

A TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA:

O CASO DO BRASIL

TESE DE DOUTORADO

ESCOLA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA-EPGE

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS-FGV/RJ

Setembro / 1995

199602 138

T/EPGE R375t



1000064930

Autor: SAULO BISPO DOS REIS
Orientador: Prof. José Luiz Carvalho

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS

**A TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA: O CASO DO BRASIL**

TESE SUBMETIDA À CONGREGAÇÃO DA ESCOLA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ECONOMIA - EPGE DO INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA - IBRE PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE

DOUTOR EM ECONOMIA

POR

SAULO BISPO DOS REIS

RIO DE JANEIRO, RJ
SETEMBRO, 1995

DEDICATÓRIA

" In memoriam de meus pais Valdemar Francisco dos Reis e Filomena Bispo dos Reis, que tanto nos incentivaram aos estudos".

" A minha esposa Maria Conceição e a meu filho Matheus, pela paciência e pelo tempo que deles tenho estado afastado, sem poder oferecer-lhes todo carinho que são merecedores, a fim de tornar o sonho do doutorado uma realidade".

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. José Luiz Carvalho pela excelente orientação durante a elaboração deste trabalho e também pelas críticas e valiosas sugestões apresentadas.

Aos professores Fernando Holanda Barbosa e Luiz Guilherme Schymura pelo apoio constante durante todo o curso e definição dos campos para os últimos exames.

Ao Prof. Adilson de Oliveira pelas valiosas críticas e sugestões que resultaram na melhoria da qualidade deste trabalho, principalmente quanto aos resultados empíricos.

A Universidade Federal de Sergipe, através do departamento de Economia, por haver nos liberado para realização do curso de doutorado.

Ao amigo e colega Luiz da Costa Laurencel pela troca de idéias e discussões que clarificaram várias dúvidas decorrentes desta pesquisa.

Ao amigo Sérgio Nilo pelo auxílio incansável durante a obtenção dos dados junto ao setor elétrico que viabilizaram este trabalho.

Ao Prof. Nicodemos Correia Falcão pelos primeiros incentivos à realização do doutorado e pelo estímulo constante.

Ao Economista Antonio Carlos Borges Freire pelo indispensável apoio durante a fase de elaboração desta monografia.

Aos professores Clovis de Faro e Porto Gonçalves que desde o início do curso nos acolheram com simpatia na EPGE, como também aos professores Sérgio Werlang e Rubens Cysne que tanto incentivaram à conclusão do doutorado.

Aos demais professores, colegas e funcionários da EPGE, em especial a ex-secretária Márcia M. G. Andrade pela paciente colaboração durante a elaboração do curso.

À Márcia Bonitz e aos amigos Paulo Ozires dos Santos e Jenisson da Silva Ribeiro pelo primoroso trabalho de digitação e composição gráfica do presente trabalho.

Finalmente, a todos aqueles que contribuíram de algum modo para esta realização e a DEUS por ter nos dado saúde e força para concluir este trabalho.

RESUMO

Neste trabalho realizamos um estudo sobre a produtividade total e as produtividades individuais dos fatores de produção para o setor de geração de energia elétrica no Brasil, usando dados do período 1978 a 1992 das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL.

Utilizando a abordagem da estimação econométrica da função de custo, construímos um modelo do tipo translog que inclui a restrição sobre a taxa de retorno do capital, onde os insumos variáveis são mão-de-obra, materiais elétricos e energia e o único insumo fixo é o capital.

Os resultados da estimação de mínimos quadrados de três estágios iterativos para o modelo básico mostraram que o aumento médio na produtividade total foi de 9,9% ao ano, sendo que a contribuição média da mão-de-obra foi de 0,3% ao ano, a dos materiais elétricos foi de 2,6% ao ano e a da energia foi de 7,0% ao ano no período de estudo.

A situação muda bastante quando estimamos o mesmo modelo sem considerar o intercâmbio do insumo energia elétrica no processo de produção, tendo em vista que o aumento médio na produtividade total cai para 2,4% ao ano, com uma contribuição negativa da mão-de-obra de 1,0% ao ano e contribuições positivas dos insumos materiais elétricos e energia de, respectivamente, 1,4% e 2,0% ao ano.

Como trabalhos complementares, usando este arcabouço teórico, sugerimos a verificação a nível regional da existência do monopólio natural, a determinação do tamanho ótimo da empresa de geração de energia elétrica e a existência de economias de integração vertical entre os segmentos de geração, transmissão e distribuição para o Brasil.

SUMÁRIO

	Pág.
I - INTRODUÇÃO	1
II - O SETOR DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	6
II.1. Aspectos Preliminares	6
II.2. O Mercado da Energia Elétrica	11
II.3. Panorama Histórico-Institucional do Setor Elétrico	13
II.4. A Estrutura Tarifária de Energia Elétrica	20
II.5. As Empresas de Geração de Eletricidade do Sistema ELETROBRÁS	29
III - MEDIDAS E ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE: CONCEITO E METODOLOGIA	50
III.1. Considerações Preliminares	50
III.2. O Estado da Arte	61
III.3. As Várias Abordagens sobre Medidas de Produtividade Total dos Fatores	70
IV - REGULAMENTAÇÃO ECONÔMICA DE EMPRESAS CONCESSIONÁRIAS DE SERVIÇOS	81
IV.1. Considerações Gerais	81
IV.2. O Estado da Arte	84
IV.3. Regulamentação do Setor Elétrico	105
IV.4. O Modelo de Regulamentação Econômica de Arvech-Johnson	117

V - PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES EM INDÚSTRIAS REGULAMENTADAS	130
V.1. A Abordagem Econométrica	130
V.2. A Aplicação à Indústria de Geração de Energia Elétrica	158
VI - ESPECIFICAÇÃO E ESTIMAÇÃO ECONOMÉTRICA DO MODELO	171
VI.1. Formulação do Modelo de Custo	171
VI.2. Especificação Estocástica do Modelo de Crescimento	178
VI.3. Estimação Econométrica	185
VII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	221
VII.1. Perspectivas para o Setor Elétrico no Brasil	221
VII.2. Resultados e Perspectivas para Outros Estudos	225
APÊNDICES	232
A - LISTA DE SÍMBOLOS	232
B - LISTAGENS DE DADOS	234
C - LISTAGENS DAS ESTIMAÇÕES ECONOMÉTRICAS	241
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	247

1 - INTRODUÇÃO

Tem sido cada vez mais crescente nos últimos anos a preocupação, tanto a nível de países quanto a nível de empresas, com a melhoria na tecnologia de produção, o que resulta em aumento de produtividade. Hoje já existe uma consciência geral de que a forma mais eficiente de se alcançar o progresso tecnológico e o crescimento econômico é através do aumento na produtividade, o que depende de uma melhor utilização de recursos na produção de bens e serviços demandados pela sociedade.

Nos últimos dez anos tem-se usado com frequência a palavra produtividade de forma bastante ampla e vaga para expressar talvez algo que seria desejável a todos os países, empresas, entidades públicas etc. Dentro dessa ótica, o aumento contínuo da produtividade resultará em melhor competitividade, através de produtos melhores e mais baratos, serviços mais bem prestados e salários mais altos, conseqüentemente, uma melhoria na qualidade de vida.

O aumento na produtividade permite produzir a mesma quantidade de produto com uma menor quantidade de recursos, portanto existe uma redução nos custos. Esta diminuição de custos resulta em benefícios, que geralmente se distribuem entre consumidores, empresas e empregados.

Embora o conceito de produtividade seja relativamente antigo, a preocupação em colocá-lo em prática atingiu uma dimensão bastante ampla nas últimas duas décadas, transformando-se em um dos principais objetivos de muitos países. Especialmente nos Estados Unidos, a partir dos anos 70, a preocupação com o aumento na produtividade alcançou todos os níveis de direção empresarial, o que resultou na elaboração de inúmeros artigos e livros, realização de milhares de palestras e conferências, abertura de novos cursos nas universidades e incontáveis horas de treinamento nas empresas.

Além dos Estados Unidos, o Canadá, Grã-Bretanha e Austrália também deram prioridade ao crescimento da produtividade, especificamente da produtividade industrial, tendo em vista a ameaça de países como Japão, França, Alemanha e Itália que se transformaram em

campeões do crescimento na produtividade, atingindo taxas anuais bastante superiores a própria média americana nos anos 50 e 60.

Quanto ao Brasil, analisando-se o período 1940/1980, o Produto Interno Bruto cresceu cerca de 15 vezes, enquanto que a população de trabalhadores em atividade multiplicou-se por 3, o que resultou, de forma agregada, no aumento de 5 vezes da produção por trabalhador. Entretanto, este crescimento na produtividade não se manteve durante os anos 80, o que também despertou uma grande preocupação nos últimos anos com esta questão em nosso país.

A teoria necessária para uma melhor compreensão da produtividade total e dos fatores que a influenciam somente foi elaborada de forma precisa a partir dos anos 50, com os trabalhos de Fabricant (1959), Kendrick (1956, 1961, 1973, 1975), Solow (1957, 1960, 1962) e Denison (1962, 1967, 1969, 1972, 1974). Solow e Kendrick elaboram os principais índices de produtividade total dos fatores, que descrevemos mais adiante, enquanto que Denison tornou-se famoso com a elaboração de um modelo que tenta distribuir o aumento da produtividade entre os vários fatores de produção.

Este trabalho pretende fornecer uma contribuição ao desenvolvimento do conceito de produtividade, suas metodologias para cálculo e faz uma aplicação para o setor de geração de energia elétrica no Brasil. Entretanto, convém salientar que não existe uma abordagem única para tratar a questão da produtividade, principalmente sua metodologia de cálculo.

Neste estudo utilizamos abordagem da estimação econométrica da função de produção e custo para fazer as medidas da produtividade total e das produtividades individuais dos fatores, usando dados das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL referente ao período de 1978 a 1992. Entretanto, existem várias outras abordagens alternativas que podem ser utilizadas pelos analistas como a não-paramétrica, via grupos de Lie, índices de Divisia e números índices exatos.

Todas estas abordagens para mensuração do aumento na produtividade, conforme veremos adiante, cometem um erro de aproximação, porque na prática é impossível a determinação

dos verdadeiros conjuntos de possibilidades de produção e demandas das firmas ou das indústrias. No entanto, a abordagem econométrica tem a vantagem da obtenção de estimadores para as verdadeiras funções de produção e custo, ou seja, para as tecnologias de produção subjacentes.

A função de custo utilizada para a realização das medidas de produtividade foi do tipo translog e o modelo construído inclui o efeito de regulamentação do setor elétrico no Brasil quanto ao retorno máximo de capital imobilizado em serviço.

O setor elétrico em todo o mundo é caracterizado pelo seu alto grau de regulamentação. Averch-Johnson(1962) propuseram um método eficiente para medir os efeitos da regulamentação sobre a taxa de retorno do capital próprio das empresas. Eles mostram que este tipo de política econômica induz às firmas a utilizarem insumos de forma ineficiente, geralmente com uma sobrecapitalização, assim tentamos verificar adiante se este tipo de efeito foi significativo na indústria de geração de energia elétrica no Brasil.

Neste trabalho realizamos um estudo sobre a produtividade total e as produtividades individuais dos fatores de produção para o setor de geração de energia elétrica no Brasil, utilizando-se dados das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL. Com este objetivo, inicialmente (Capítulo II), caracterizamos o setor de energia elétrica quanto a aspectos tecnológicos e de mercado e analisamos um pouco da questão tarifária para o Brasil. Apresentamos e discutimos também algumas informações preliminares sobre as empresas citadas, que são alvo deste estudo.

No Capítulo III elaboramos uma síntese sobre o conceito e metodologias utilizadas em medidas e análise de produtividade, iniciando com o conceito de função de produção com progresso tecnológico. Analisamos o estado da arte e as várias abordagens sobre medidas de produtividade total dos fatores como: a estimação econométrica da função de produção e de custo, a abordagem não-paramétrica, a abordagem via grupos de Lie, a abordagem dos índices de Divisia e a abordagem dos números índices exatos.

Uma das características importantes do setor elétrico em qualquer país é a sua regulamentação. A fim situarmos o problema da regulamentação econômica fazemos uma síntese sobre o assunto no Capítulo IV, começando por alguns aspectos gerais dessa teoria,

seu estado da arte e discutindo características da regulamentação em mercados competitivos e aqueles com firmas que têm poder de monopólio. Discutimos as razões para se regulamentar e propomos um esquema, adaptado do trabalho de Braeutigam (1980), que pode ser utilizado para o órgão regulador basear sua decisão.

Dentro do Capítulo IV também discutimos aspectos da regulamentação do setor elétrico, iniciando com as características do mercado de serviços públicos, seguindo com a análise do problema da organização, integração, tecnologia e monopólio na indústria de eletricidade e descrevemos um pouco sobre a experiência do Brasil. Analisamos o modelo de regulamentação econômica de Averch-Johnson, discutindo seus aspectos microeconômicos e formalizando para uma situação onde trabalhamos com uma função de custo variável e as restrições regulatórias sobre a taxa de remuneração do capital utilizado em serviço, que é o único insumo considerado fixo.

Após termos caracterizado o setor elétrico, analisado as várias abordagens para mensurar a produtividade e a questão da regulamentação econômica, estamos em condições de discutir e formular um modelo para realizarmos o experimento empírico com o setor de geração de energia elétrica no Brasil. Realizamos isto no Capítulo V, onde inicialmente discutimos a questão da escolha da forma funcional e propomos, como melhor solução, a função de custo variável translog, onde os insumos variáveis são mão-de-obra (L), material elétrico (M) e energia (E) e o insumo fixo é o capital (K).

