residuais	20,56%	13,28%	49,01%	16,05%	37,02%
Consumo energético (Gcal útil)	213.374	1.793.782	4.065.853	127.924	6.200.933
Papel e Celulose					
Óleos Pesados	42,82%	37,75%	40,49%		39,93%
Elettricidade	20,71%	25,27%	23,47%		23,69
Lenha	30,00%	4,16%	30,00%		22,02%
Residuais	6,47%	32,82%	6,04%		14,36%
Consumo energético (Gcal útil)	1.139.040	2.919.656	5.392.409		9.451.105
Têxtil					
Óleos Pesados	35,87	38,04	37,81%	20,32%	37,19%
Elettricidade	59,78%	43,53%	41,31%	68,96%	45,47%
Óleos Leves	0,14%	0,17%	0,12%	0,02%	0,13%
Residuais	4,21%	18,26%	20,76%	10,70%	17,21%
Consumo energético (Gcal útil)	1.290.736	248.998	4.805.250	85.809	6.430.793

TABELA 62

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO - CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO

1986

320

	CEFL	CESP	ELETROPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metallurgia					
Carvão Mineral	4,27%		67,90%		66,17%
Elettricidade	67,87%	88,54%	15,67%		17,19%
Óleos Pesados	15,94%	7,00%	8,04%		8,21%
Resíduos	11,92%	4,46%	8,39%		8,43%
Consumo energético	430.179	124.837	20.213.979		20.768.995
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	47,75%	53,21%	45,59%	48,59%	48,03%
Elettricidade	30,96%	24,51%	37,47%	35,90%	32,47%
Lenha	13,94%	3,49%	1,19%	13,82%	7,61%
Resíduos	7,53%	18,79%	15,75%	1,69%	11,89%
Consumo energético (Gcal útil)	3.012.449	1.363.279	2.672.876	602.289	7.650.893
Química					
Óleos Pesados	66,87%	28,43%	61,15%		61,29%
Elettricidade	11,53%	51,99%	32,60%		29,55%
Outros gases			4,50%		3,63%
Resíduos			1,75%		5,53%
Consumo energético (Gcal útil)	2.611.566	386.330	12.576.117		15.574.013
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	20,70%	22,72%	26,68%	23,87%	25,35%
Elettricidade	48,79%	39,46%	27,59%	45,74%	31,83%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,27%
Resíduos	23,51%	12,82%	20,73%	17,39%	18,55%
Consumo energético (Gcal útil)	146.343	1.388.431	3.355.798	83.206	4.973.778
Papel e Celulose					
Óleos Pesados	34,74%	35,70%	40,01%		38,12%
Elettricidade	26,27%	25,09%	24,88%		25,11%
Lenha	30,13%	5,34%	29,93%		22,48%
Resíduos	8,86%	33,87%	5,18%		14,29%
Consumo energético (Gcal útil)	759.841	2.038.884	3.935.547		6.731.982
Têxtil					
Óleos Pesados	27,64%	23,13%	35,28%	24,86%	33,13%
Elettricidade	67,10%	69,92%	51,77%	74,43%	55,86%
Óleos Leves	0,16%	0,20%	0,14%	0,02%	0,15%
Resíduos	5,10%	6,75%	12,81%	0,69%	10,86%
Consumo energético (Gcal útil)	879.616	169.787	3.264.544	58.550	4.372.497

TABELA 63

321

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO - CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO
1987

		CPFL	CESP	ELETROPATCO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia						
	Carvão Mineral	4,23%		67,76%		66,02%
	Elettricidade	68,44%	88,91%	14,24%		15,83%
	Óleos Pesados	15,54%	6,69%	9,63%		9,74%
	Residuais	11,79%	4,40%	8,37%		8,41%
	Consumo energético	458.876	133.584	21.380.991		21.973.451
Alimentos e Bebidas						
	Óleos Pesados	50,69%	57,52%	58,59%	50,22%	54,62%
	Elettricidade	26,26%	21,92%	26,43%	25,72%	25,53%
	Lenha	14,74%	3,84%	1,30%	14,63%	8,12%
	Residuais	8,31%	16,72%	13,68%	9,43%	11,73%
	Consumo energético (Gcal útil)	3.196.911	1.397.093	2.831.336	640.370	8.065.710
Química						
	Óleos Pesados	68,68%	34,42%	63,41%		63,53%
	Elettricidade	9,72%	46,04%	30,34%		27,40%
	Outros gases			4,50%		3,66%
	Residuais	21,60%	19,54%	1,75%		5,41%
	Consumo energético (Gcal útil)	2.663.156	415.535	13.403.573		16.482.265
Minerais não Metálicos						
	Óleos Pesados	21,58%	22,56%	27,25%	24,73%	25,70%
	Elettricidade	50,86%	39,20%	29,58%	46,25%	33,24%
	Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,50%	13,00%	24,58%
	Residuais	20,56%	13,24%	17,67%	16,01%	16,48%
	Consumo energético (Gcal útil)	155.995	1.460.923	3.438.172	89.199	5.144.289
Papel e Celulose						
	Óleos pesados	42,85%	37,74%	43,81%		41,86%
	Elettricidade	21,34%	25,89%	23,18%		23,79%
	Lenha	29,87%	5,09%	29,86%		22,35%
	Residuais	5,94%	31,28%	3,15%		12,00%
	Consumo energético (Gcal útil)	808.613	2.171.595	4.177.398		7.157.606
Têxtil						
	Óleos Pesados	35,00%	36,80%	40,89%	27,27%	39,36%
	Elettricidade	60,16%	54,04%	47,35%	69,85%	50,49%
	Óleos Leves	0,14%	0,18%	0,13%	0,02%	0,13%
	Residuais	4,70%	8,98%	11,63%	2,86%	10,02%
	Consumo energético (Gcal útil)	933.760	179.685	3.458.096	62.308	4.633.849

322

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO - CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO
1988

	CPFL	CEMP	ELETRIPAULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	4,18%		67,60%		65,85%
Elettricidade	68,30%	89,27%	14,43%		16,02%
Óleos Pesados	15,84%	6,39%	9,44%		9,56%
Resíduos	11,68%	4,34%	8,53%		8,57%
Consumo energético	501.670	146.544	23.187.335		28.835.549
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	54,04%	55,66%	57,87%	51,04%	55,43%
Elettricidade	28,59%	21,65%	26,15%	27,13%	26,33%
Lenha	13,81%	3,46%	1,18%	13,71%	7,46%
Resíduos	3,56%	19,23%	14,80%	8,12%	10,78%
Consumo energético (Gcal útil)	3.281.034	1.580.878	3.000.705	696.895	8.555.512
Química					
Óleos Pesados	68,67%	33,56%	63,41%		63,51%
Elettricidade	9,72%	44,51%	30,33%		27,35%
Outros gases			4,50%		3,66%
Resíduos	21,61%	21,93%	1,76%		5,48%
Consumo energético (Gcal útil)	2.685.904	417.456	13.465.565		16.568.925
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	21,58%	22,92%	22,89%	24,74%	22,89%
Elettricidade	50,86%	39,20%	28,60%	46,25%	32,60%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,23%
Resíduos	20,56%	12,88%	23,51%	16,01%	20,28%
Consumo energético (Gcal útil)	169.013	1.539.994	3.643.086	97.813	5.449.906
Papel e Celulose					
Óleos pesados	42,55%	37,46%	40,63%		39,88%
Elettricidade	21,21%	25,85%	23,33%		23,86%
Lenha	29,81%	4,77%	29,79%		22,16%
Resíduos	6,43%	31,92%	6,25%		14,10%
Consumo energético (Gcal útil)	886.588	2.353.112	4.475.165		7.714.865
Têxtil					
Óleos Pesados	34,55%	36,95%	40,06%	24,47%	38,62%
Elettricidade	61,26%	49,25%	47,36%	70,27%	50,55%
Óleos Leves	0,14%	0,18%	0,13%	0,02%	0,13%
Resíduos	4,05%	13,62%	12,45%	5,24%	10,70%
Consumo energético (Gcal útil)	1.021.898	195.677	3.771.709	68.313	5.057.597

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO - CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO
1989

	CPFL	CECP	ELETROPULO	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metallurgia					
Carvão Mineral	4,14%		67,42%		65,66%
Elettricidade	67,45%	89,64%	13,96%		15,56%
Óleos Pesados	16,85%	6,09%	8,90%		9,05%
Residuais	11,56%	4,27%	9,72%		9,73%
Consumo energético	554.243	162.565	25.425.781		26.142.589
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	53,71%	55,40%	46,25%	50,75%	51,23%
Elettricidade	29,02%	22,01%	25,80%	27,55%	26,49%
Lenha	13,72%	3,45%	11,79%	13,63%	7,50%
Residuais	3,55%	19,14%	26,77%	8,07%	14,78%
Consumo energético (Gcal útil)	3.610.148	1.736.876	3.181.909	766.560	9.295.493
Química					
Óleos Pesados	68,68%	30,93%	61,56%		61,94%
Elettricidade	9,72%	46,23%	30,34%		27,41%
Outros gases			4,50%		3,66%
Residuais	21,60%	22,84%	3,60%		6,99%
Consumo energético (Gcal útil)	2.667.788	416.662	13.413.851		16.498.301
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	21,58%	22,52%	13,16%	24,70%	16,34%
Elettricidade	50,86%	39,20%	25,27%	46,25%	30,50%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,18%
Residuais	20,56%	13,28%	36,57%	16,05%	28,98%
Consumo energético (Gcal útil)	184.420	1.611.082	3.726.978	108.720	5.631.200
Papel e Celulose					
Óleo: pesados	42,46%	37,36%	40,32%		39,66%
Elettricidade	21,38%	26,05%	23,85%		24,24%
Lenha	29,74%	4,44%	29,71%		21,95%
Residuais	6,42%	32,15%	6,12%		14,15%
Consumo energético (Gcal útil)	981.430	2.561.331	4.795.625		8.338.386
Têxtil					
Óleos Pesados	34,09%	36,56%	38,34%	21,71%	37,17%
Elettricidade	61,77%	49,03%	47,98%	70,72%	51,14%
Óleos Leves	0,14%	0,18%	0,13%	0,02%	0,13%
Residuais	4,00%	14,23%	13,55%	7,55%	11,56%
Consumo energético (Gcal útil)	1.123.752	214.492	4.137.102	75.266	5.552.712