O modelo econômico básico proposto é composto pelas equações das participações relativas dos insumos mão-de-obra (S_L), material elétrico (S_M) e energia (S_E) no custo variável, uma equação que faz ligação da tecnologia com a estrutura de demanda e uma equação que capta o efeito da regulamentação sobre o retorno do capital em serviço. Trabalhamos com a idéia de progresso tecnológico via fator de aumento, questionando o pressuposto da neutralidade.

A parte empírica do trabalho está no Capítulo VI, onde iniciamos com a especificação do modelo, discorremos sobre a construção dos dados e a escolha do método de estimação. Utilizando-se o método dos mínimos quadrados de três estágios iterativos, estimamos o modelo básico citado acima e um outro alternativo com as equações do primeiro, exceto aquela referente às restrições de retorno do capital.

Os resultados da estimação mostram pouca diferença entre os dois modelos, principalmente, porque a maioria dos parâmetros da equação da restrição do retorno do capital não são estatisticamente significativos, o que poderá ser algum indício de que a regulamentação não teve efeito ativo sobre o progresso tecnológico no setor de geração de eletricidade no Brasil, durante o período de 1978 a 1972.

No Capítulo VII temos as conclusões e recomendações, onde inicialmente falamos sobre as perspectivas do setor elétrico no Brasil, contemplando inclusive o recente progresso institucional com a Lei n. 8631/93 e a proposta de desverticalização com a implantação do Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica-SINTREL. Discutimos os resultados empíricos do trabalho que mostram um crescimento na produtividade total dos fatores bastante alto, com média próxima de 10% ao ano. Entretanto, veremos que este aumento médio na produtividade total dos fatores cai para valores em torno de 2% quando não se considera o intercâmbio do insumo energia elétrica entre as empresas em estudo e as demais do setor.

Finalmente propomos a realização de estudos adicionais para o Brasil como: (i) a verificação da existência de monopólio natural regional no setor; (ii) a determinação do tamanho ótimo das empresas de geração; e (iii) a verificação da existência de economias de integração vertical entre geração e distribuição.

II. O SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

II.1 - ASPECTOS PRELIMINARES

O que se entende por produção de energia elétrica envolve três etapas bem distintas: geração, transmissão e distribuição. No Brasil, o principal tipo de geração de eletricidade é de origem hidráulica que depende da ocorrência de desníveis topográficos no curso dos rios ou formação de bacias hidrológicas, que permitam o represamento das águas através da construção de barragens. As águas represadas são canalizadas em direção ao grupo gerador que é constituído pela turbina e o gerador. Existe também a alternativa de produção de eletricidade com usinas que aproveitam diretamente a correnteza do curso do rio, chamada produção a fio d'água.

Após a geração, a eletricidade é transportada até os centros consumidores, o que constitui a etapa da transmissão. Nesta fase são necessárias a instalação de torres, fixação de cabos e construção de subestações intermediárias. A fim de aumentar a distância de transporte com um mínimo de perda, a voltagem deve ser tão alta quanto possível.

A última fase é a distribuição da eletricidade aos consumidores. A maior parte da demanda está localizada nos centros urbanos, para onde convergem as torres de transmissão. Nestes centros de consumo, a eletricidade tem sua voltagem rebaixada para diferentes níveis e em seguida ela é entregue aos consumidores através de uma grande malha de postes, cabos, transformadores, etc.

A eletricidade de origem térmica é gerada a partir da combustão do carvão, óleo ou madeira que, ao criar vapor, movimentam as turbinas e o gerador. Daí em diante não existe diferenças entre os processos de produção termelétrico e hidrelétrico; entretanto os custos são bastante distintos.

As usinas termelétricas são implantadas mais rapidamente e a custo menores, pois não são necessários gastos com a construção de barragens e longas linhas de transmissão, já que as mesmas são construídas próximo aos centros de consumo. A situação fica invertida quando comparamos os custos variáveis ou de operação, tendo em vista que as usinas hidrelétricas utilizam um insumo que normalmente é de baixo custo de oportunidade ou gratuito, enquanto que as termelétricas são obrigadas a dispendir recursos na aquisição de matéria-prima e manutenção dos equipamentos que se desgastam bastante com as altas temperaturas.

A formação de sistemas elétricos através da interligação de usinas resulta em aumentos de produtividade. De fato, se usinas geradoras construídas em rios distintos e ofertando energia para um mesmo núcleo urbano são interligadas, as diferenças de precipitação pluviométrica e de nível dos reservatórios poderão ser compatibilizados, de modo a garantir a máxima produção de eletricidade. Caso as usinas atendam a centros distintos, esta interligação garante aumentos na produtividade devido ao aproveitamento de forma mais intensa diante das diferenças nos horários do consumo de eletricidade que podem existir entre os centros de consumo.

As principais características do sistema gerador de energia elétrica brasileiro são: (i) sistema de grande porte, predominantemente hidrelétrico, que ainda possui um potencial significativo para sua expansão; (ii) grandes distâncias entre as usinas geradoras e os principais centros de carga; e (iii) grande volume de armazenamento nos reservatórios, o que permite a regularização plurianual, em média de 4 a 5 anos.

A Tabela II.1, apresenta a capacidade instalada no Brasil, desmembrada por tipo de usina e por região geográfica. Como podemos notar, a participação hidrelétrica na capacidade é de aproximadamente 91%, enquanto que a participação térmica é em torno de 9%.

TABELA II.1 BRASIL - CAPACIDADE INSTALADA EM 1993

UNIDADE: MW

REGIÃO	HIDRAULICA	TÉRMICA	TOTAL
Norte	2.752	833	3.515
Nordeste	6.154	587	6.741
Sudeste	21.808	1.954	23.762
Sul	13.979	1.155	15.134
Centro-Oeste	554	101	655
Total	45.247	4.630	49.877

Fonte: MME/Balanco Energético Nacional/ 1994

As usinas térmicas a derivados de petróleo constituem a reserva dos dois sistemas interligados do país - Sudeste/Centro-Oeste/Sul e Norte/Nordeste - sendo sua operação programada apenas para as condições de baixa hidraulicidade nas usinas hidrelétricas ou em situações de emergência no sistema de transmissão. Além disso, existem as unidades térmicas a derivados de petróleo dos sistemas isolados que estão localizados, principalmente, nas regiões Norte e Centro-Oeste, sendo o óleo diesel o principal combustível.

Quanto ao segmento transmissão, o país contava até o final de 1993 com uma ampla rede associada a um parque gerador predominantemente hidráulico, conforme o Tabela II.2. Na região Sudeste temos uma extensa rede de 345kV que liga as usinas hidrelétricas localizadas nos rios Grande e Paranaíba aos principais centros de carga - São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte - atingindo pontos extremos como Brasília e Vitória. Os principais troncos de transmissão em 440kV estão em São Paulo, partindo das principais usinas da CESP, e atendem à grande São Paulo e ao vale do Paraíba. As linhas de transmissão em 500 kV também se destinam ao escoamento da energia elétrica gerada em algumas usinas localizadas nos rios Grande e Paranaíba e desenvolvem-se no sentido de Belo Horizonte e Grande Rio, onde são integradas com a usina nuclear Angra I.

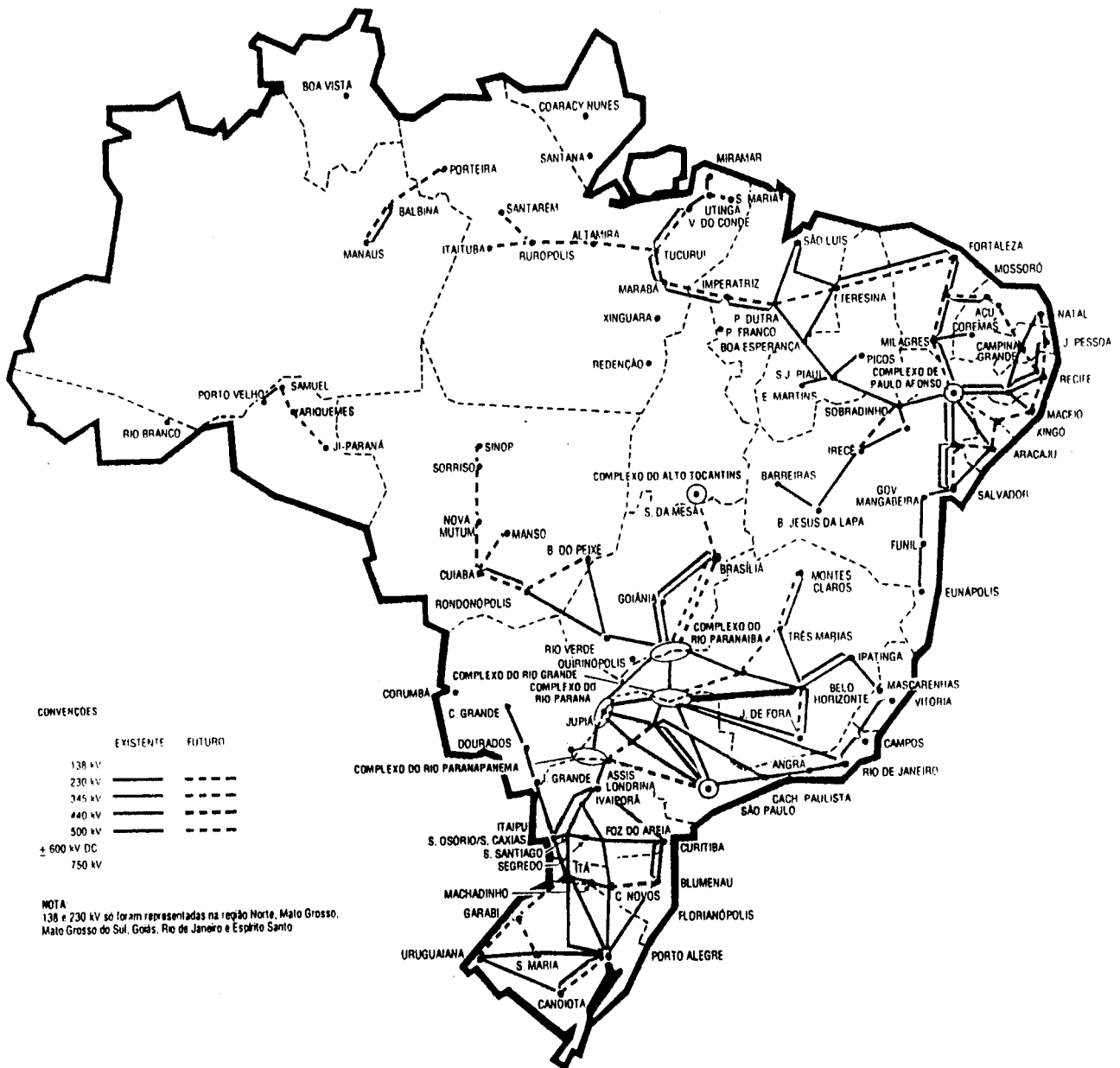


FIGURA II.1 - BRASIL - PRINCIPAIS LINHAS DE TRANSMISSÃO

TABELA II. 2 BRASIL - LINHAS DE TRANSMISSÃO EM 1993

Tensão (KV)	Comprimento (Km)
230	26.600
345	8.460
440	5.920
500	14.150
600	1.610
750	1.780
Total	58420

Fonte: SIESE/ Eletrobrás/ 1994

Partindo de Jupiá (rio Paraná) e Cachoeira Dourada (rio Paranaíba), temos longos troncos radiais, nas tensões de 138kV e 230kV, que são utilizados para atender a demanda dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Os principais sistemas de transmissão da região Sul desenvolvem-se em 230kV e 500kV, ligando as usinas localizadas nos rios Iguaçu, Uruguai e Jacuí aos centros de consumo Curitiba, Porto Alegre, litoral catarinense e norte do Paraná. As linhas de 138kV e 230kV são utilizadas na integração de centrais térmicas a carvão ao sistema da região Sul.

O estabelecimento de uma forte interligação elétrica entre o Sul e o Sudeste aconteceu em 1982, com a finalidade de aproveitar a diversidade hidrológica entre as bacias das duas regiões. Esta interligação consiste na antecipação de parte da primeira linha de 750kV do sistema de transmissão em corrente alternada associada a ITAIPU, que vai de Ivaiporã(PR) até Tijuco Preto(SP). Além disso, existem linhas de transmissão em 500kV, interligando as usinas de Salto Santiago e Foz do Arcia(Rio Iguaçu), entre si, e à subestação de Ivaiporã, o que completa a interligação Sul/Sudeste.

A região Nordeste é suprida por longos circuitos nas tensões de 230 kV e 500kV, que partem de Paulo Afonso e Itaparica em direção aos centros de carga de Salvador, Recife, Natal e Fortaleza. Existem ainda um extenso sistema em 230 kV associado à usina de Boa Esperança (rio Parnaíba), que atende aos polos de carga de São Luis e Terezina.

A interligação Norte/Nordeste estende-se de Sobradinho (rio São Francisco) até as proximidades de Belém e entrou em operação em 1981, com linhas de 500 kV em uma extensão de 1.800 Km. Ela permitiu o suprimento aos referidos centros de consumo com energia hidrelétrica e, como consequência, foram desativados os parques geradores térmicos a óleo existentes na região.

Existem vários sistemas isolados na região Norte, geralmente associados a parques geradores a óleo. Os principais centros de carga atendidos desse modo são Manaus e Porto Velho.

II.2 - O MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA

Durante o período 1970/92, o consumo total de energia elétrica no Brasil apresentou uma taxa geométrica média de crescimento anual de 8,5%. No mesmo período, o Produto Interno Bruto-PIB cresceu em média a 4,7% ao ano, enquanto que o consumo final energético, onde se considera todas as formas de energia, cresceu à taxa média de 4,2% ao ano, conforme os dados apresentados na Tabela II.3. O efeito deste alto crescimento no consumo de energia elétrica reflete-se na crescente penetração deste energético no consumo final de energia do país, pois a sua participação cresceu de 19,3%, em 1970, para 40,1%, em 1992, conforme a Tabela II.3.

**TABELA II.3 BRASIL - CONSUMO DE ENERGIA E PRODUTO INTERNO
BRUTO**
Período: 1970/92

Anos	Consumo Total de Energia Elétrica - (10 ⁶ tEP)	Energia-Consumo Final Energético - (10 ⁶ tEP)	PIB Cr\$ 10 ⁹ (1980)
1970	11.1	67.6	5.5
1971	13.0	72.4	6.1
1972	14.4	77.2	6.9
1973	16.4	84.2	7.8
1974	18.4	89.6	8.5
1975	20.3	93.5	9.0
1976	23.0	99.9	9.8
1977	25.7	104.7	10.3
1978	28.7	110.7	10.8
1979	32.2	118.2	11.6
1980	35.6	122.2	12.6
1981	36.6	119.4	12.2
1982	38.7	122.4	12.4
1983	41.7	125.6	12.0
1984	46.4	133.7	12.7
1985	50.3	141.4	13.8
1986	54.2	149.3	14.9
1987	55.9	155.8	15.3
1988	59.1	159.2	15.3
1989	61.6	162.4	15.8
1990	63.1	159.7	15.1
1991	65.4	164.4	15.1
1992	66.8	166.6	15.0

Fonte: MME/ Balanço Energético Nacional/ 1993

Um fato que podemos destacar é que as variações conjunturais do PIB afetam mais rapidamente o consumo de energia total que o de energia elétrica. Isto pode ser explicado por vários motivos. O principal é que a energia elétrica participa de todos os setores da atividade econômica; assim, as forças que determinam e condicionam o consumo deste energético são mais diversas e de intensidades diferentes daquelas que afetam a trajetória das demais fontes de energia.

O mesmo acontece quanto a tarifa, cujo efeito a curto prazo, de ordem conjuntural, sobre o consumo de energia elétrica é quase desprezível. Entretanto, tarifas decrescentes em termos reais geram, a longo prazo, efeitos multiplicadores, no sentido de incentivar o uso deste energético em substituição a outras fontes de energia.

Podemos observar que o ritmo de crescimento do consumo total de energia elétrica no período 1970/80 foi à taxa de 12,4% ao ano. Sofreu uma mudança brusca em 1981, caindo para 2,8%, principalmente devido à taxa de crescimento negativa de 0,8% ao ano do setor industrial. As taxas de crescimento relativas ao período 1982/90 indicam uma recuperação do ritmo de crescimento, apesar da persistência da recessão econômica que o país atravessou. Devemos destacar a importância da contribuição da eletrotermia (em substituição aos derivados do petróleo) no aumento do consumo de energia elétrica, que em 1984 representou cerca de 5,4% do crescimento de 10% do consumo de energia industrial.

A variação nos valores reais das tarifas foi um dos fatores que mais contribuiu para o crescimento do mercado de energia elétrica no Brasil. Embora, crescentes em termos nominais, quando inflacionadas pelo IGP-FGV, as tarifas decresceram em termos reais em 1983 para valores correspondentes a cerca de 60% daqueles verificados em 1974 para o consumo residencial e de 99% para o consumo industrial. A Tabela II.4 apresenta o consumo de energia elétrica no Brasil, destacando os consumos das classes residencial e industrial, que juntas representam cerca de 75% do consumo total, ao longo do período de análise.

A classe de consumo industrial destaca-se pelo seu peso relativo e importância econômica como formadora e distribuidora de renda. Sua participação relativa evoluiu de 51,2% em 1970 para 50,5% em 1992. Neste mesmo período, o consumo industrial cresceu à taxa geométrica média de 8,5% ao ano.

TABELA II.4 - BRASIL - CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Período: 1970/92

Valores em 10⁶ MWh

Anos	Residencial	Industrial	Outros	Total
1970	8,4	19,5	10,2	38.1
1971	9.2	22.3	13.3	44.8
1972	9.9	25.3	14.6	49.8
1973	10.9	29.5	16.3	56.7
1974	12.0	33.5	17.8	63.3
1975	13.2	36.9	19.7	69.8
1976	14.9	42.7	21.7	79.3
1977	17.1	48.2	23.5	88.8
1978	18.9	54.5	25.6	99.0
1979	21.0	61.7	28.3	111.0
1980	23.3	68.2	31.2	122.7
1981	25.0	67.7	33.5	126.2
1982	27.1	70.4	36.1	133.6
1983	29.7	75.3	38.9	143.9
1984	30.9	87.2	41.9	160.0
1985	32.6	96.2	44.8	173.6
1986	35.8	104.4	46.9	187.1
1987	38.4	104.9	49.5	192.8
1988	40.5	111.4	52.0	203.9
1989	43.7	114.5	54.2	212.4
1990	48.7	112.3	56.7	217.7
1991	51.0	115.0	59.4	225.4
1992	52.1	116.4	61.9	230.4

Fonte: MME - Balanço Energético Nacional- 1993

Durante o período de análise, o consumo residencial apresentou uma taxa geométrica média de crescimento de 8,6% ao ano e sua participação tem sido de pouco mais que 20% em relação ao consumo total de energia elétrica. A urbanização crescente e as evidências de que o estoque de aparelhos elétricos vêm aumentando continuamente são os responsáveis por este crescimento.

TABELA II.5 - BRASIL E REGIÕES GEOGRÁFICAS - CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Período: 1970/92

Valores em 10⁶ MWh

Anos	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro - Oeste	Brasil
1970	0.4	3.3	29.7	4.2	0.6	38.1
1971	0.5	3.9	34.7	4.9	0.8	44.8
1972	0.6	4.6	88.1	5.6	0.9	49.8
1973	0.7	5.5	42.9	6.4	1.2	56.7
1974	0.9	6.5	47.2	7.3	1.4	63.3
1975	1.1	7.4	51.4	8.2	1.6	69.8
1976	1.2	9.5	57.3	9.4	1.9	79.3
1977	1.4	10.3	63.8	10.9	2.3	88.6
1978	1.6	12.4	70.4	12.1	2.6	99.0
1979	1.9	14.2	78.2	13.7	3.0	111.0
1980	2.4	15.7	85.7	15.5	3.5	122.7
1981	2.8	16.7	86.4	16.5	3.8	126.2
1982	3.1	18.1	90.5	17.7	4.3	133.6
1983	3.4	20.2	96.3	19.1	4.9	143.9
1984	3.4	22.7	106.6	21.5	5.7	160.0
1985	3.5	25.6	114.6	23.4	6.5	173.6
1986	5.6	29.0	121.5	23.9	7.1	187.1
1987	7.2	27.8	123.9	26.2	7.6	192.8
1988	7.5	29.8	130.6	27.5	8.4	203.9
1989	8.0	31.7	135.4	28.6	8.7	212.4
1990	9.3	33.3	135.8	30.0	9.2	217.7
1991	11.0	35.4	137.8	31.5	9.7	225.4
1992	11.5	36.8	139.5	32.7	9.9	230.4

Fonte: MME - Balanço Energético Nacional/1993

Os dados das Tabelas II.5 e II.6 mostram que houve um aumento nas participações das regiões geográficas do Brasil, com a consequente diminuição na concentração de consumo de energia elétrica na região Sudeste. Quanto ao consumo percapita de energia elétrica, os resultados apresentados na Tabela II.7 indicam uma evidência de redução nas disparidades, tendo em vista que este índice cresceu mais rapidamente em outras regiões, em relação ao crescimento da região Sudeste e da média do Brasil.

TABELA II.6 - BRASIL E REGIÕES GEOGRÁFICAS - PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Anos	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
1970	1.0	8.6	78.6	10.3	1.5	100.0
1975	1.6	10.6	73.7	11.8	2.3	100.0
1980	1.9	12.8	69.9	12.6	2.8	100.0
1985	2.0	14.8	66.0	13.5	3.7	100.0
1990	4.3	15.3	62.4	13.8	4.2	100.0
1993	4.9	15.7	60.4	14.5	4.5	100.0

Fonte: MME - Balanço Energético Nacional/1993 e SIESE/ELETOBRÁS

TABELA II.7 - BRASIL E REGIÕES GEOGRÁFICAS - PARTICIPAÇÃO PER CAPITA DE ENERGIA ELÉTRICA

Valores emKWh/Habitante

Anos	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
1970	100	120	733	251	120	405
1975	207	234	1.083	460	256	639
1980	390	444	1.624	788	455	1008
1985	504	656	1.590	1.083	547	1.272
1993	1.022	816	2.139	1.453	1.025	1.500

Fonte: MME - Balanço Energético Nacional/1993

II.3 - PANORAMA HISTÓRICO-INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO

A primeira usina hidrelétrica instalada no Brasil para utilização pública foi a de Marmelos, localizada no rio Paraibuna e inaugurada em 1889. Ela tinha a finalidade de fornecer energia elétrica à cidade mineira de Juiz de Fora, que obteve um grande desenvolvimento devido as fábricas que na época ali se instalaram.

O progresso tecnológico, ocorrido desde o começo do século, nas áreas de fabricação de grandes geradores hidrelétricos, construção de barragens e transmissão de eletricidade, encontrou condições favoráveis devido à estrutura dos recursos energéticos do Brasil. Dentro de uma perspectiva de uma economia ainda incipiente foram organizadas companhias, sob controle de capitais estrangeiros, que tiveram grande importância na evolução do setor elétrico nacional.

Essa participação estrangeira começou em 1899, quando o grupo Light recebeu autorização para funcionar em São Paulo, iniciando a construção da usina de Parnaíba no rio Tietê, que foi concluída em 1901 e tinha capacidade de 2 MW. No Rio de Janeiro, a Light iniciou em 1905 a construção de uma grande usina hidrelétrica no Ribeirão das Lajes, que na época era uma das maiores do mundo. Essa usina foi concluída em 1908 e um ano após já fornecia energia elétrica à cidade do Rio de Janeiro, com uma capacidade geradora de 24 MW.

A nível de Nordeste, a chave inicial das soluções de seus problemas estava no rio São Francisco, através da cachoeira de Paulo Afonso. O mérito de fazer o primeiro aproveitamento hidrelétrico dessa cachoeira foi de Delmiro Gouveia, que inaugurou ali uma usina de 1.600 cavalos vapor em 1913.

Durante a década de 20, a oferta de energia elétrica era bastante superior a demanda no Rio de Janeiro e São Paulo, o que concorreu para o crescimento urbano e industrial dessas áreas e criou expectativas otimistas em vários pontos do país. A partir de 1924, a American

Foreign and Power Co. começa a se instalar no interior paulista, servindo a zona do café, adquirindo vários dos pequenos concessionários, que mais adiante formaram a Companhia Paulista de Fôrça e Luz. Após 1927, esse grupo começa a adquirir o controle de vários concessionários já existentes e dos serviços públicos de energia elétrica em diversas capitais e grandes cidades, fixando-se em Natal, Maceió, Salvador, Vitória, Niterói, São Gonçalo, Petrópolis, Belo Horizonte, Curitiba, Porto Alegre, Rio Grande e Pelotas.

Em 1930, a potência instalada no Brasil era de 779MW, dos quais 630MW eram de origem hidráulica e 149 MW de origem térmica, com um total de 891 usinas funcionando. O setor era privatizado e não existia um instrumento jurídico regulador e coordenador da produção e comercialização desse serviço básico, tão importante para o desenvolvimento do país.

A Constituição de 1934 incorpora os princípios básicos do Código de Águas e atribui à União a competência para legislar sobre energia hidráulica. Bem mais adiante, em 1957, a criação da Divisão de Águas, do Departamento Nacional da Produção Mineral, e do Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica permitiram o Governo Federal atuar no setor, no sentido normativo e fiscalizador, até a criação do Ministério das Minas e Energia em 1960, que ficou responsável pela política energética do país.

Contudo, a implantação e a organização de fato do Ministério das Minas e Energia foram realizadas em 1965, passando os serviços de fiscalização da exploração de energia elétrica a ter nível e âmbito administrativo de departamento, criando-se o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE. Este órgão responde até hoje por: (i) planejamento, coordenação e execução dos serviços hidrológicos em todo território nacional; (ii) supervisão, fiscalização e controle dos aproveitamentos de águas que alteram o seu regime; e (iii) fiscalização e controle dos serviços de eletricidade.

Nos anos 50 começam a ser criadas empresas de economia mista no setor elétrico, com isso são projetadas ou iniciadas obras de grande porte. A CHESF surgiu em 1945 para explorar os recursos hídricos do rio São Francisco e a primeira usina de Paulo Afonso foi

inaugurada em 1955, que posteriormente foi ampliada com Paulo Afonso II, III e IV. A CEMIG elaborou em 1952 um plano geral de eletrificação de Minas Gerais, iniciando a construção da usina de Três Marias, com uma imensa barragem de terra, que na época era uma das maiores do mundo. Logo a seguir, FURNAS começa o aproveitamento hidrelétrico do rio Grande, que limita os Estados de São Paulo e Minas Gerais, beneficiando a maior região industrial e econômica do país. Enquanto isso, os paulistas partiram para o aproveitamento hidrelétrico de Urubupungá, no rio Paraná, surgindo o grande complexo energético de Ilha Solteira e Jupia. No Nordeste construiu-se a hidrelétrica de Boa Esperança no rio Parnaíba.