PERFIL DO CONSUMO ENERGÉTICO NO SETOR INDUSTRIAL - ESTADO DE SÃO PAULO - CENÁRIO DE CONSERVAÇÃO
1990

	CPFL	CESP	ELITROPOL	OUTRAS	ESTADO DE SÃO PAULO
Metalurgia					
Carvão Mineral	4,10%		67,25%		65,47%
Elettricidade	66,27%	90,03%	12,98%		14,60%
Óleos Pesados	18,21%	5,76%	8,09%		8,29%
Resíduos	11,42%	4,21%	11,68%		11,64%
Consumo energético	615.573	181.562	28.005.422		28.802.557
Alimentos e Bebidas					
Óleos Pesados	53,38%	55,14%	34,65%	50,44%	47,21%
Elettricidade	29,47%	22,38%	25,25%	27,98%	26,60%
Lenha	13,64%	3,43%	1,17%	13,55%	7,54%
Resíduos	3,51%	19,05%	38,93%	8,03%	18,65%
Consumo energético (Gcal útil)	4.009.221	1.925.910	3.403.847	851.006	10.189.984
Química					
Óleos Pesados	68,67%	29,18%	59,85%		60,50%
Elettricidade	9,72%	46,00%	30,35%		27,41%
Outros gases			4,50%		3,66%
Resíduos	21,61%	24,82%	5,30%		8,43%
Consumo energético (Gcal útil)	2.672.713	418.237	13.464.559		16.555.509
Minerais não Metálicos					
Óleos Pesados	21,58%	22,52%	3,90%	24,70%	10,32%
Elettricidade	50,86%	39,20%	22,09%	46,25%	28,53%
Carvão mineral	7,00%	25,00%	25,00%	13,00%	24,13%
Resíduos	20,56%	13,28%	49,01%	16,05%	37,02%
Consumo energético (Gcal útil)	202.705	1.704.093	3.862.561	121.528	5.890.887
Papel e Celulose					
Óleos pesados	42,36%	37,25%	40,00%		39,43%
Elettricidade	21,56%	26,25%	24,41%		24,63%
Lenha	29,67%	4,10%	29,63%		21,74%
Resíduos	6,41%	32,40%	5,96%		14,20%
Consumo energético (Gcal útil)	1.093.825	2.810.875	5.185.819		9.090.519
Textil					
Óleos Pesados	33,63%	35,54%	36,08%	18,87%	35,35%
Elettricidade	62,28%	46,66%	43,80%	71,17%	48,04%
Óleos Leves	0,14%	0,19%	0,13%	0,02%	0,13%
Resíduos	3,95%	17,61%	19,99%	9,94%	16,48%
Consumo energético (Gcal útil)	1.239.004	232.280	4.532.385	83.148	6.086.817

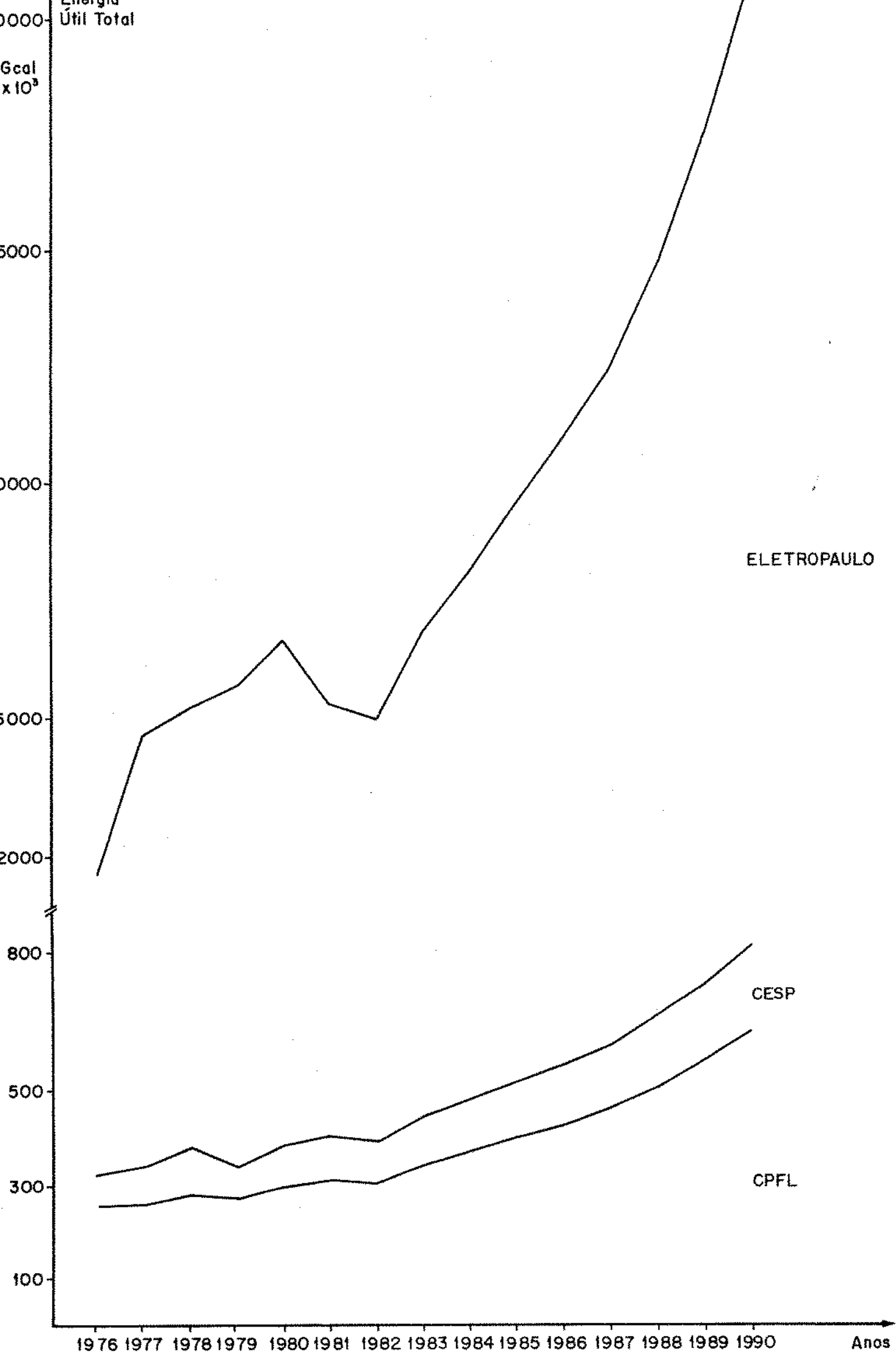


Figura:47-Projeção da Demanda de Energia Útil Total - Metalurgia.