A criação da ELETROBRÁS, em 1962, consolidou finalmente a política energética nacional. Esta empresa funciona como uma "holding" de um conjunto de concessionárias que contam com certo grau de autonomia administrativa. Ela passou a gerir vultosos recursos e tornou-se a principal agência financeira do setor elétrico. Os resultados alcançados mostram o acerto dessa nova orientação, pois a potência total instalada em 1962 era de aproximadamente 5.700MV e em 1993 já atingia cerca de 49.900 MV.

A partir dos anos 90, o Brasil passou a necessitar cada vez mais de energia para atender o crescimento da demanda em todos os setores de produção. A política da ELETROBRÁS fundamenta-se no aproveitamento máximo das reservas renováveis, como as águas dos rios, poupando-se os energéticos não renováveis, como o carvão e o petróleo. O cronograma do Programa de Recuperação do Setor de Energia Elétrica-PRS previa uma capacidade total instalada de aproximadamente 75.000MV até 1995, incluindo as ampliações de Tucuruí (rio Tocantins) e Itaipu (rio Paraná). Encontra-se em fase de projeto ou em construção usinas com um total de cerca de 17.700MV, destacando-se Xingó (5.000MV), Itá (1.620MV), Serra da Mesa (1.200MV), Segredo (1.200MV), Machadinho (1.200MV) e Nova Ponte (510MV).

O programa do carvão-vapor nacional está em andamento, sendo bastante expressivo a nível da região Sul, onde planeja-se e executa-se várias expansões na geração térmica em Jorge Lacerda IV, Candiota, Jacuí e Presidente Médice.

II.4 - A ESTRUTURA TARIFÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

II.4.1. Estrutura e Organização do Setor

Os serviços de energia elétrica são a produção, a transmissão e a distribuição da energia, além dos serviços acessórios como a conversão de corrente elétrica, a correção de fator de potência e o seccionamento de circuitos. A exploração comercial destes serviços depende de concessão federal, através do Ministério das Minas e Energia que autoriza o funcionamento de empresas federais, estaduais, privadas, ou outras entidades jurídicas como prefeituras. A classificação das concessionárias em federais, estaduais, municipais e privadas é realizada de acordo com o controle acionário e a área de atuação de cada empresa.

As empresas federais são controladas pela ELETROBRÁS, com FURNAS, CHESF, ELETROSUL e ELETRONORTE atuando em âmbito regional e a LIGHT atuando em âmbito estadual. As empresas federais regionais destinam-se, prioritariamente, à geração e a transmissão, vendendo energia elétrica em grosso às empresas estaduais e privadas. Algumas empresas estaduais também geram grande parte da energia consumida. As concessionárias privadas atuam em área delimitada pela concessão que geralmente compreende um ou mais centros urbanos.

O Ministério das Minas e Energia coordena, supervisiona e orienta o setor elétrico brasileiro via o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE e a ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. é a empresa holding do setor elétrico e tem a responsabilidade de implantação e supervisão da política de energia elétrica do país. O DNAEE é o órgão normativo e fiscalizador do setor, com poderes para: (i) conceder o direito de exploração; (ii) autorizar a construção de usinas, a implantação de linhas de transmissão e redes de distribuição; (iii) referendar contratos de intercâmbio de energia elétrica; e (iv) fixar as tarifas e, até recentemente, decidir quanto à distribuição dos recursos da Reserva Global de Garantia, de modo a controlar a rentabilidade das concessionárias.

O sistema de produção de energia elétrica no Brasil se caracteriza pela predominância de usinas hidráulicas com reservatórios de regularização e uma pequena quantidade de termelétricas complementares. Devido ao regime hidrológico dos rios brasileiros ter uma sazonalidade anual, nos períodos chuvosos as usinas hidrelétricas são operadas com prioridade, com as unidades térmicas sendo reservadas para atender as horas de maior consumo de energia durante o dia, ou melhor, as horas de ponta. Nos períodos secos, as usinas térmicas são operadas com mais frequência, objetivando garantir a reserva hidráulica e, desse modo, manter um nível adequado de garantia para os fornecimentos de energia elétrica.

A formação do preço de energia elétrica envolve todos os órgãos de uma empresa de eletricidade. A legislação tarifária representa o arcabouço legal onde se processa a determinação dos preços dos serviços de eletricidade. A estrutura tarifária do setor de energia elétrica foi estabelecida com base nos Decretos 41.019 de 26/02/1957 e 62.724 de 17/02/1968. O Decreto 41.019 definiu os componentes do custo de serviço, introduziu o conceito de excesso ou insuficiência de lucros em relação à taxa de remuneração de investimento e criou adicionais tarifários. Já o decreto 62.724 dispõe sobre normas gerais de tarifação, estabelecendo a classificação geral dos consumidores e a estrutura básica das tarifas.

A legislação foi modificada em 1971 através do Decreto-Lei 5.655 que dispõe sobre a remuneração legal dos investimentos das empresas do setor elétrico. Em 1974 foi criada a quota de garantia, através do Decreto-Lei 1.383, que estabeleceu a equalização tarifária em todo território nacional, utilizando-se a Reserva Global de Garantia como instrumento para sua operacionalização.

Em 1978, criou-se o Plano de Contas do Serviço Público de Energia Elétrica, através do Decreto 82.962, que adequou a contabilidade das concessionárias à legislação comercial e

fiscal do país. Após a criação da SEAP - Secretaria Especial de Abastecimento e Preços, em 1979, o reajustamento das tarifas passou a depender da prévia aprovação deste órgão. Recentemente, a Lei n. 8631/93 permitiu a desqualização tarifária no país.

II.4.2. Estrutura Tarifária "Serviço pelo Custo ao Setor de Energia Elétrica"

O custo do serviço, segundo o Decreto 62.724 de 1968, compreende os seguintes itens:

- a) despesas de exploração;
 - b) quotas de reversão ou de amortização;
 - c) quotas de depreciação;
 - d) remuneração do investimento;
 - e) no caso de empréstimo em moeda estrangeira, a diferença entre o custo de câmbio efetivamente pago para as remessas de juros e a taxa que tenha: (i) servido de base para determinação do custo histórico de propriedade em função do serviço e pelo qual estiver contabilizado o empréstimo em moeda estrangeira; e (ii) sido adotada na última correção do saldo devedor do empréstimo em moeda estrangeira;
 - f) as diferenças em juros e amortização de empréstimo, com cláusula de correção monetária, adquiridos junto ao BNDES ou à ELETROBRÁS; e
 - g) impostos ou taxas efetivamente lançados nos custos das empresas, referentes aos serviços concedidos por elas explorados.
- O arcabouço tarifário baseado no conceito de "serviço pelo custo" dá origem a uma estrutura complexa de preços, na qual os custos globais do setor são apropriados entre as

várias categorias de consumidores. Existem dois parâmetros básicos que classificam os consumidores de energia elétrica:

i) **Nível de tensão do fornecimento:** Caracteriza a elaboração do produto final, pois quanto menor o nível de tensão, mais equipamentos são adicionados, novas estruturas de operação e manutenção são necessários, tornando mais cara a energia a ser consumida. Para fins de análise de custo e fixação de tarifas, os consumidores são divididos em dois grupos básicos: tensão igual ou superior a 2,3 kV (Grupo A) e tensão inferior a 2,3 kV (grupo B).

ii) **Finalidade da utilização da energia:** Leva em consideração a forma de consumir a energia elétrica, se como um bem de produção ou como um bem de consumo. A legislação estabelece as seguintes subclasses: residencial, industrial, comercial, rural, poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio.

II.4.3 - Tarifas de Energia Elétrica Utilizadas no Brasil

Levando-se em consideração a sua composição, as tarifas podem estar estruturadas com um, dois ou três elementos de custo, o que origina a designação de tarifas monômias, binômias ou trinômias. O Decreto 62.728 de 1968 determinou que fossem aplicadas tarifas binômias aos consumidores de alta tensão e as tarifas monômias aos consumidores de baixa tensão.

A tarifa monômia é estabelecida em função do consumo de energia elétrica efetivamente medido. O usuário paga o preço do kWh multiplicado pela quantidade de energia consumida; portanto refere-se à componente de custo consumo de energia.

A tarifa binômia baseia-se em um elemento referente à energia consumida (medida em kWh) e outro referente à demanda de potência (medido em kW). A energia consumida é aquela efetivamente fornecida, enquanto que o elemento de demanda refere-se à energia

que a concessionária poderia ter sido solicitada a entregar, ou seja, a potência máxima instalada.

O Decreto Federal 62.728/68 determinou que os custos de fornecimento de energia elétrica fossem alocados entre os componentes de demanda de potência e consumo de energia. A componente de demanda de potência era para cobrir os custos de remuneração legal, quota de reversão ou de amortização, quota de depreciação, parcela referente ao custo e demanda de potência adquirida, diferenças de câmbio e saldo de conta de resultados a compensar. Já a componente de consumo de energia deve cobrir todas as despesas de exploração e imposto e taxas que incidam sobre a empresa.

Na tarifa trinômia, além dos dois elementos de custos apresentados pela tarifa binômia, tenta-se computar os custos incorridos com o trato específico com cada consumidor. Entretanto, esta tarifa não é utilizada no Brasil, tendo em vista que o número de consumidores é bastante grande e o custo atribuído a cada um é pequeno.

Levando-se em consideração a sua forma, as tarifas utilizadas no Brasil podem ser:

i) Tarifa fixa ou "forfait": Foi o primeiro tipo da tarifa utilizada pelo setor elétrico; baseia-se no consumo presumível de energia elétrica e é definida por preço determinado a priori, em função de um período de tempo em que funcionam as instalações do consumidor. A utilização desta tarifa se justifica até hoje em instalações que não possuem medidor, apresentando consumo baixo e uniforme, como em cidades pequenas do interior, povoados novos, etc.

ii) Tarifa em blocos: Consiste na divisão da quantidade de energia consumida em blocos, atribuindo a cada bloco determinado preço do KWh. Foi utilizada no Brasil na década de 60 e tem a desvantagem de apresentar solução apenas para o custo de energia consumida, não sendo computado o custo da demanda por potência.

iii) Tarifa de "Hopkinson": É adequada para o sistema de tarifação binômio, pois leva em consideração os elementos de custo da demanda de potência e do consumo de energia. Esta tarifa é usada no Brasil para todo o grupo de alta tensão.

iv) Tarifa "off-peak": Ao contrário das anteriores, faz as taxas de demanda de potência e de consumo de energia variarem ao longo do dia, em função da maior ou menor influência exercida pelo consumo de energia no sistema de produção, transmissão e distribuição. No Brasil, este tipo de energia é calculado em função também das estações do ano, caracterizando período seco e período úmido, e recebe a denominação de tarifa horosazonal.

Após a interligação dos sistemas, surgiu no Brasil a possibilidade de se implantar uma política de equalização tarifária em todo território nacional, objetivando diminuir as desigualdades regionais, através do subsídio à implantação de polos industriais onde o custo de energia elétrica fosse mais elevado. A partir de 1974, o DNAEE realizou a equalização tarifária de forma gradativa, de modo que o custo do serviço de energia elétrica deixou de ser calculado por empresa, mas sim para o parque elétrico brasileiro como um grande sistema.

As contas dos consumidores de energia elétrica, além da tarifa de fornecimento estipulada por lei, são acrescidas das seguintes parcelas: ICMS e taxas de serviço quando fôr o caso. Estes acréscimos são calculados com base em uma percentagem da tarifa fiscal, que representa o preço médio do quilowatt-hora vendido. Esta tarifa ainda segue o

comportamento das tarifas de fornecimento equalizadas, sendo também calculada pelo DNAEE.

11.4.4. - Evolução Histórica dos Preços de Energia Elétrica no Brasil

A história recente do setor elétrico no Brasil mostra que a formação de preços sofreu mutações, a fim de se compatibilizar com a política econômica global de cada ciclo particular. Até meados da década de 70, o sistema tarifário seguiu rigorosamente o princípio do custo do serviço. O crescimento econômico acelerado da economia brasileira exigiu requisitos mais que proporcionais de energia elétrica, orientando o setor para atender a expansão do mercado a uma velocidade tal que permitisse: (i) eliminar a demanda reprimida então existente; (ii) evitar o racionamento ostensivo, através de interrupção do fornecimento, ou velado, através de redução de tensão e voltagem; e (iii) prover a energia elétrica necessária ao elevado crescimento econômico observado, de forma que não houvesse o estrangulamento energético.

O programa de ajuste econômico implementado a partir de 1964 (PAEG) adotou o "realismo tarifário", com a correção da defasagem crítica dos preços de energia elétrica. De 1970 até 1974, o governo respeitou o critério do serviço pelo custo, com a tarifa média do consumidor industrial decrescendo em 8,2%, a do consumidor residencial crescendo em 7,7%, a referente a comércio e serviços crescendo em 0,1% e a tarifa média de fornecimento crescendo em 3,9%.

A partir de 1974, as modificações conjunturais observadas implicaram em novas alterações do sistema tarifário de energia elétrica, de modo a compatibilizá-lo com a política econômica global sob o impacto da crise do balanço de pagamentos e controle inflacionário. De 1974 até 1979, a tarifa média real do consumidor industrial decresceu em 21,3%, a do consumidor residencial decresceu em 34,1%, a referente a comércio e serviços decresceu em 31,0% e a tarifa média real de fornecimento decresceu em 30,6%, observando-se uma acentuada inversão em relação à estrutura tarifária do período anterior.

TABELA II.8 - BRASIL: TARIFAS MÉDIAS DE ENERGIA POR CLASSE DE CONSUMIDOR A PREÇOS REAIS

Base dos Preços: Julho/91

Valores em US\$/MWh

Ano	Residencial	Comércio e Serviços	Industrial	Média de Fornecimento
1970	133.30	133.79	56.0	82.84
1971	140.14	139.80	51.39	83.27
1972	157.36	154.34	58.68	90.15
1973	155.97	150.65	57.95	89.56
1974	141.89	134.01	51.36	83.45
1975	147.87	141.71	57.10	89.77
1976	135.37	126.64	51.76	80.49
1977	104.30	117.76	50.76	75.52
1978	115.81	111.40	50.01	72.06
1979	109.64	109.64	48.13	68.97
1980	94.70	107.92	47.71	65.46
1981	90.33	114.02	57.01	72.13
1982	83.92	108.69	62.93	67.46
1983	73.76	94.15	45.75	58.88
1984	67.25	85.71	45.72	54.51
1985	62.40	88.67	47.89	56.81
1986	54.21	85.38	45.68	50.91
1987	65.52	106.83	52.93	62.14
1988	60.59	105.18	51.15	61.17
1989	46.21	72.59	35.00	45.56
1990	59.52	75.83	39.21	48.84
1991	61.58	68.32	35.67	46.16
1992	67.93	76.09	40.98	50.62

Fonte: ELETROBRÁS - Anuário de Tarifas de Energia Elétrica/1993

A quarta fase que, vai de 1979 até 1984, é caracterizada pela elevação dos juros internacionais e a segunda alta dos preços do petróleo, implicando na elaboração de um programa econômico para solucionar a crise de liquidez do balanço de pagamentos e livrar o país do colapso energético. Houve uma nova queda real do preço de energia elétrica, com a tarifa média do consumidor industrial decrescendo em 26,2%, a do consumidor residencial em 51,8%, a referente a comércio e serviços em 41,8% e a tarifa média de fornecimento em 38,7%, conforme a Tabela II.8. Nesta fase agravou-se o grau de endividamento do setor, devido a deterioração dos níveis legais de remuneração do capital, segundo os dados da Tabela II.9.

TABELA II.9 - REMUNERAÇÃO, ENDIVIDAMENTO E ÍNDICE REAL DE PREÇOS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Ano	Taxa de Remuneração do Investimento (%)	Grau de Endividamento (%)	Índice de Preços 1974=100 (1)
1974	10.4	37.6	100
1975	11.4	48.2	108
1976	8.6	61.8	96
1977	7.7	70.0	90
1978	7.9	65.7	86
1979	6.6	65.9	83
1980	4.0	63.0	78
1981	9.3	64.0	86
1982	6.8	65.0	81
1983	5.2	69.0	71
1984	6.1	70.0	63
1985	5.9	72.0	68
1986	4.9	69.0	61
1987	5.5	71.0	74
1988	4.9	63.0	73
1989	1.7	59.0	55
1990	2.1	62.0	58
1991	5.5	71.0	55

Fonte: ELETROBRÁS - Diretoria de Gestão Corporativa e Financeira/ 1994

11.5 - AS EMPRESAS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE DO SISTEMA ELETROBRÁS

11.5.1. Informações Individuais

- CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE S.A. - ELETRONORTE

Esta empresa foi constituída em 1973, através da Lei n. 5.284, recebendo inicialmente da ELETROBRÁS a incumbência de coordenar o programa de energia elétrica na região amazônica, como também operar as centrais e sistemas de transmissão.

Em 1973, a Lei n. 5.899 definiu a área de atuação da ELETRONORTE, que foi modificada em 1980 para novos espaços que correspondem hoje aos estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins (ao norte do paralelo 12 graus sul), Acre, Rondônia, Roraima e Amapá. Nessa área estão concentrados aproximadamente 50% do potencial hidrelétrico do país (cerca de 106.000 MW).

A ELETRONORTE iniciou as obras de Tucuruí (PA) em 1975 e também inaugurou a primeira hidrelétrica da Amazônia, Coaracy Nunes, que inicialmente operava com 40MW.

No início dos anos 80 a ELETRONORTE tornou-se concessionária, excepcionalmente, de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em Manaus e absorveu os parques geradores termelétricos de Porto Velho (RO) e Rio Branco (AC). Já em 1983, recebeu o sistema de transmissão do Maranhão, anteriormente de propriedade da CHESF, devido a alteração da área de concessão em 1980.

O grande marco da ELETRONORTE foi em 1984 com a entrada em operação de duas unidades de 330MW da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, que depois de ampliada permitiu o atendimento das empresas distribuidoras CELPA (PA), CEMAR (MA) e CELG (GO).

Atualmente, em relação ao sistema interligado, a ELETRONORTE, além de efetuar suprimento em grosso às concessionárias estaduais CELPA(PA), CEMAR(MA) e CELTINS(TO), também fornece de forma direta energia elétrica a grandes consumidores industriais, tais como, ALBRÁS(PA) e ALUMAR(MA).

Referindo-se ao sistema isolado, a ELETRONORTE fornece diretamente energia elétrica às capitais Boa Vista(RR) e Manaus(AM) e supre em grosso as distribuidoras estaduais CERON(RO), ELETROACRE(AC), CEAM(AM), CER(RR) e CEA(AP).

- COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO S.A. - CHESF

Desde o início do período colonial, a Cachoeira de Paulo Afonso causou forte impressão a cronistas e viajantes devido às suas dimensões e beleza. A idéia de aproveitamento da energia hidráulica da cachoeira causou interesse a brasileiros e estrangeiros apenas no final do século XIX. A primeira tentativa de exploração de Paulo Afonso foi em 1913 com a inauguração de uma pequena usina (1.500 HP) pelo industrial Delmiro Gouveia.

No início dos anos 40, o Ministério da Agricultura tomou as primeiras iniciativas para explorar o potencial hidráulico do São Francisco. Entretanto, apenas em 1945, o Presidente da República autorizou o Ministério da Agricultura a criar a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF. A Usina Paulo Afonso I foi inaugurada em 1955 com uma capacidade inicial de 60MW. A capacidade instalada da CHESF atingiu no final do mesmo ano 200MW.

Com a criação da ELETROBRÁS em 1962, a CHESF passou a ser uma de suas subsidiárias e em 1971 seu parque gerador já atingia uma capacidade de 1.145MW. Em pouco mais de uma década, a capacidade nominal instalada da CHESF aumentou mais de cinco vezes passando para 5.745MW em 1982. O ritmo de expansão do parque gerador da CHESF ao longo dos anos 80 e início dos anos 90 foi afetado pelas dificuldades econômicas do país e do setor de energia elétrica como um todo. Entretanto, já em 1992 sua capacidade nominal instalada atingia 7.704MW.

A CHESF é responsável pelo suprimento de eletricidade à região Nordeste, excluindo o estado do Maranhão. Além de atender as concessionárias distribuidoras estaduais, ela supre diretamente grandes consumidores industriais, ligados na tensão de 230KV, onde destacam-se indústrias dos setores químico e metalúrgico.

As concessionárias estaduais atualmente supridas pela CHESF são: CEPISA(PI), COELCE(CE), COSERN(RN), SAELPA(PB), CELPE(PE), CEAL(AL), ENERGIPE(SE) e COELBA(BA). Além dessas, ela atende a SULGIPE(privada) e CELB(Prefeitura de Campina Grande).

- FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. - FURNAS

Fundada em 1957, é a única empresa a operar uma usina nuclear no país, no caso Angra I. FURNAS é responsável pelo atendimento de energia elétrica às regiões Sudeste e Centro Oeste, exclusive o estado de Mato Grosso do Sul. Quanto ao suprimento em grosso, ela interliga-se com as concessionárias CEMIG(MG), ESCELSA(ES), LIGHT(RJ), CERJ(RJ), CESP(SP), CEB(DF) CELG(GO) e ELETRONORTE(MT).

Ela atua na região mais desenvolvida do país, sendo responsável pelo atendimento de cerca de três quartos do consumo da energia elétrica nacional. Até dezembro de 1993, sua capacidade de geração era de 8.123 MW.

- CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL S.A. - ELETROSUL

Constituída em 1968, a ELETROSUL foi a terceira empresa subsidiária da ELETROBRÁS, visto que a "holding" já atuava no Nordeste através da CHESF e no Sudeste através de FURNAS. Sua área de atuação correspondia aos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e teve como primeira grande realização a conclusão da usina hidrelétrica de Passo Fundo em 1973 com capacidade inicial de 220MW.

A grande importância da termoelectricidade na região induziu a ELETROSUL a constituir uma expressiva frente de atuação com a incorporação em 1971 da Termelétrica de Charqueadas S.A., usina a carvão de 71MW de capacidade. Além disso, foram incorporadas em 1972 a Termelétrica Alegrete S.A. com uma usina a óleo de 66MW e a Sociedade Termelétrica de Capivari S.A. com uma usina a carvão (Jorge Lacerda) de 100MW de capacidade.

A partir de 1974, a ELETROSUL baseou a expansão de seu parque de usinas na geração de origem hidráulica. Foi colocada em operação em 1976 a usina hidráulica de Salto Osório com 700 MW de capacidade instalada e em 1982 passa também a operar a usina hidráulica de Salto Santiago com 1332 MW de potência instalada.

Durante o período 1983/1993, circunstâncias adversas impediram a execução do programa de expansão da ELETROSUL e hoje o parque gerador tem a capacidade de 3222 MW.

A ELETROSUL é atualmente responsável pelo atendimento a região Sul e também o estado de Mato Grosso do Sul. Ela supre de energia elétrica em grosso as concessionárias estaduais COPEL(PA), CELESC(SC), CEEE(RS) e ENERSUL(MS).

11.5.2. Informações Conjuntas

Estas quatro concessionárias de geração e transmissão de energia elétrica, subsidiárias da ELETROBRÁS, são objeto de estudo neste trabalho, de modo que é interessante fazer algumas comparações entre as mesmas. Iniciando com a capacidade instalada, notamos que durante o período 1980/93 FURNAS sempre teve uma maior participação, com 51,1% em 1980 e passando para 33,3% em 1993. A grande evolução foi da ELETRONORTE que em 1980 participava com 2,7% e em 1993 subiu para 21,2%, conforme pode ser observado na Tabela II.10.

**TABELA II.10 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA POTÊNCIA
TOTAL INSTALADA**

UNIDADE: MW

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1980	340	4255	6425	1558
1981	690	5591	7466	2574
1982	701	5766	7466	2889
1983	748	6077	7466	3222
1984	1508	6077	7466	3222
1985	2561	6077	8123	3222
1986	3537	6077	8123	3222
1987	4006	6077	8123	3222
1988	4573	6596	8123	3222
1989	4583	7439	8123	3222
1990	4946	7753	8123	3222
1991	5301	7817	8123	3222
1992	5350	7704	8123	3222
1993	5350	7704	8123	3222

FONTE: SIESE/ELETROBRÁS/1994

Especificamente, quanto a potência térmica, FURNAS quase sempre manteve uma maior capacidade no período de análise, principalmente após 1983 com a entrada em operação da usina nuclear Angra I. Hoje as participações relativas da potência térmica em relação à potência total instalada das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL são, respectivamente, 13,6%, 5,6%, 16,3% e 19,2%.

**TABELA II.11. - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA POTÊNCIA
TÉRMICA INSTALADA .**

UNIDADE: MW

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1980	298	355	666	638
1981	648	531	666	638
1982	659	531	666	620
1983	706	433	666	620
1984	766	433	666	620
1985	769	433	1323	620
1986	780	433	1323	620
1987	650	433	1323	620
1988	769	451	1323	620
1989	743	545	1323	620
1990	659	545	1323	620
1991	672	545	1323	620
1992	677	433	1323	620
1993	726	433	1323	620

FONTE: SIESE/ELETROBRÁS/1994

Quanto às vendas físicas no período 1978/92, FURNAS também sempre esteve na liderança com uma participação de 57,1% em 1978 contra 54,1% em 1992. O grande destaque do período foi, também, o aumento na participação da ELETRONORTE, que passou de 0,2% em 1978 para 12,4% em 1992. Já as vendas totais destas concessionárias aumentaram de 44.705 mil MWh em 1978 para 162.179 mil MWh em 1992, com uma taxa de crescimento média de 9,6% ao ano, o que pode ser esclarecido com os dados da Tabela II.12.

**TABELA II.12 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DAS VENDAS TOTAIS
DE ENERGIA ELÉTRICA**

UNIDADE: Mil MWh

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	76	11469	25527	7633
1979	87	13670	26113	7119
1980	1739	15362	25573	7900
1981	1817	16433	26681	7360
1982	1920	17774	26547	7910
1983	2771	23407	29885	9003
1984	3869	24087	35006	13540
1985	5871	23010	45548	14645
1986	11133	24458	59777	18250
1987	15171	23308	69980	18820
1988	16439	25161	77376	17891
1989	17151	26887	77253	21051
1990	18218	27917	73920	21856
1991	21144	29460	86161	19401
1992	20255	31031	87695	23198

FONTE: ELETROBRÁS/1994

As vendas totais de eletricidade estão divididas em suprimento (venda para as empresas distribuidoras) e fornecimento (venda direta a grandes consumidores). Todas as quatro empresas atuam na área de suprimento de eletricidade, enquanto que apenas ELETRONORTE e CHESF atuam na área de fornecimento. Atualmente cerca de 67,3% das vendas da ELETRONORTE são de fornecimento.