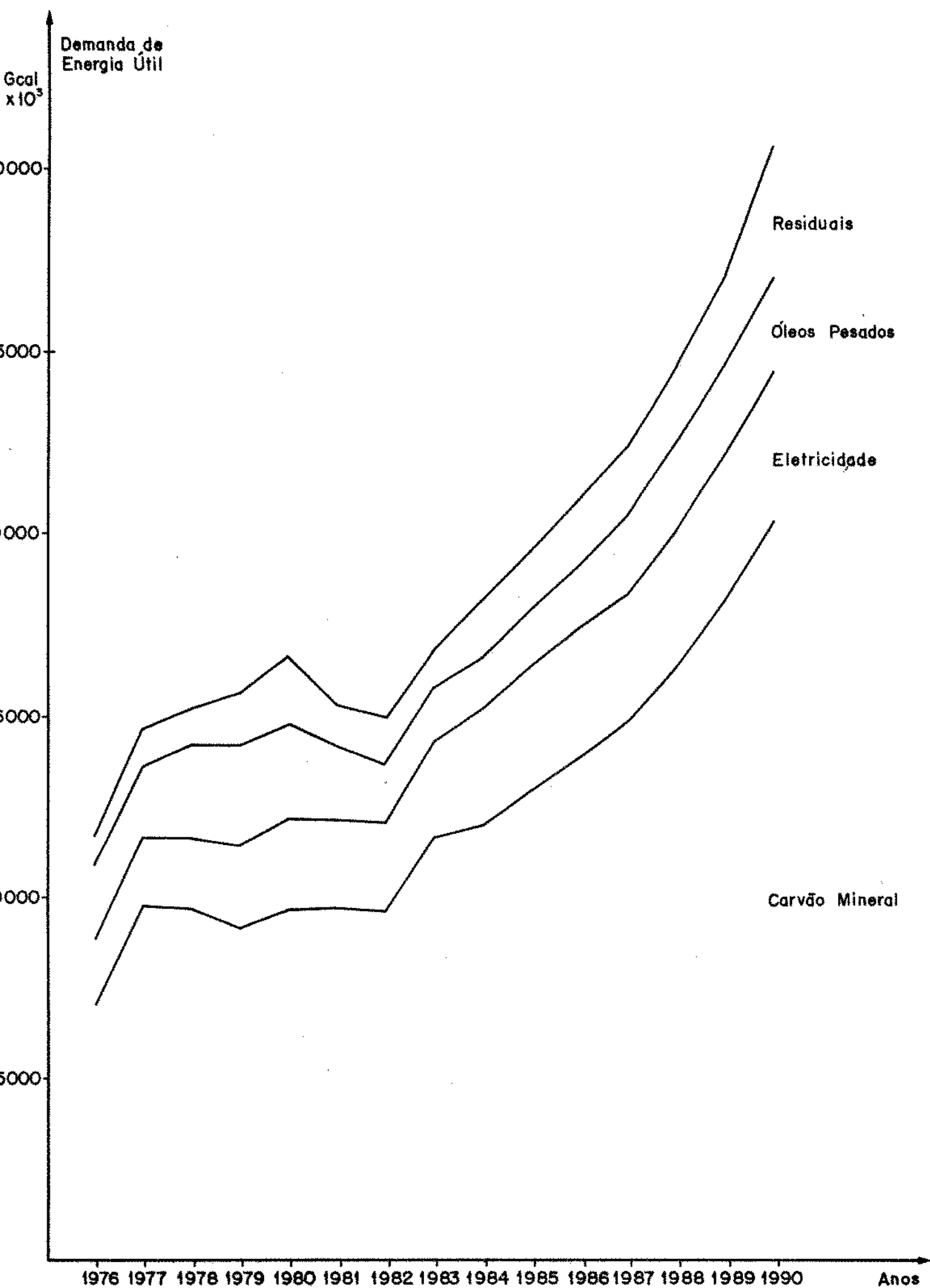


Figura:48-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos-Metalurgia.

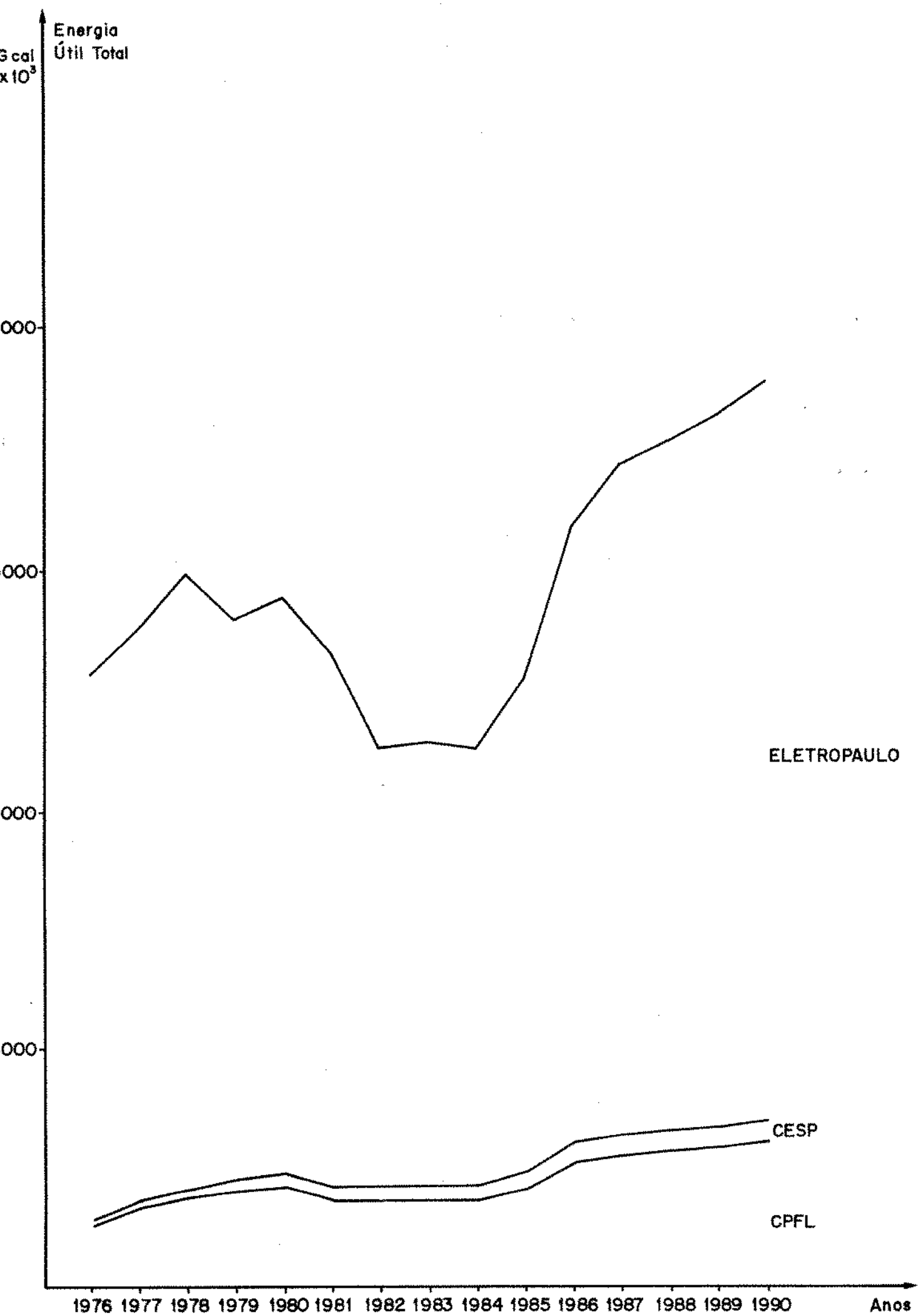


Figura:49-Projeção da Demanda dos Energia Útil Total - Química.

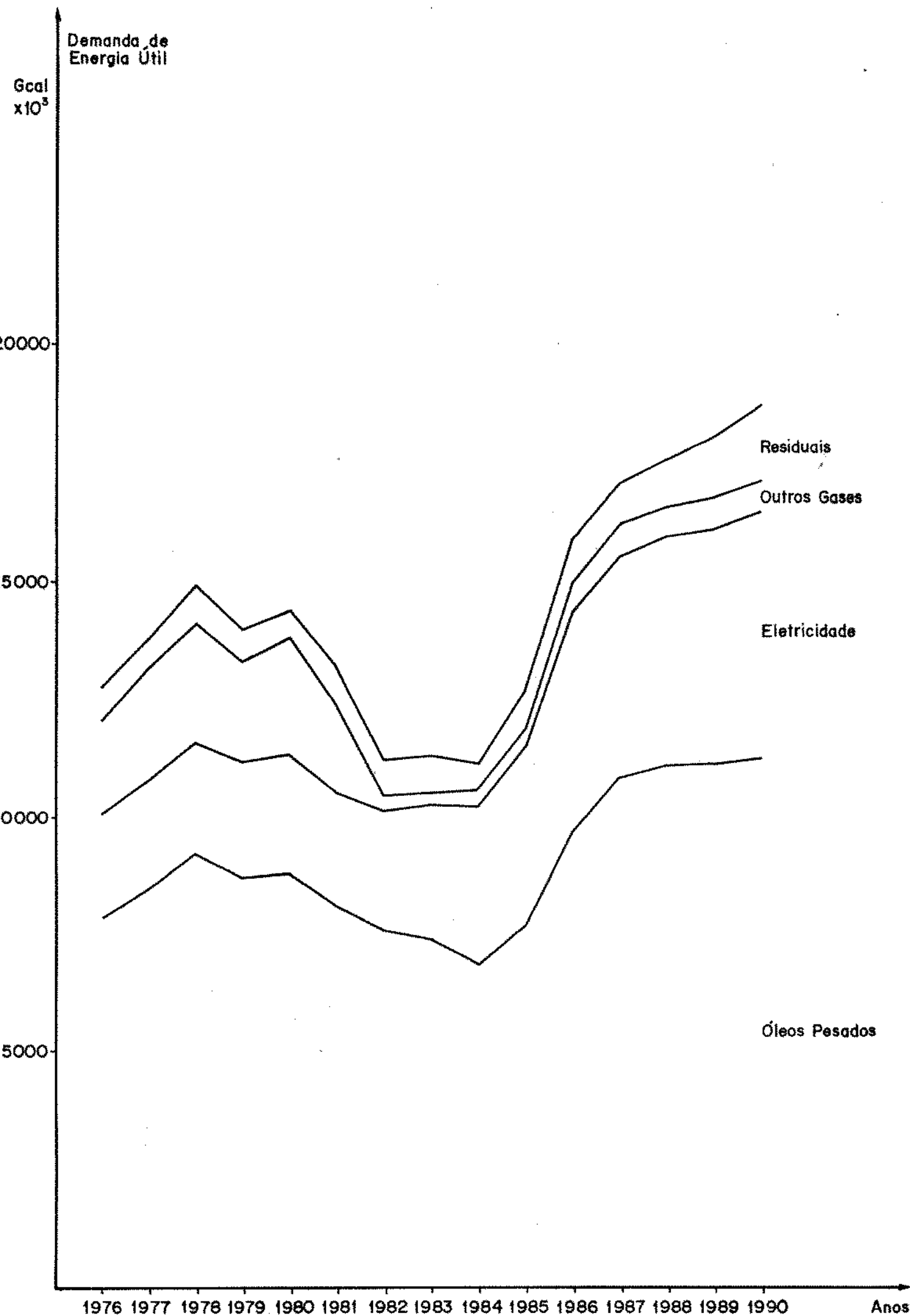


Figura-50-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos - Química .