**TABELA II.13 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DAS VENDAS DE
SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA**

UNIDADE: Mil MWh

ANO	ELETRONORTE	CHESE	FURNAS	ELETROSUL
1978	76	9475	25527	7633
1979	87	10674	26113	7119
1980	1104	11900	25573	7900
1981	1357	12743	26681	7360
1982	1703	13900	26547	7910
1983	2803	18809	29885	90003
1984	3044	18610	35006	13540
1985	3379	17366	45548	14645
1986	5359	19245	59777	18250
1987	7905	18212	69980	18820
1988	8862	19694	77376	17891
1989	8552	21371	77242	21051
1990	8737	22301	73290	21856
1991	8845	23612	86161	19401
1992	7459	24346	87695	23198

FONTE: ELETROBRÁS/1994

TABELA II.14 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DAS VENDAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.

UNIDADE: Mil MWh

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	-	2253	-	-
1979	-	2996	-	-
1980	635	3462	-	-
1981	615	3802	-	-
1982	700	3919	-	-
1983	799	4818	-	-
1984	1399	5625	-	-
1985	2846	5954	-	-
1986	6327	6137	-	-
1987	7595	5479	-	-
1988	8106	5866	-	-
1989	8986	6010	-	-
1990	9701	5839	-	-
1991	12475	6311	-	-
1992	12897	6768	-	-

FONTE: ELETROBRÁS/1994

Uma informação importante é a evolução nas vendas de eletricidade das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL sem considerar o intercâmbio de eletricidade entre elas e as demais empresas do setor, quanto a utilização deste insumo no processo de produção. Isto modifica bastante os valores das vendas totais de energia elétrica, principalmente das empresas FURNAS e ELETROSUL a partir de 1987, conforme podemos observar comparando-se os dados das Tabelas II.12 e II.15.

TABELA II.15 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DAS VENDAS DE ENERGIA ELÉTRICA EXCLUINDO-SE O INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE ENTRE AS EMPRESAS COMO INSUMO DE PRODUÇÃO

UNIDADE: Mil MWh

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	76	11469	24599	4915
1979	87	13670	22921	4752
1980	1739	15362	24283	5688
1981	1572	16433	25930	6997
1982	266	17774	25329	7447
1983	136	23407	28431	8758
1984	365	24087	33587	12984
1985	5043	21961	43161	10911
1986	10327	23623	54810	11630
1987	14116	19645	27623	10742
1988	14794	19936	38588	11158
1989	11899	21276	27323	15662
1990	12931	24809	22347	14981
1991	20130	29294	30680	9170
1992	18721	30161	37455	13136

Um aspecto interessante a ser analisado é a questão do número de empregados. A CHESF, apesar de não ser a maior vendedora de eletricidade, sempre teve o maior número de empregados, embora esse número venha caindo a partir de 1990. Essa queda no número de empregados nos últimos anos vem ocorrendo também nas demais empresas, devido a nova política do Governo Federal de incentivo à aposentadoria e demissões nas empresas estatais.

TABELA II.16 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE EMPREGADOS.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	2215	10552	8182	3656
1979	2684	10637	8591	4086
1980	3280	10745	9300	4339
1981	3525	10697	9348	4391
1982	4011	10652	9337	4434
1983	4294	10463	9300	4372
1984	4343	10482	9308	4417
1985	4546	10577	9243	4422
1986	4416	10570	9075	4376
1987	4473	10623	9101	4439
1988	4473	10562	9027	4412
1989	6887	11961	9892	5768
1990	6671	11688	9435	5498
1991	5665	10173	8323	4665
1992	5569	9405	7362	3910

FONTE: ELETROBRÁS/1994

A Tabela II.17 mostra que houve um aumento bastante acentuado na produtividade média da mão-de-obra, principalmente, em FURNAS que alcançou valores próximos de 12 mil MWh/empregado. A média geral do período foi de 3,22 mil MWh/empregado e os índices mais baixos foram os da ELETRONORTE e CHESF.

**TABELA II.17 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE
MÉDIA DA MÃO-DE-OBRA.**

UNIDADE: MIL MWh/EMPREGADO

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	0,03	1,09	3,12	2,09
1979	0,03	1,29	3,04	1,74
1980	0,53	1,43	2,75	1,82
1981	0,52	1,54	2,85	1,68
1982	0,48	1,67	2,84	1,78
1983	0,65	2,24	3,21	2,06
1984	0,89	2,30	3,76	3,07
1985	1,29	2,18	4,93	3,31
1986	2,52	2,31	6,59	4,17
1987	3,39	2,19	7,69	4,24
1988	3,68	2,38	8,57	4,06
1989	2,49	2,25	7,81	3,65
1990	2,73	2,39	7,83	3,98
1991	3,73	2,90	10,35	4,16
1992	3,64	3,30	11,91	5,93

FONTE: ELETROBRÁS/1994

A evolução do investimento remunerável autorizado pelo DNAEE está ilustrada na Tabela II.18. A maior participação em relação o investimento total em 1978 era a de FURNAS com 53,4% e em 1992 a situação mudou com a maior participação sendo a da ELETRONORTE com 38,1%. Em termos globais houve um crescimento de 9,3% ao ano do investimento remunerável no período 1978/92.

TABELA II.18 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO INVESTIMENTO REMUNERÁVEL.

UNIDADE: MILHÕES DE CR\$ DE 1992.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	342	14090	23899	6709
1979	395	17654	25720	8655
1980	1964	15296	20754	7271
1981	4687	20054	21279	9734
1982	5660	23442	22248	12358
1983	8100	27949	28257	15272
1984	9445	27056	26517	15402
1985	40954	26377	35472	14246
1986	28617	17644	29821	9611
1987	40313	22976	42163	13608
1988	50953	44397	47294	16333
1989	77285	56357	55646	18095
1990	27298	20835	19493	5836
1991	85281	72297	63042	19605
1992	97688	61521	70202	21099

FONTE: ELETROBRÁS/1994

Os custos variáveis do período para as quatro empresas estão ilustrados na Tabela II.19, onde FURNAS sempre esteve na liderança no período 1978/92, com uma participação em relação ao total de 55,1% em 1978, passando para 69,3% em 1992. Esta liderança de FURNAS nos custos variáveis de produção foi resultado de sua grande participação na compra de eletricidade (de ITAIPU), principalmente, a partir de 1986.

**TABELA II.19 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO CUSTO
VARIÁVEL DE PRODUÇÃO.**

UNIDADE: MILHÃO DE CRS DE 1992.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	15,5	207,6	844,0	465,9
1979	38,8	302,2	1089,6	669,3
1980	630,5	410,4	763,4	549,8
1981	1308,2	406,0	837,7	465,0
1982	1021,1	626,1	847,8	579,5
1983	1247,5	448,4	754,0	455,2
1984	1295,4	506,5	821,8	423,4
1985	1075,2	598,0	2368,5	655,9
1986	1211,2	796,7	3355,3	835,4
1987	1358,9	1254,0	6666,9	1529,9
1988	1350,3	1572,1	6516,7	1679,6
1989	1603,4	1566,7	7305,5	2209,7
1990	1126,4	970,6	7302,3	1842,4
1991	1173,0	1164,7	10307,8	2399,0
1992	985,5	1115,0	10269,5	2445,9

FONTE: ELETROBRÁS/1994

As participações dos insumos variáveis mão-de-obra, materiais elétricos e energia no custo variável estão ilustradas nas Tabelas II.20, II.21 e II.22. Observando-se os dados da Tabela II.20 percebemos que a participação média do insumo mão-de-obra no custo variável no período 1978/1992 foi relativamente alta, com valor médio geral de 55,79%. As maiores participações ocorreram na CHESF, seguida da ELETRONORTE, enquanto que em FURNAS e ELETROSUL as participações foram relativamente altas até 1984 e começaram a cair a partir de 1985, quando se iniciou um processo de grande aquisições de eletricidade, principalmente de ITAIPU.

TABELA II.20 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO INSUMO MÃO-DE-OBRA NO CUSTO VARIÁVEL.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	0,765	0,715	0,630	0,509
1979	0,922	0,846	0,511	0,394
1980	0,136	0,850	0,678	0,654
1981	0,155	0,945	0,670	0,870
1982	0,307	0,931	0,714	0,830
1983	0,230	0,943	0,654	0,804
1984	0,222	0,956	0,640	0,806
1985	0,369	0,932	0,310	0,554
1986	0,363	0,945	0,236	0,457
1987	0,450	0,709	0,144	0,351
1988	0,493	0,552	0,176	0,346
1989	0,809	0,743	0,195	0,340
1990	0,733	0,745	0,121	0,262
1991	0,698	0,886	0,098	0,188
1992	0,809	0,820	0,123	0,229

FONTE: ELETROBRÁS/1994

A Tabela II.21, mostra que a participação relativa do insumo materiais elétricos no custo variável foi relativamente baixa no período 1978/92, principalmente em FURNAS e na ELETROSUL, com a média geral sendo em torno de 3,78%.

TABELA II.21 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO INSUMO MATERIAIS ELÉTRICOS NO CUSTO VARIÁVEL.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	0,176	0,086	0,048	0,076
1979	0,063	0,119	0,037	0,052
1980	0,023	0,078	0,057	0,051
1981	0,026	0,055	0,048	0,064
1982	0,044	0,069	0,036	0,051
1983	0,038	0,054	0,034	0,039
1984	0,093	0,044	0,032	0,054
1985	0,001	0,048	0,022	0,036
1986	0,051	0,047	0,015	0,034
1987	0,060	0,028	0,008	0,029
1988	0,004	0,016	0,006	0,016
1989	0,029	0,008	0,005	0,011
1990	0,027	0,013	0,005	0,008
1991	0,019	0,011	0,004	0,005
1992	0,031	0,016	0,004	0,010

FONTE: ELETROBRÁS/1994

O insumo energia é uma composição de equivalentes físicos de combustível de petróleo e eletricidade, que têm composição bastante variável para cada uma das quatro empresas. No caso da ELETRONORTE, o óleo diesel sempre teve um peso relativamente alto, principalmente até 1981. Já em FURNAS e ELETROSUL o grande peso é de eletricidade, principalmente, a partir de 1985, com as grandes compras a partir de ITAIPU. A média geral da participação desse insumo no período 1978/1992 foi de 40,43%, onde nos últimos anos as grandes participações estão em FURNAS e ELETROSUL.

**TABELA II.22 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO
RELATIVA DO INSUMO ENERGIA NO CUSTO VARIÁVEL.**

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	0,059	0,199	0,321	0,415
1979	0,016	0,034	0,452	0,554
1980	0,840	0,072	0,265	0,295
1981	0,819	0,001	0,282	0,067
1982	0,649	0,000	0,250	0,120
1983	0,732	0,003	0,312	0,158
1984	0,685	0,000	0,328	0,140
1985	0,631	0,020	0,668	0,409
1986	0,586	0,008	0,749	0,509
1987	0,491	0,263	0,848	0,621
1988	0,502	0,432	0,818	0,638
1989	0,162	0,248	0,800	0,649
1990	0,240	0,243	0,875	0,731
1991	0,283	0,103	0,898	0,808
1992	0,160	0,163	0,873	0,762

FONTE: ELETROBRÁS/1994

Em termos de preços reais dos insumos utilizados na produção de eletricidade, os da mão-de-obra tiveram crescimento bastante acentuado no período de 1978/92. O maior índice de aumento ocorreu na ELETRONORTE com cerca de 2498% no período, enquanto que o menor foi na ELETROSUL com 120%.

TABELA II.23 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO PREÇO REAL DO INSUMO MÃO-DE-OBRA.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	1,000	2,551	11,797	11,768
1979	2,434	4,361	11,754	11,693
1980	4,746	5,887	10,099	15,038
1981	10,440	6,508	10,883	16,705
1982	14,165	9,925	11,764	19,671
1983	12,096	7,331	9,616	15,175
1984	11,998	8,379	10,252	14,022
1985	15,830	9,562	14,414	14,916
1986	18,069	12,918	15,831	15,841
1987	24,791	15,177	19,175	21,915
1988	27,018	14,903	22,987	23,881
1989	34,162	17,662	26,066	23,631
1990	22,458	11,218	16,981	15,900
1991	26,208	18,393	22,050	17,502
1992	25,982	17,644	31,005	25,944

FONTE: ELETROBRÁS/1994

Para os preços reais do insumo materiais elétricos, obtidos da Revista Conjuntura Econômica/FGV, foram considerados os mesmos valores para todas as regiões do Brasil. Eles decresceram de aproximadamente 40,9% no período de 1978/92.

TABELA II.24 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO PREÇO REAL DO INSUMO MATERIAIS ELÉTRICOS.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	1,000	1,000	1,000	1,000
1979	0,990	0,990	0,900	0,900
1980	0,969	0,969	0,969	0,969
1981	1,023	1,023	1,023	1,023
1982	1,057	1,057	1,057	1,057
1983	0,958	0,958	0,958	0,958
1984	0,874	0,874	0,874	0,874
1985	0,894	0,894	0,894	0,894
1986	0,829	0,829	0,829	0,829
1987	0,758	0,758	0,758	0,758
1988	0,867	0,867	0,867	0,867
1989	0,816	0,816	0,816	0,816
1990	0,822	0,822	0,822	0,822
1991	0,601	0,601	0,601	0,601
1992	0,591	0,591	0,591	0,591

FONTE: FGV - CONJUNTURA ECONÔMICA

Os preços reais do insumo combustível foram calculados como uma média geométrica dos preços do óleo combustível e do óleo diesel publicados no Balanço Energetico Nacional - MME / 1993 e foram considerados os mesmos para todas as regiões do Brasil, conforme mostra a Tabela II.25.