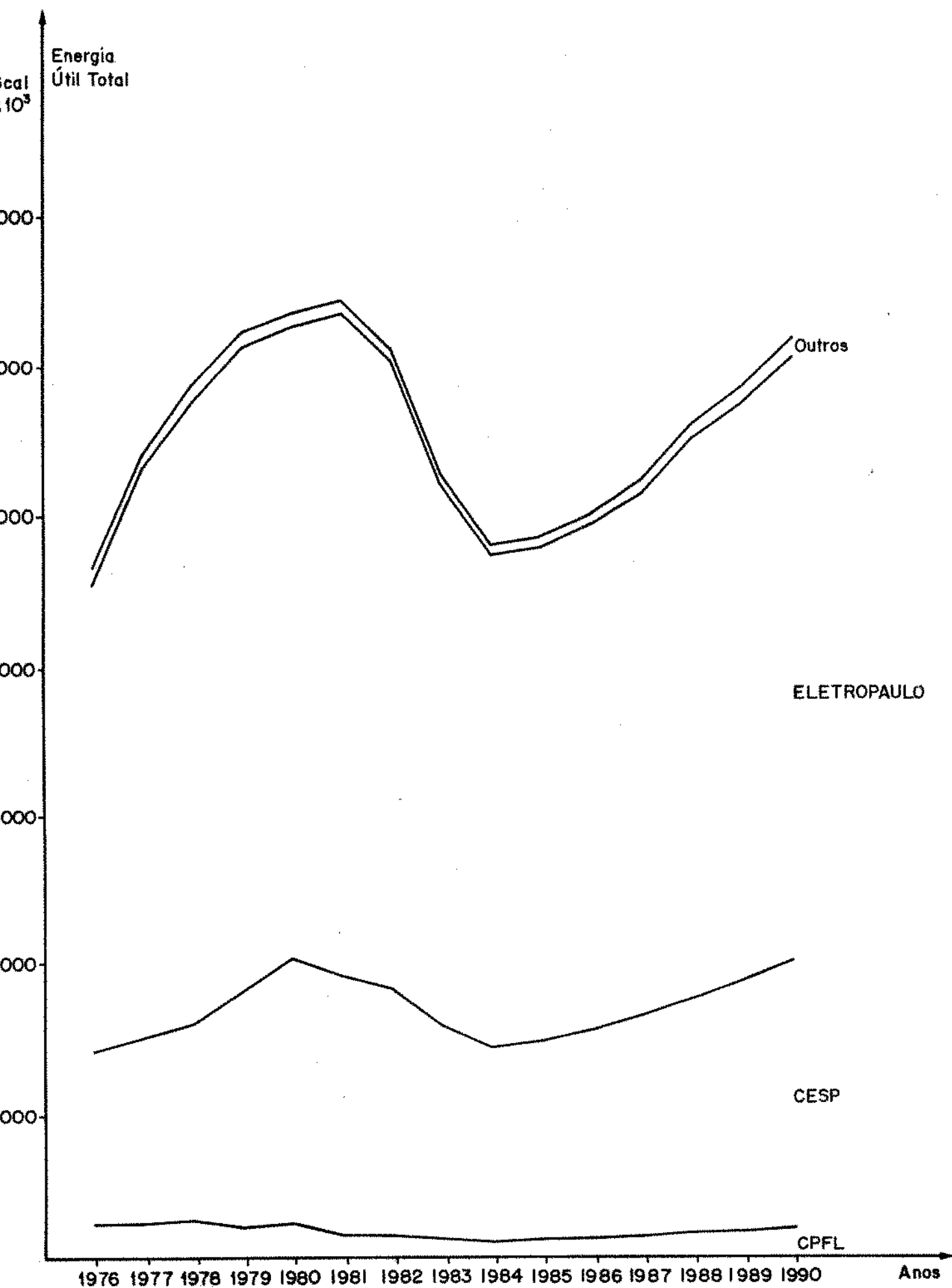


Figura:51-Projeções da Demanda de Energia Útil Total - Minerais não Metálicos.

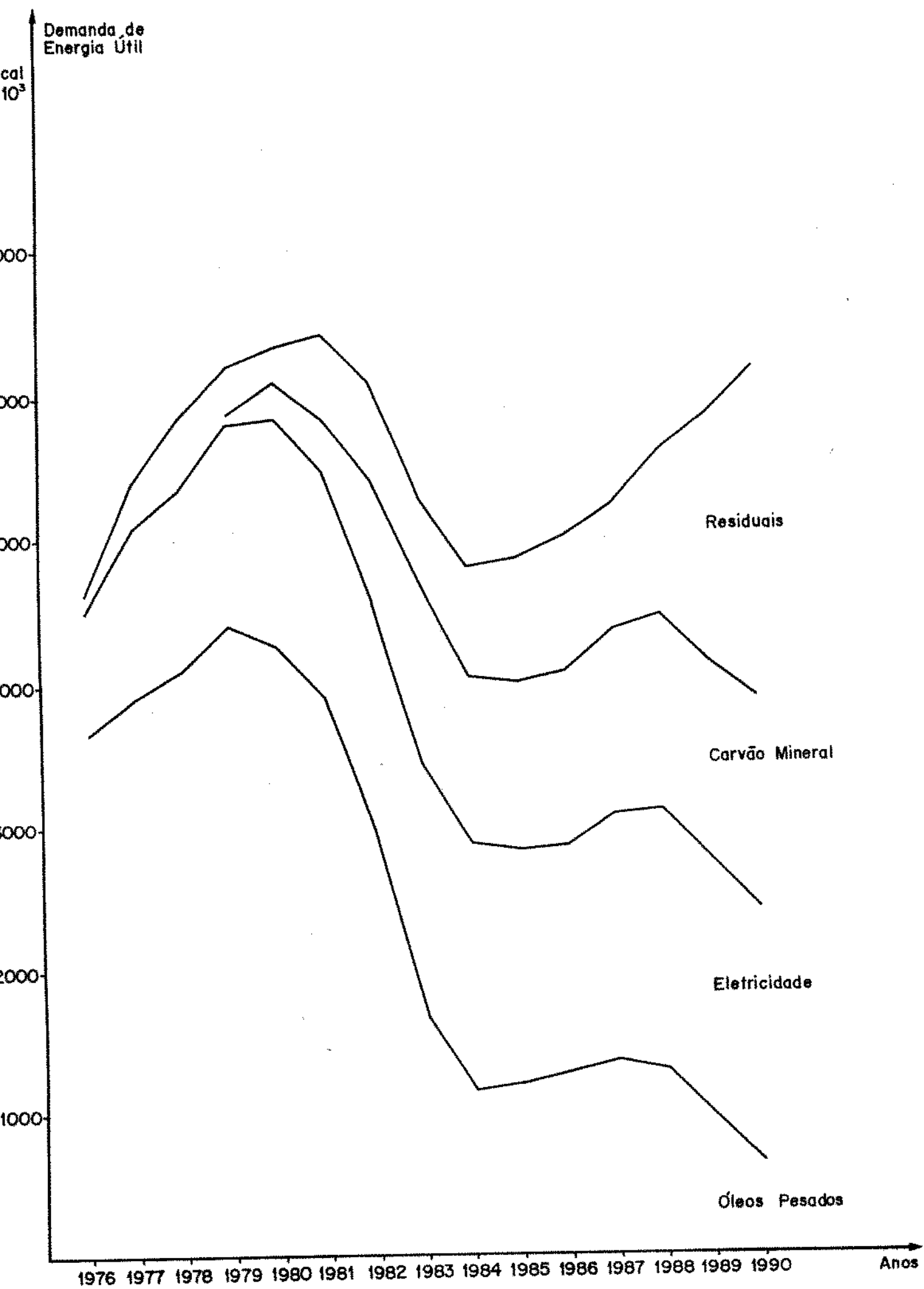


Figura:52-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos - Minerais não Metálicos.