TABELA II.25 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO PREÇO REAL DO INSUMO COMBUSTÍVEL

UNIDADE: US\$ de 1992 / barril equivalente de petróleo

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	43,96	43,96	43,96	43,96
1979	51,63	51,63	51,63	51,63
1980	70,23	70,23	70,23	70,23
1981	88,30	88,30	88,30	88,30
1982	82,20	82,20	82,20	82,20
1983	88,84	88,84	88,84	88,84
1984	92,44	92,44	92,44	92,44
1985	81,69	81,69	81,69	81,69
1986	59,59	59,59	59,59	59,59
1987	55,79	55,79	55,79	55,79
1988	58,58	58,58	58,58	58,58
1989	47,92	47,92	47,92	47,92
1990	45,63	45,63	45,63	45,63
1991	38,27	38,27	38,27	38,27
1992	38,32	38,32	38,32	38,32

FONTE: BALANÇO ENERGETICO NACIONAL - MME / 1993

Finalmente, os preços reais do insumo composto energia variaram relativamente muito pouco entre as concessionárias de geração do sistema ELETROBRÁS. Os preços da CHESF aumentaram de 20,0% no período de 1978/92, enquanto que os preços de energia da ELETRONORTE, FURNAS e ELETROSUL caíram, respectivamente, de 32,1%, 35,6% e 35,8%.

TABELA II.26 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO PREÇO REAL DO INSUMO ENERGIA.

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	1,000	1,000	1,000	1,000
1979	1,063	0,962	0,962	0,962
1980	1,446	1,306	0,955	0,955
1981	1,815	1,602	1,143	1,143
1982	1,687	1,491	1,059	1,059
1983	1,689	1,612	0,922	0,922
1984	1,727	1,677	0,907	0,907
1985	1,535	1,627	0,884	0,887
1986	1,144	1,604	0,897	0,901
1987	1,106	2,024	1,131	1,138
1988	1,060	1,941	1,036	1,041
1989	0,880	1,658	0,889	0,888
1990	0,828	1,517	0,814	0,812
1991	0,681	1,204	0,646	0,645
1992	0,679	1,200	0,644	0,642

FONTE: MME - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL/1993

III. MEDIDAS E ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE: CONCEITO E METODOLOGIA

III.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

III.1.1. O Conceito de Função de Produção com Progresso Tecnológico

III.1.1.1. Esquemas de Classificação

Uma maneira de avaliar o efeito do progresso tecnológico sobre a produção é através das variações nos montantes de capital e mão-de-obra (admitindo-se apenas dois fatores) usados no processo de produção. O esquema mais simples assume que o progresso tecnológico altera a proporção dos insumos para um dado nível de produto. Com base nessa abordagem, para um dado nível produto e razão de preço de insumos, (i) um progresso tecnológico poupador de capital resulta em uma razão capital/mão-de-obra mais baixa; (ii) um progresso tecnológico poupador de mão-de-obra resulta em uma razão capital/mão-de-obra mais alta; e (iii) um progresso tecnológico neutro resulta em uma razão capital/mão-de-obra constante.

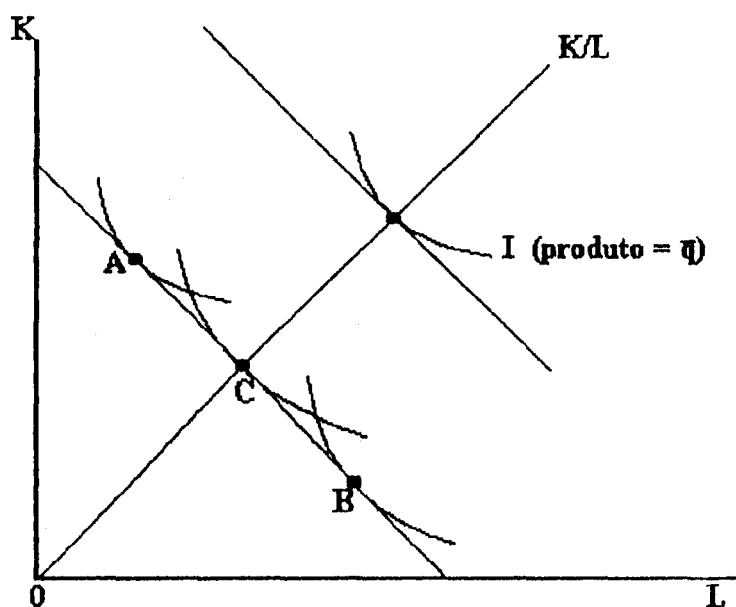


FIGURA III.1: *Progresso tecnológico poupador de mão-de-obra, poupador de capital e neutro: produto permanece constante.*

Estas definições podem ser interpretadas geometricamente através da Figura III.1, onde um progresso tecnológico poupador de mão-de-obra (para um nível de produto \bar{q}) resulta na isoquanta I mudando em direção ao ponto A, enquanto um progresso tecnológico poupador de capital resulta na isoquanta I mudando em direção ao ponto B.

Este esquema é mais aplicável a nível microeconômico (firma ou indústria) com enfoque de curto prazo, onde os níveis de produção podem ser considerados aproximadamente constantes. Entretanto, esta visão representa um fundamento irrealístico para uma taxonomia macroeconômica. Mesmo assim, três esquemas de classificação macroeconômicos de longo prazo foram propostos:

- (i) Hicks (1932) - razão capital/mão-de-obra constante;
- (ii) Harrod (1948) - razão capital/produto constante; e
- (iii) Solow (1967) - razão mão-de-obra/produto constante.

Um progresso tecnológico é dito ser poupador de mão-de-obra, poupador de capital ou neutro se nele, respectivamente, aumenta, diminui ou permanece constante a relação entre o produto marginal do capital e o produto marginal da mão-de-obra, para uma dada razão capital/mão-de-obra. Na Figura III.2, se a isoquanta I caracteriza a produção inicial, então a isoquanta II representa um progresso tecnológico poupador de mão-de-obra, a isoquanta III representa um progresso tecnológico poupador de capital e a isoquanta IV representa um progresso tecnológico neutro.

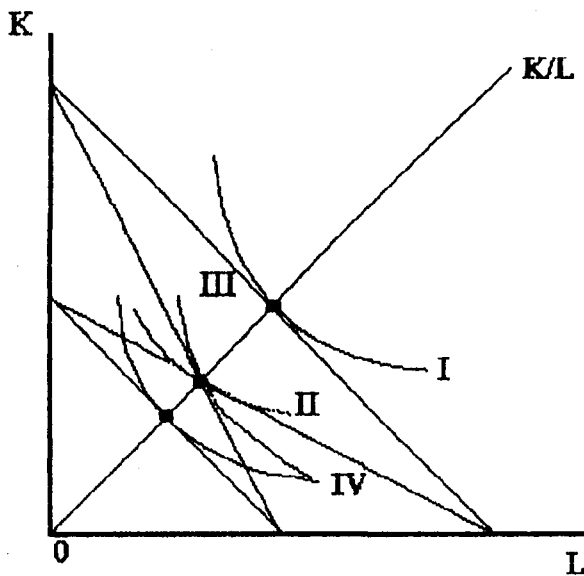


FIGURA III.2: *Progresso tecnológico poupador de mão-de-obra, poupador de capital e neutro: razão capital mão-de-obra permanece constante*

De um modo mais formal, se a função de produção pode ser representada de forma mais geral como

$$q = f(L, K; t), \quad (\text{III.1})$$

onde a função $f(L, K; t)$ é homogênea linear e duas vezes diferenciável em L e K , com

$$f_L, f_K > 0 \quad \text{e} \quad f_{LL}, f_{KK} < 0, \quad (\text{III.2})$$

então, de acordo com Nadiri (1970), o progresso tecnológico exógeno (independente dos fatores de produção) é Hicks poupador de mão-de-obra, neutro ou poupador de capital, conforme

$$\left. \frac{\partial [(f_K/K)/(f_L/L)]}{\partial t} \right|_{K/L} \gtrless 0. \quad (\text{III.3})$$

De forma alternativa, Diamond (1965), Fei e Ranis (1965) e Furguson (1971) definem que um progresso tecnológico é Hicks poupador de mão-de-obra, neutro ou poupador de capital quando o viés tecnológico B é

$$B = \left[\frac{\partial f_K / \partial t}{f_K} - \frac{\partial f_L / \partial t}{f_L} \right] \gtrless 0. \quad (\text{III.4})$$

Ainda com relação à equação (III.1), o progresso tecnológico é Harrod poupador de mão-de-obra, neutro ou poupador de capital, conforme

$$\left. \frac{\partial [(f_K/K)/(f_L/L)]}{\partial t} \right|_{K/q} \gtrless 0. \quad (\text{III.5})$$

De modo similar, um progresso tecnológico é dito Solow poupador de mão-de-obra, neutro ou poupador de capital se

$$\left. \frac{\partial [(f_K/K)/(f_L/L)]}{\partial t} \right|_{L/q} \gtrless 0. \quad (\text{III.6})$$

III.1.2. Função de Produção Baseada em Medidas de Produtividade

As estimativas das produtividades parcial e total dos fatores são formuladas sob o pressuposto implícito de que a função de produção descreve de forma precisa o máximo produto factível a partir de um conjunto de insumos. Este processo de produção é intrinsecamente de natureza microeconômica. Surgem algumas questões em relação a sua interpretação quando aplicado a nível agregado, que é o caso da maioria dos trabalhos empíricos.

Assim, considerando um tratamento mais rigoroso da equação (III.1) e dos pressupostos subjacentes, podemos escrever uma função de transformação multi-insumo e multi-produto

$$H(q_1, \dots, q_m; x_1, \dots, x_n; t) = H(q; x; t) = 0, \quad (\text{III.7})$$

onde q é o vetor dos m produtos e x é o vetor dos n insumos.

Se a função H é homotética e fracamente separável, então podemos escrevê-la como:

$$H(q; x; t) = H^*(G^*(q); F^*(x); t) = 0; \quad (\text{III.8})$$

e se a separabilidade da função H for aditiva, então

$$G(q) = F(x; t). \quad (\text{III.9})$$

Finalmente, se o vetor de multi-produto é representado por uma composição de produto q e se o progresso tecnológico é do tipo Hicks neutro e exógeno, então a equação (III.9) transforma-se em

$$q = A(t) \cdot f(x), \quad (\text{III.10})$$

que é idêntica a equação (III.1).

A nível agregado, existe um questionamento sobre o pressuposto da separabilidade proposta em (III.10), conforme pode ser verificado nos trabalhos de Sudit e Finger (1981), Afriat (1957), e Gold (1981). Além disso, segundo Farrell (1957), o pressuposto implícito de eficiência da função de produção, ou melhor, que as firmas conhecem todas combinações eficientes de insumos subjacentes às equações (III.1) e (III.10), é bastante irrealístico.

Um outro problema é que o parâmetro $A(t)$ reflete apenas um aspecto dos efeitos do progresso tecnológico relacionado com a produção. De fato, $A(t)$ é um fator de mudança de nível e, como tal, ele não pode medir movimentos ao longo da função de produção. Assim, uma comparação de índices de produtividade entre instantes de tempo assume implicitamente que todos insumos são eficientemente utilizados na fronteira de produção (Aigner e Chu, 1968).

Quanto aos índices de produtividade de fatores, o que mais se utiliza é a medida de produtividade parcial do fator, principalmente devido a sua facilidade de cálculo. Entretanto, por exemplo, o simples uso de q/L , onde q é o nível de produção e L é a quantidade de mão-de-obra, como uma medida de produtividade da mão-de-obra tem sérios problemas, que podemos assim descrever:

i) As medidas do produto e dos insumos devem ser consistentes, ou melhor, elas devem referir-se sempre à mesma atividade de produção. Assim, quando existem muitas atividades de produção implicitamente subjacente a uma medida de produto agregado, deve-se elaborar um método de composição, tomando o valor de cada medida de produto, utilizando-se um índice de preço apropriado. Segundo Baumol e Wolff (1984), a escolha entre duas abordagens é muito importante. A medida de base anual é um índice bastante útil para comparação de crescimento de produtividade; entretanto, ela não é um bom indicador para captar diferenças inter-indústria ou inter-setorial em termos de níveis absolutos de produtividade.

ii) No caso do produto médio da mão-de-obra, o mesmo é simetricamente relacionado a movimentos cíclicos nas atividades de negócios e, portanto, isto pode sugerir tendências que não estão relacionadas ao progresso tecnológico. Gordon (1979) argumenta que as firmas retêm mais trabalhadores no último estágio de um ciclo de negócios que aquela quantidade justificada pelo nível de produto futuro. Isto resulta em expectativas viesadas e q/L declinará até as firmas ajustarem seus padrões de salários em relação às expectativas sobre a demanda futura.

iii) Um dos problemas mais sérios é que tanto o capital quanto a mão-de-obra não são as únicas fontes de aumento de produtividade. Algumas melhorias na produtividade, de modo a poupar mão-de-obra e capital, resultam de outros fatores de produção que são utilizados de forma mais eficiente. Assim, uma boa estrutura de produtividade deve ser capaz de identificar as fontes do aumento na produtividade e sua interação com outros fatores, tais como materiais, energia, etc. ao longo de todo processo de produção. Seguindo este raciocínio, Craig e Harris (1973) mostraram que as medidas de produtividade parciais dos fatores não quantificam o impacto da substituição técnica. Por exemplo, se uma nova tecnologia está associada ao capital, a relação q/L pode aumentar como um resultado da substituição de capital por mão-de-obra, as outras coisas permanecendo constante.