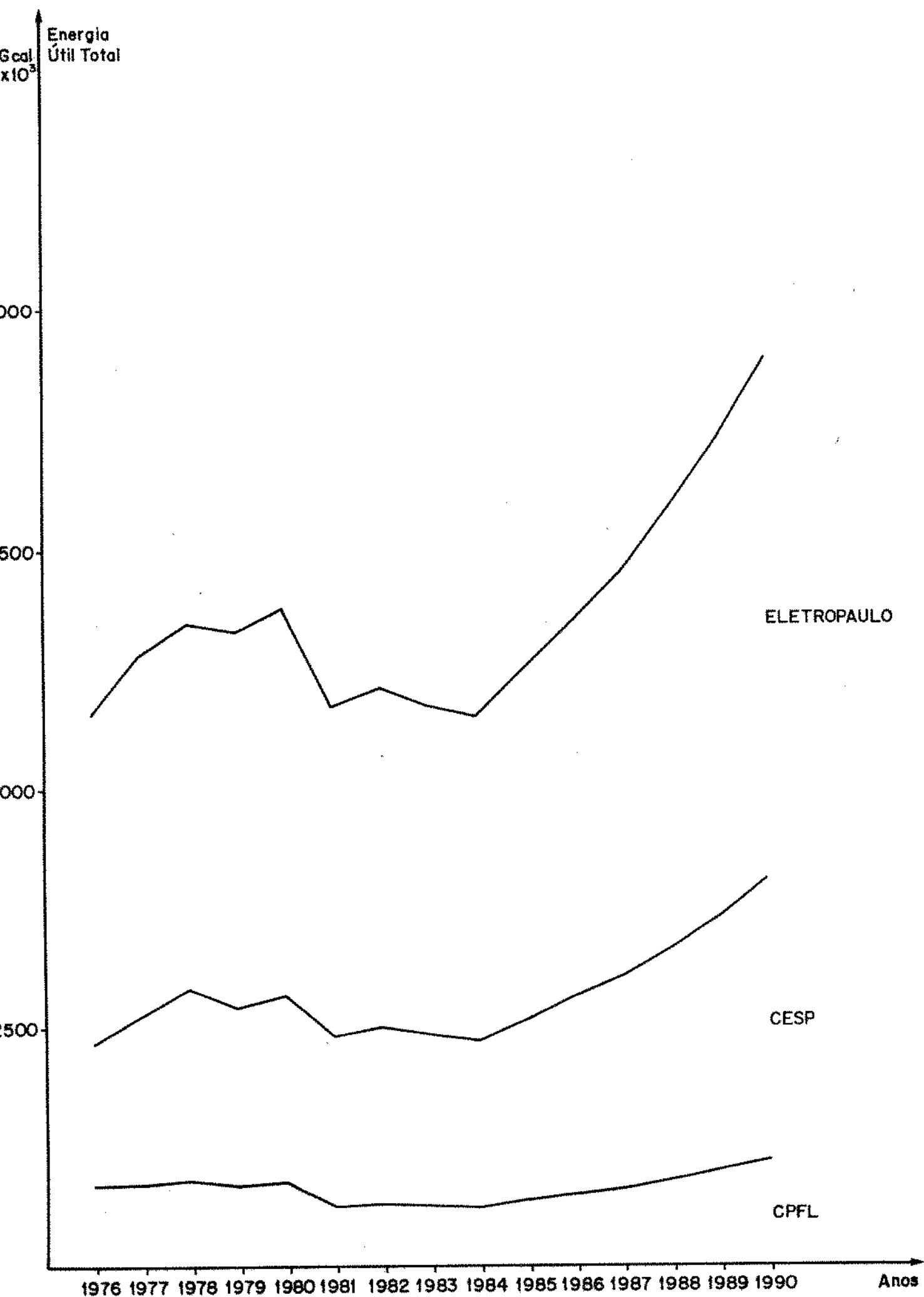


Figura:53-Projeções da Demanda de Energia Útil Total - Papel e Celulose.

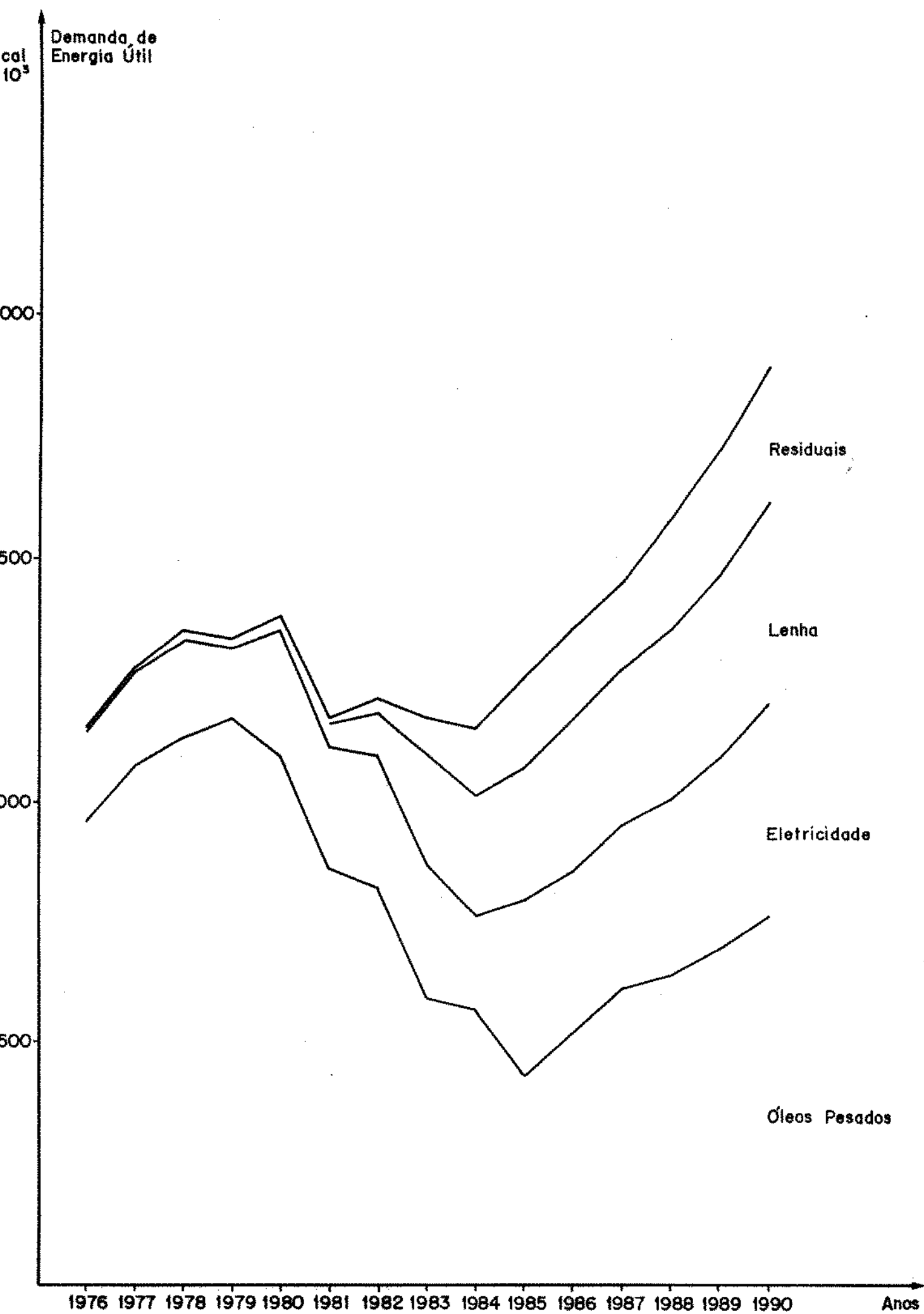


Figura:54-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos - Papel e Celulose.

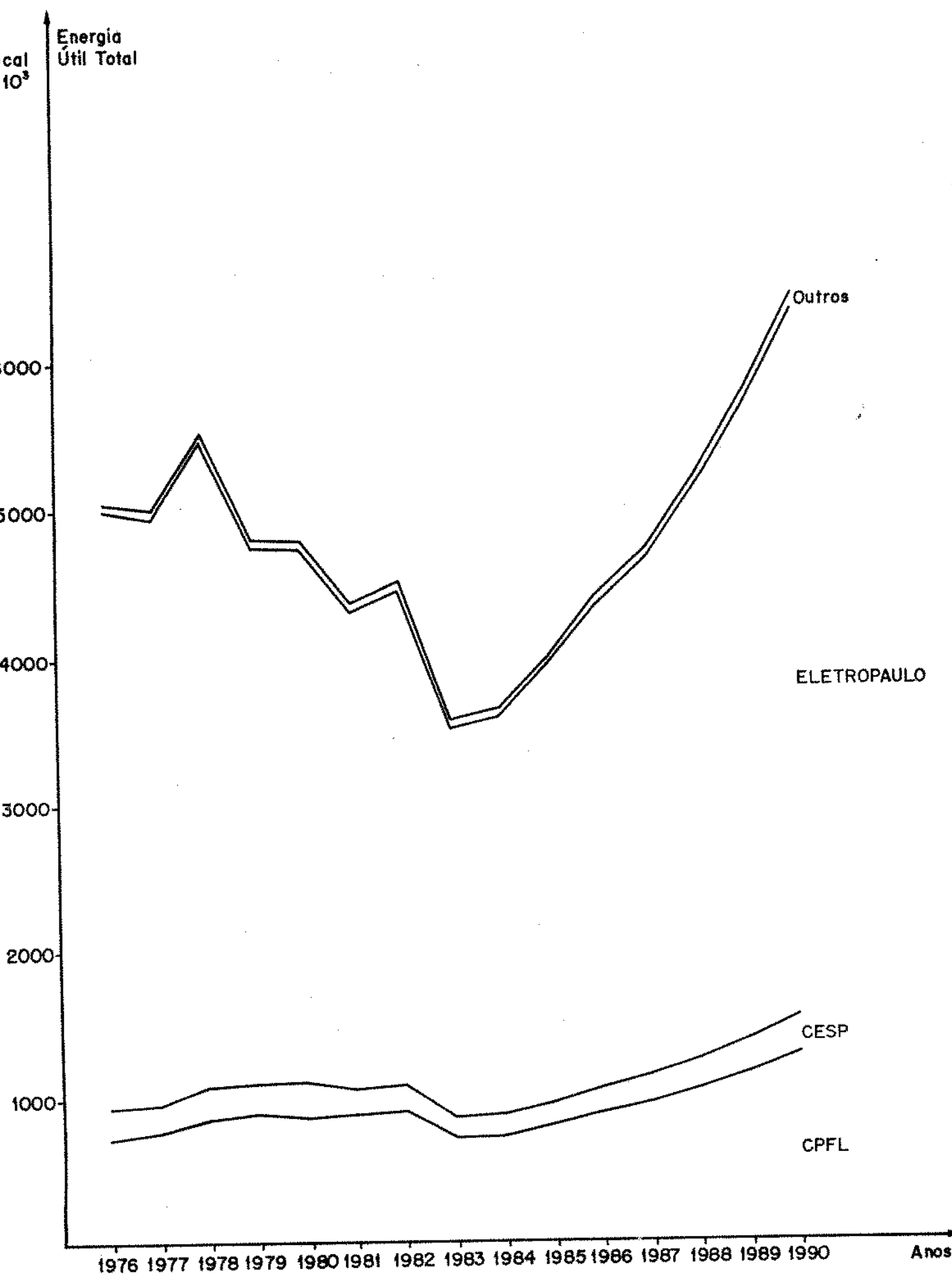


Figura:55-Projeções da Demanda de Energia Útil Total - Têxtil.

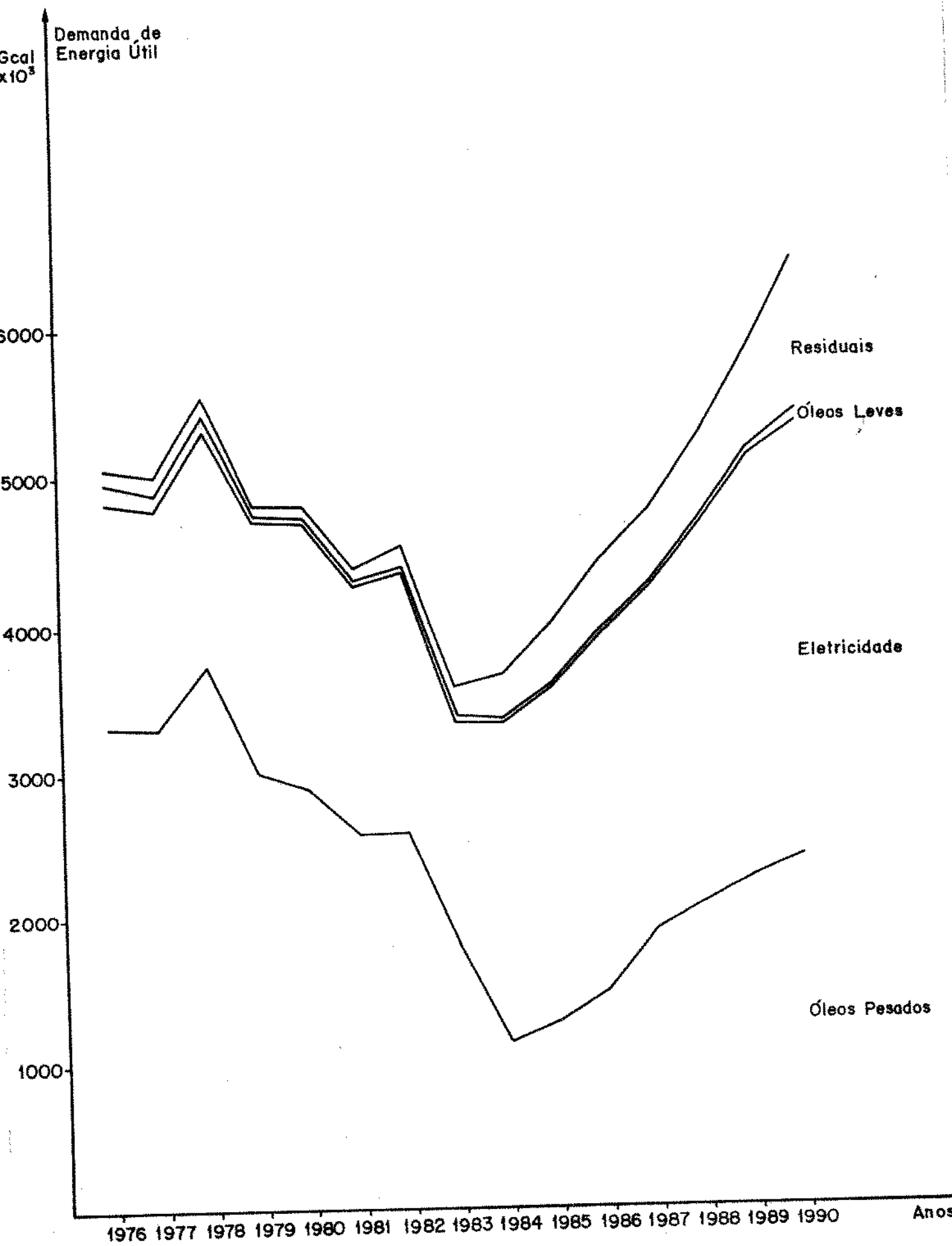


Figura 56-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos - Têxtil.

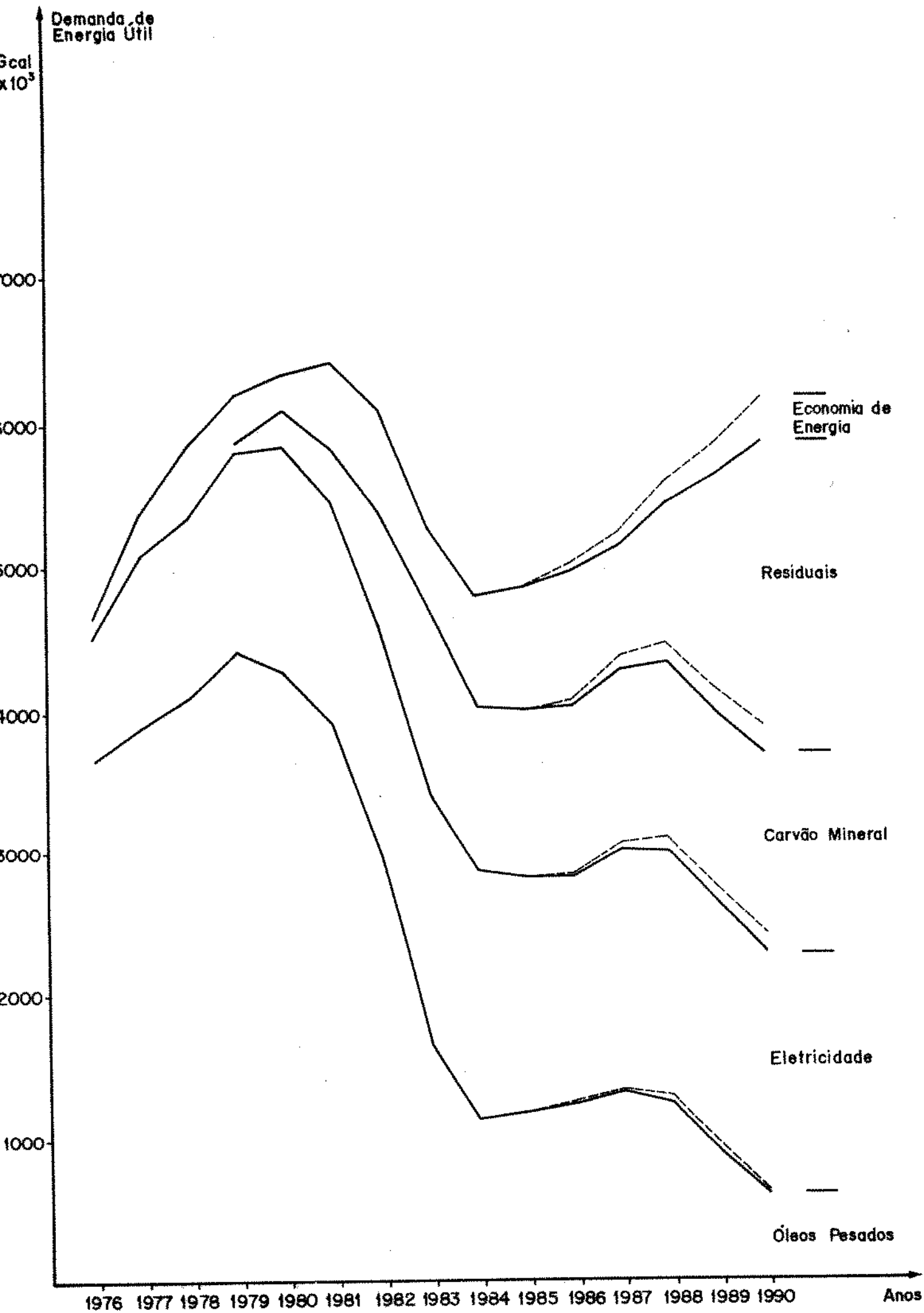


Figura:59-Projeção da Demanda dos Principais Energéticos Considerada a Hipótese de Conservação Minerais não Metálicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - ABIQUIM. Cadastro do Parque Industrial Químico Brasileiro. São Paulo, 1983.
- [2] - Agência para Aplicação de Energia. Pesquisa Industrial de Consumo de Energia. São Paulo, 1984.
- [3] - Andrade, J.O.C., "Algumas novas técnicas aplicadas à área de altos-fornos". Energia nos Processos Siderúrgicos. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1980.
- [4] - Assis, Paulo S. et alii, "Utilização do carvão vegetal na Siderurgia". Produção e Utilização de Carvão Vegetal. Belo Horizonte, CETEC, 1982.
- [5] - Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, "Providências que estão sendo tomadas para racionalização e substituição do consumo de óleo combustível no setor de celulose e papel". Relatório SIG/OC-8. São Paulo, 1981.
- [6] - Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, "Estado de produtividade de óleo combustível". Relatório SIG/OC-10. São Paulo, 1982.
- [7] - Bajay, S.V., "Analysis of Regional Development Alternatives for large power generation systems - A Methodological Approach Concerning the Brazilian South-Eastern Region". Ph.D. dissertation, Dept. of Mechanical Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, G.B., 1981.
- [8] - Bajay, S.V., "Long term electricity demand forecasting models: A review of methodologies". Electric Power System Research, |6|, 243-257, 1983.
- [9] - Bajay, S.V. e Walter, A.C.S., "Projeção da demanda energética regional do setor industrial através de um modelo

abrangente, de base econométrica". III Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, 1984.

- [10] - Baughman, M.L., "Dynamic Energy System Modeling - Interfuel Competition". National Science Foundation (EUA), Report nº PB 220622, 1972.
- [11] - BNDES. Novos Cenários para a Economia Brasileira. Brasília, 1985.
- [12] - Broehl, J.H., "An end-use approach to demand forecasting". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, [6], 2714-2718, 1981.
- [13] - Carvalho, J.F., "A indústria nacional e o Programa Energético Brasileiro". Curso de tecnologia e economia da energia - COPPE/FINEP/UNESCO/PNUD/CEC, Rio de Janeiro, 1983.
- [14] - Casper, M.E., Energy-Saving Techniques for the Food Industry. New Jersey, Noyes Data Corporation, 1977.
- [15] - CEAG/IMT. Manual de Conservação e Controle de Energia na Pequena e Média Empresa do Setor Alimentício. São Paulo, 1982.
- [16] - CEAG, "Possibilidades de redução do consumo energético na indústria cerâmica". Relatório do Programa de Conservação e Substituição de Energia na Pequena e Média Indústria, São Paulo, 1982.
- [17] - CEAG. Seminário "Substituição de Derivados de Petróleo em Sistemas de Vapor", São Paulo, 1984.
- [18] - Centro de Estudios de la Energia. Situación energética en la industria, sectores Química Orgánica, Química Inorgánica e Fertilizantes. Madrid, 1979.
- [19] - Centro de Estudios de la Energia. Técnicas Energéticas en la Industria - Alimentícias. Madrid, 1980.

- [20] - Centro de Estudios de la Energia. Técnicas Energéticas en la Indústria - Químicas. Madrid, 1980.
- [21] - CESP/FDTE. Análises Setoriais - Energia na Indústria. São Paulo, 1981.
- [22] - Chateau, B., "The methodology of long term forecasting: limitations of tradicional methods and proposals". French - American Conference on Energy Systems Forecasting, Planning and Pricing, University of Wisconsin, Madison, February, 1975. Proceedings. Edited by Cicchetti, C.J. & Foel, W.K.
- [23] - Cherkassky, F., "A situação atual do setor de Papel e Celulose". Folha de São Paulo, São Paulo, 4 de fevereiro de 1986.
- [24] - Chern, W.S., "Demand and conservation of end-use and primary energy in the residential and commercial sectors", Energy Systems and Policy [3], 267-285, 1978.
- [25] - Chesshire, J.H. & Surrey, A.J., "Estimating UK Energy Demand for the year 2000: A Sectoral Approach", Science Policy Research Unit Occasional Paper Series nº 5, University of Sussex, 1978.
- [26] - Cimbleris, B. et alii. Manual de recomendação para substituição de óleo combustível nas indústrias de Alimentos e Bebidas. Belo Horizonte, Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa, 1981.
- [27] - Colombo, "Cimento". Curso de Economia e Tecnologia da Energia - COPPE/FINEP/UNESCO/PNUD/CEC, Rio de Janeiro, 1983.
- [28] - Conjuntura Econômica. Vol. 40, nº 3, 1986.
- [29] - Conselho Estadual de Energia. Balanço Energético do Estado de São Paulo 1981. São Paulo, 1984.
- [30] - Conselho Estadual de Energia. Balanço Energético do Estado

de São Paulo 1982 e 1983. São Paulo, 1985.

- [31] - Conselho Estadual de Energia. Balanço Energético do Estado de São Paulo 1984. São Paulo, 1986.
- [32] - Conselho Nacional do Petróleo. Pesquisa de Consumo de Energia. 1979 a 1984. Brasília.
- [33] - Conselho Nacional do Petróleo. Anuário Estatístico 1979. Brasília, 1979.
- [34] - Conselho Nacional do Petróleo. Anuário Estatístico 1980. Brasília, 1980.
- [35] - Conselho Nacional do Petróleo. Anuário Estatístico 1981. Brasília, 1981.
- [36] - Conselho Nacional do Petróleo. Anuário Estatístico 1985. Brasília, 1985.
- [37] - CPFL, "Instalações Elétricas Industriais". 1º Curso de Utilização Racional da Energia Elétrica para Pequenas e Médias Empresas. Campinas, 1982.
- [38] - Davies, C.H., "Forecasting of CEGB power requirements". Infrastructure Projects Course, University of Bradford, Project Planning Centre for Developing Countries, Bradford (G.B.), 1976.
- [39] - Dryden, I.G.C. - The Efficient Use of Energy. Surrey, IPC Science and Technology Press, 1975.
- [40] - ELETROBRÁS, "Plan to meet the electrical energy requirements up to 1990 - Brazilian South-Eastern and Southern Regions". ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras, Rio de Janeiro, 1974.
- [41] - ELETROBRÁS, "Metodologias empregadas nas previsões do mercado de energia elétrica". ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras, Rio de Janeiro, 1981.

- [42] - Energy Research and Development Administration, "Upgrading existing evaporators to reduce energy consumption". Technical Information Center, 1977.
- [43] - Falth, L., Industrial Chemicals. New York, John Wiley & Sons, 1976
- [44] - Fiaschi, A.A., "Papel e Celulose". Curso de Economia e Tecnologia da Energia - COPPE/FINEP/UNESCO-PNUD/CEC, Rio de Janeiro, 1983.
- [45] - Finon, D., "Forecasting the consumption of energy and electricity: the methods used in France". French-American Conference on Energy Systems Forecasting, Planning and Pricing, University of Wisconsin, Madison, February, 1975. Proceedings - Edited by Cicchetti, C.J. and Foel, W.K.
- [46] - Foel, W.K., "A regional energy model for quantitative energy policy analysis". French-American Conference on Energy Systems Forecasting, Planning and Pricing, University of Wisconsin, Madison, February, 1975. Proceedings. Edited by Cicchetti, C.J. and Foel, W.K.
- [47] - Fragoso, D., "Breve introdução à siderurgia". Brasil Mineral - nº 2, 1984.
- [48] - Fuss, M.; Hyndamn, R. & Waverman, L., "Residential, Commercial and industrial demand for energy in Canada: projections to 1985 with three alternative models". Workshop on Energy Demand. International Institute for Applied System Analysis, Loxemburg, 1976. Proceedings. Edited by Nordhous, W.D.
- [49] - Geskin, E.S., "Optimization of energy consumption in batch furnaces". The Metallurgical Society of AIME, Warrendale (E.U.A.), 1980.
- [50] - Goldemberg, J., "Política de Conservação de Energia para o Brasil: Propostas de ações de curto e médio prazos". São Paulo Energia, nº 20, 1985.

- [51] - Goldemberg, J., "Planejamento energético". São Paulo Energia, nº 20, 1985.
- [52] - Hatfield, J.P.; Davies, C.H. & Cox, W.P., "The energy balance method - latest development". Central Electricity Generating Board, London, 1974.
- [53] - Higashi, I., "The balance of steel mills and the utilization of by-product gases". Transactions of The Iron and Steel Institute of Japan, 22: 57-65, 1982.
- [54] - Hu, S.D., Handbook of industrial energy conservation. New York, Van Nostrand Reinhold, 1983.
- [55] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual - 1974 - Região Sudeste. Rio de Janeiro.
- [56] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Industrial - 1975 - São Paulo. Rio de Janeiro, 1980.
- [57] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual - 1976 - Região Sudeste. Rio de Janeiro.
- [58] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual - 1977 - Região Sudeste. Rio de Janeiro, 1981.
- [59] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual - 1978 - Região Sudeste. Rio de Janeiro, 1981.
- [60] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual - 1979 - Região Sudeste. Rio de Janeiro, 1982.
- [61] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Industrial - 1980 - São Paulo. Rio de Janeiro, 1984.
- [62] - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa

Industrial Anual - 1981 - Região Sudeste. Rio de Janeiro, 1984.

- [63] - IPT. Manual de Recomendações para um Programa de Redução de Consumo de Energia na Indústria de Cimento. São Paulo, 1978.
- [64] - IPT. Manual de Recomendações para um Programa de Redução do Consumo de Energia na Indústria de Papel e Celulose. São Paulo, 1978.
- [65] - IPT. Conservação de Energia na Indústria Cerâmica - Manual de Recomendações. São Paulo, 1980.
- [66] - IPT. Conservação de Energia na Indústria de Fundição - Manual de Recomendações. São Paulo, 1981.
- [67] - IPT. Conservação de Energia na Indústria Têxtil - Manual de Recomendações. São Paulo, 1982.
- [68] - IPT. Conservação de Energia na Indústria de Vidro - Manual de Recomendações. São Paulo, 1983.
- [69] - IPT. Uso racional de energia na indústria - Caso típico nº 5. São Paulo, 1983.
- [70] - IPT. Uso racional de energia na indústria - Caso típico nº 6. São Paulo, 1985.
- [71] - IPT. Conservação de Energia na Indústria de Fertilizantes - Manual de Recomendações. São Paulo, 1986.
- [72] - Issa, A., "Aciaria LD". Energia nos Processos Siderúrgicos. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1980.
- [73] - Johnston, J., Econometric Methods. New York, Mc Graw - Hill Kogakusha, 1972.
- [74] - Jorgenson, D.W., "Consumer demand for energy". Workshop on Energy Demand. International Institute for Applied

System Analysis, Loxemburg, 1976. Proceedings. Edited by Nordhaus, W.D.

- [75] - Kobayashi, S., "Energy Saving Techniques of Kawasaki Steel". Kawasaki Steel Technical Report, (2): 43-55, 1981.
- [76] - Kopecki, K.; Marecki, J. & Gora, S., "Methods of evaluating fuel and energy requirements up to the year 2000 in correlation with the population forecast and the dynamic growth of national income". 9th World Energy Conference. Detroit, September 22-27, 1974.
- [77] - Kummel, R., "The impact of energy on industrial growth". Energy [7], 189-203, 1982.
- [78] - Lapillonne, B., Medee 2: A Model for Long Term Energy Demand Evaluation. International Institute for Applied Systems Analysis, Loxemburg, Rep. n° RR - 78-17, 1978.
- [79] - La Rovere, E.L., "A Necessidade de um Enfoque Alternativo para o Planejamento Energético: Em Busca de Estratégias de Desenvolvimento a Baixo Perfil de Demanda de Energia". III Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1984. Anais. 991-1002.
- [80] - Le Goff, P., Energetique Industrielle, vol. 1, Paris, Technique & Documentation, 1979.
- [81] - Lemos, R.C. e Nogueira, R.W.M., "Energia no processo de sinterização". Energia nos Processos Siderúrgicos. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1980.
- [82] - Lima, L.E., "Previsão da demanda energética: influência da estrutura sócio-econômica". II Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, 1981. Anais, 699-710.
- [83] - Lima, L.E., "Obstáculos à racionalização do uso de energia". São Paulo, FDTE/EPUSP, 1983.
- [84] - Louisiana State University. Boiler Efficiency Improvement. Baton Rouge, LSU, 1985.

- [85] - Macedo, I.C., Notas de aula do curso Tópicos Especiais em Termodinâmica, UNICAMP, 1981.
- [86] - Masuda, H., "Economia de energia na laminação de aço". Energia nos Processos Siderúrgicos. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1980.
- [87] - Masuda, H., "Tecnologia e economia de energia na Siderurgia". Curso de Economia e Tecnologia da Energia - COPPE/FINEP/UNESCO - PNUD/CEC, Rio de Janeiro, 1983.
- [88] - Ministério da Indústria e Comércio. Sub-Programa de Apoio Tecnológico em Conservação de Energia no Setor de Papel e Celulose. Brasília, 1982.
- [89] - Ministério de Indústria y Energia, "Fabricación de Cemento". Técnicas de conservación energética en la industria; Ahorro en procesos - vol. 2. Madrid, 1982.
- [90] - Ministério de Indústria y Energia, "Fabricación de vidrio". Técnicas de conservación energética en la industria; Ahorro en procesos - vol. 2. Madrid, 1982
- [91] - Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 1984. Brasília, 1984.
- [92] - Ministério das Minas e Energia/FDTE. Balanço de Energia Útil. Brasília, 1984.
- [93] - Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 1985. Brasília, 1985.
- [94] - Monteiro, M.R.F., "Fabricação do coque metalúrgico". Energia nos Processos Siderúrgicos. Associação Brasileira dos Metais. São Paulo, 1980.
- [95] - Mooz, W.E., "Projecting California electrical energy demand". Seminar on Energy Modelling. Washington, D.C., 269-289, 1973. Proceedings.

- [96] - Moran, M., Availability Analysis: A Guide to Efficient Energy Use. New Jersey, Prentice Hall, 1982.
- [97] - Nunes, J.V., "Pelotização. Combustão nos fornos de pelotização". Energia nos Processos Siderúrgicos. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1980.
- [98] - Ouellette, R.P., Food Industry Energy Alternatives. Westpott, Food and Nutrition, 1980.
- [99] - Pinheiro, N., "Redução direta". Energia nos Processos Siderúrgicos. Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1980.
- [100] - Prado, L.T.P. et alii, "A utilização do modelo MEDEE na avaliação da demanda de energia no Brasil". Estudos Econômicos, número especial, 161-180, 1981.
- [101] - Ratton, A.C.P., "O Problema Energético na Siderurgia Brasileira". X Congresso Brasileiro de Siderurgia, Instituto Brasileiro de Siderurgia, Rio de Janeiro, 1980.
- [102] - Reay, D.A., Industrial Energy Conservation. Oxford, Pergamon Press, 1977.
- [103] - Reister, D.B. & Edmonds, J.A., "Energy demand models based on the translog and CES functions". Energy, [6], 917-926, 1981.
- [104] - Reister, D.B., "The impact of energy conservation incentives for the industrial sector". Energy [7], 247-251, 1982.
- [105] - Rodrigues, A.J.P., "Petróleo, demanda e oferta em 1983". São Paulo Energia, nº 4, 1984.
- [106] - Rosa, L.P. et alii. Energia e Crise. Petrópolis, Editora Vozes, 1984.
- [107] - Ross, M., "Energy consumption by Industry". Annual Review of Energy, [6], 379-416, 1981.

- [108] - Rousso, J., "Avaliação dos Programas de Conservação de Energia". Confederação Nacional da Indústria, Rio de Janeiro, 1984.
- [109] - Sahi, R.K. & Erdmann, R.W., A Policy Model of Canadian Interfuel Substitution Demands. Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1978.
- [110] - Schmidt, R., "Óleo combustível: sua substituição em fundições". XXXVI Congresso Anual da ABM, Recife, 1981.
- [111] - SEADE - Anuário Estatístico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1978 a 1985.
- [112] - Sebesta, D., "Results of load - forecast models differ". Electrical World, 68-69, 1978.
- [113] - Shinohara, Y. et alii, "Development of a slab cooling boiler for energy saving and utilization in steel works". Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, 20 (2): 115-23, 1980.
- [114] - Short, M.J., "Energy demand projection models using interactive computing techniques". Imperial College - Department of Electrical Engineering - Energy and Systems Group. London, 1984.
- [115] - Souza, R.M., "Energia na Indústria de Cimento". Ministério da Indústria e do Comércio - Conselho de Desenvolvimento Industrial, Brasília, 1982.
- [116] - Souza, R.M., "Desempenho do Programa CONSERVE/Tecnologia". Ministério da Indústria e do Comércio - Secretaria de Tecnologia Industrial. Nota técnica. 1985.
- [117] - Sullivan, R.L., Power System Planning. New York, Mc Graw Hill, 1977.
- [118] - Tarabadkar, S.A., "Efficient utilization of steam in textile mills. Colourage, 29(7): 31-41, 1982.

- [119] - Tsvetanov, P., "Econometric analysis of energy demand at IIASA". Second Status Report of the IIASA Project on Energy Systems. International Institute of Applied System Analysis, Loxemburg, 1975.
- [120] - Uri, N.D., "Towards an efficient allocation of electrical energy". Lexington, Div. Co. Heath, 1975.
- [121] - Uri, N.D., "Estimation of demand elasticities: A reflection on the issues". Applied Energy, [9], 243-256, 1981.
- [122] - Van Der Eltz, E.; Ulrich, H., "Textilmaschinen und Energie". Melliand Textilberichte, 62 (10): 801-805, 1981. In: Conservação de Energia na Indústria Têxtil. São Paulo, IPT, 1982.
- [123] - Verleger, P.K., "An econometric analysis of the relationships between macroeconomic activity and US energy consumption". Seminar on Energy Modelling, Washington, D.C., 64-102, 1973. Edited by M.F. Searl.
- [124] - Wagner, R.E., "Energy conservation in dyeing and finishing operation". International Technical Conference - AATCC, 1976. In: Conservação de Energia na Indústria Têxtil. São Paulo, IPT, 1982.
- [125] - Warris, B., "Energy Conservation in the Cement Industry". New Energy Conservation Technologies and their Commercialization - vol. 2, 1982.
- [126] - Wassenaar, K.; Portegies, M.J. & Sars, C.M.Ch.M., "Methods applied to forecast the Netherlands gas and electricity demand". 9th World Energy Conference. Detroit, September 22-27, 1974.
- [127] - Weber, "Heat Transfer in Rotary Kilns". Zement - Kalk - Gips, 1963. In: Manual de Recomendações para um Programa de Redução do Consumo de Energia na Indústria de Cimento. São Paulo, IPT, 1978.

- [128] - Wiles, D.H., "Energy in relation to textile coloration".
Review of Progress in Coloration and Related Topics,
9: 35-47, 1978. In: Conservação de Energia na Indústria
Têxtil. São Paulo, IPT, 1982.
- [129] - Wonnacott, T.H. & Wonnacott, R.J., Introductory Statistics
for Business and Economics. Ottawa, John Willey & Sons,
1977.
- [130] - Woollen, A., "Food industries manual". London, Leonard
Hill, 1969.
- [131] - Zatz, J., "O Papel da Engenharia Nacional no Planejamento
Energético". São Paulo Energia, nº 27, 1986.