O trabalho pioneiro de Solow (1957) foi o primeiro que utilizou de forma explícita uma função de produção agregada. Ele usou o índice de Divisia ou geométrico elaborado a partir de uma função de produção Cobb-Douglas com os fatores capital e mão-de-obra, que era caracterizada pela homogeneidade linear e progresso tecnológico exógeno Hicks neutro, assim escrita,

$$q = A(t)K^{\alpha}L^{1-\alpha}, \quad (\text{III.11})$$

onde α e $1-\alpha$ são as participações do capital e mão-de-obra, respectivamente, em relação a renda. Tomando-se o logaritmo natural da equação (III.11) resulta em

$$\ln q = \ln A(t) + \alpha \ln K + (1 - \alpha) \ln L, \quad (\text{III.12})$$

e, finalmente, derivando-se a equação (III.12) em relação ao tempo, encontra-se

$$\frac{\dot{q}}{q} - \alpha \frac{\dot{K}}{K} - (1 - \alpha) \frac{\dot{L}}{L} = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{TFP}}{TFP}, \quad (\text{III.13})$$

onde \dot{TFP}/TFP é o índice da produtividade total dos fatores. De modo mais simples, este índice representa a variação percentual no produto por período de tempo que não é explicada pelas variações percentuais nas quantidades dos insumos de produção no mesmo período.

O pressuposto explícito da neutralidade é uma limitação associada ao índice de produtividade total dos fatores derivado de uma especificação Cobb-Douglas (1933). Existem evidências empíricas, como May e Denny (1979) e Sato (1970), onde o progresso tecnológico era poupador de mão-de-obra, conforme preconizado por Hicks (1932). Entretanto, outros trabalhos como o de Moroney, (1972) encontraram forte evidência de que o progresso tecnológico era não-Hicks neutro na indústria manufatureira dos Estados Unidos. Utilizando a definição de Hicks, Binswanger (1974) e Binswanger e Ruttan (1978) encontraram que o progresso tecnológico na agricultura dos Estados Unidos era viesado, que resultou de mudanças na utilização de fertilizantes e mão-de-obra, aliadas a uma queda nos preços de fertilizantes e de mão-de-obra.

A especificação Cobb-Douglas também implica que a elasticidade de substituição σ é unitária. Isto é uma limitação no sentido de que essa estrutura falha quando se tenta medir ganhos de produtividade resultantes de processos de produção que permitem maior flexibilidade na substituição de insumos. A função de produção de elasticidade substituição constante (CES), de acordo com Nerlove (1967), é um caso particular de um modelo puramente de fator de aumento:

$$q = \left[(a(t)K)^{-\rho} + (b(t)L)^{-\rho} \right]^{-1/\rho}, \quad (\text{III.14})$$

onde a elasticidade de substituição é

$$\sigma = 1/(1 + \rho). \quad (\text{III.15})$$

Como na equação (III.4), o viés hicksiano B pode ser calculado, segundo David e Klundert (1965), como:

$$B = \left[\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} - \frac{\dot{b}(t)}{b(t)} \right] \left(1 - 1/\sigma \right). \quad (\text{III.16})$$

A expressão (III.16) mostra que o progresso tecnológico não é independente de σ . Assim, podemos classificar o progresso tecnológico como:

i) poupador de mão-de-obra quando

$$\sigma > 1 \text{ e } \left(\dot{a}(t)/a(t) \right) < \left(\dot{b}(t)/b(t) \right); \text{ e} \quad (\text{III.17})$$

ii) poupador de capital quando

$$\sigma > 1 \text{ e } \left(\dot{b}(t)/b(t) \right) < \left(\dot{a}(t)/a(t) \right). \quad (\text{III.18})$$

Nelson (1965) mostrou que existe pouca diferença entre resultados obtidos quando da estimação do crescimento da produtividade usando as especificação CES e Cobb-Douglas.

Kendrick (1956) e Kendrick e Sato (1963) elaboraram um índice aritmético discreto de progresso tecnológico que é consistente com a função de produção CES, assim representado:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{q_1/q_0}{(wL_1 + rK_1)/(wL_0 + rK_0)} - 1, \quad (\text{III.19})$$

onde w é a taxa de salário e r é a taxa de retorno do capital.

Um outro problema é o pressuposto de retornos constantes de escala, quase sempre adotado quando da estimação das funções de produção Cobb-Douglas e CES. Esta suposição distorce o significado dos índices de produtividade total dos fatores derivados da equação (III.19), porque não é possível distinguir o progresso tecnológico Hicks neutro puro e o aumento de eficiência resultante de um crescimento nas economias de escala (Stigler, 1961).

Vários pesquisadores, além de medirem o progresso tecnológico residualmente através, de um índice de produtividade total dos fatores, também trabalham com etapas mais explícitas para computar a acurácia de medidas de insumos. Griliches (1960), Denison (1962), Griliches e Jorgenson (1966), Jorgenson e Griliches (1967), Gollop e Jorgenson (1980), Christensen, Cummings e Jorgenson (1980), Gollop e Roberts (1981), Fraumeni e Jorgenson (1980, 1981) e outros foram cuidadosos ao ponderar os insumos de mão-de-obra e capital para computar de forma mais acurada as diferenças qualitativas.

Alguns trabalhos mais recentes continuam utilizando índices de progresso tecnológico como o de Solow, mas incorporam importantes inovações, tais como: (i) um esforço cuidadoso para ajustar as medidas dos insumos de capital e mão-de-obra para mudanças qualitativas ao longo tempo; e (ii) utilização de formas funcionais flexíveis para estimar o processo de produção. Assim, os estudos mais recentes têm empregado a função de produção logarítmica transcendental (translog), conforme pode-se ver nos trabalhos de Christensen, Jorgenson e Lau (1971, 1973), que capta de forma mais precisa os efeitos de economias de escala e substituição de insumos quando se mensura o progresso tecnológico.

A estrutura básica para análise contempla uma função de produção com os fatores capital e mão-de-obra e a variável tempo para captar o progresso tecnológico, assim descrita:

$$q = F(K, L; t). \quad (\text{III.20})$$

Sob o pressuposto de retornos constantes de escala, o progresso tecnológico pode ser medido como

$$v_t = \frac{\dot{q}}{q} - v_K \frac{\dot{K}}{K} - v_L \frac{\dot{L}}{L}, \quad (\text{III.21})$$

onde v_K e v_L são as participações distributivas do capital e mão-de-obra no valor do produto. De modo mais objetivo, quando $F(K, L; t)$ é uma forma funcional translog,

$$\begin{aligned} q = \exp[& \alpha_0 + \alpha_L \ln L + \alpha_K \ln K + \alpha_t t + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2 + \beta_{LK} (\ln L)(\ln K) \\ & + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \beta_{Lt} t (\ln L) + \beta_{Kt} t (\ln K) + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2], \end{aligned} \quad (\text{III.22})$$

da qual chegamos aos seguintes resultados:

$$\begin{aligned} v_L &= \alpha_L + \beta_{LL} \ln L + \beta_{LK} \ln K + \beta_{Lt} t, \\ v_K &= \alpha_K + \beta_{LK} \ln L + \beta_{KK} \ln K + \beta_{Kt} t, \end{aligned} \quad (\text{III.23})$$

e
$$v_t = \alpha_t + \beta_{Lt} \ln L + \beta_{Kt} \ln K + \beta_{tt} t.$$

Com base nesta abordagem, Christensen, Cummings e Jorgenson (1980) utilizaram um modelo para comparação de padrões de crescimento entre os Estados Unidos, Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Coréia, Países Baixos e Reino Unido, para o período de 1960 a 1973. Gollop e Jorgenson (1980) estudaram o crescimento na indústria dos Estados Unidos no período de 1947 a 1973. Além desses, vários outros trabalhos

utilizaram esta metodologia, como Gollop e Roberts (1981) e Fraumeni e Jorgenson (1981), ambos também para economia americana.

III.2. O ESTADO DA ARTE

Existem várias abordagens utilizadas no processo de mensuração da produtividade. A medida mais comum parte da representação do processo de transformação insumo-produto através de uma função de produção. O conceito de função de produção envolvendo os insumos capital e mão-de-obra foi desenvolvido por Douglas e Cobb(1928) em uma forma simples para estimação estatística de parâmetros. Porém, a primeira tentativa empírica para medir a produtividade total dos fatores foi realizada por Tinbergen (1942) em um importante artigo onde ele apresenta estimativas para quatro países, incluindo os Estados Unidos.

O conceito de produtividade total de fatores (TFP) foi elaborado por Kendrick (1951) e utilizado como arcabouço para um estudo sobre tendências de produtividade total e parcial na economia doméstica privada dos Estados Unidos. Logo a seguir, vários outros trabalhos foram desenvolvidos, incluindo o de Solow (1957) que utilizam explicitamente a estrutura de função de produção, estabelecendo a produtividade total de fatores como um conceito operacional.

Solow (1957) desejava explicar por um caminho elementar as variações no produto agregado por unidade de mão-de-obra devido ao progresso tecnológico, através de variações na disponibilidade de capital por unidade de mão-de-obra. Portanto, se q representa o produto e K e L representam as quantidades dos insumos capital e mão-de-obra em unidades físicas, então, conforme visto anteriormente, a função de produção agregada é dada por

$$q = F(K, L, t). \quad (\text{III.24})$$

A variável tempo, representada por t , permite captar o progresso tecnológico na função de produção F .

No caso especial de progresso tecnológico Hicks neutro, as mudanças na função de produção conservam as taxas marginais de substituição inalteradas, havendo simplesmente uma variação no produto, dadas as quantidades de insumos. Desse modo, a função de produção pode ser escrita na seguinte forma:

$$q = A(t)f(K, L), \quad (\text{III.25})$$

onde o fator multiplicativo $A(t)$ mede o efeito acumulado de mudanças ao longo do tempo. Diferenciando-se (III.25) com relação ao tempo e dividindo-se por q obtemos:

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{A}}{A} + A \frac{\partial f}{\partial K} \cdot \frac{\dot{K}}{q} + A \frac{\partial f}{\partial L} \cdot \frac{\dot{L}}{q},$$

onde \dot{q} , \dot{A} , \dot{K} e \dot{L} são as derivadas com relação ao tempo. Notamos que

$$\frac{\partial q}{\partial K} = A \frac{\partial f}{\partial K} \quad \text{e} \quad \frac{\partial q}{\partial L} = A \frac{\partial f}{\partial L},$$

e substituindo na expressão acima temos:

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{\partial q}{\partial K} \cdot \frac{\dot{K}}{q} + \frac{\partial q}{\partial L} \cdot \frac{\dot{L}}{q}.$$

Sabemos da teoria da produção que as participações relativas dos fatores são definidas

como $s_K = \frac{\partial q}{\partial K} \cdot \frac{K}{q}$ e $s_L = \frac{\partial q}{\partial L} \cdot \frac{L}{q}$ e, portanto,

$$\frac{\dot{q}}{q} = \frac{\dot{A}}{A} + s_K \frac{\dot{K}}{K} + s_L \frac{\dot{L}}{L}. \quad (\text{III.26})$$

Suponha agora que $F(K, L, t)$ seja homogênea de grau um em K e L e tomemos $q/L = y$ e $K/L = k$. Neste caso, já sabemos que $s_K + s_L = 1$, e assim temos:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{A}}{A} + s_K \frac{\dot{k}}{k}. \quad (\text{III.27})$$

A partir das séries de \dot{y}/y , s_K e \dot{k}/k , ou seus valores discretos ano a ano, podemos estimar \dot{A}/A e, portanto, obter os valores de $A(t)$.

O trabalho de Nadiri (1970) faz uma síntese sobre índices de produtividade, algumas evidências empíricas e uma breve discussão sobre as causas das mudanças de produtividade. Ele define os índices de produtividades parciais do capital e da mão-de-obra como:

$$AP_K = q/K \text{ e } AP_L = q/L,$$

onde q , K e L são, respectivamente, o nível de produto agregado, a quantidade de capital e a quantidade de mão-de-obra. A produtividade total dos fatores, que mede o índice de progresso tecnológico, é definida como a quantidade de produto por unidade de uma combinação de capital e mão-de-obra:

$$A = \frac{q}{aK + bL}, \quad (\text{III.28})$$

onde a e b são pesos apropriados. Quando temos uma função de produção homogênea, o crescimento relativo de A , conforme citado anteriormente, é dado por

$$\frac{dA}{A} = \frac{q_1/q_0}{(rK_1 + wL_1)/(rK_0 + wL_0)} - 1, \quad (\text{III.29})$$

onde r e w são, respectivamente, a taxa de retorno do capital e a taxa de salário e o índice 1 refere-se ao período corrente e o índice 0 refere-se ao período base.

Suponha que a função de produção (III.25) seja do tipo Cobb-Douglas,

$$q = AL^\alpha K^\beta. \quad (\text{III.30})$$

Neste caso, o aumento relativo de A será dado por:

$$\frac{dA}{A} = \frac{dq}{q} - \left(\alpha \frac{dL}{L} + \beta \frac{dK}{K} \right). \quad (\text{III.31})$$

Admita agora que a função de produção seja definida como

$$q = AL^\alpha K^\beta E^\gamma, \quad (\text{III.32})$$

então a relação de produtividade correspondente neste caso será dada por:

$$\frac{dA}{A} = \frac{dq}{q} - \left(\alpha \frac{dL}{L} + \beta \frac{dK}{K} + \gamma \frac{dE}{E} \right), \quad (\text{III.33})$$

onde E é algum insumo omitido. Caso os fatores de produção sejam pagos pelas suas respectivas produtividades marginais e tenhamos a exaustão do produto, a contribuição do fator omitido, E , para a produtividade total é exatamente o termo dA/A da equação (III.31). Desse modo, percebemos que uma má especificação ou erros na estimação da função de produção agregada, tais como erros nas medidas das variáveis ou erros devido a omissão de uma variável, afetarão a medida da produtividade total dos fatores. Removendo-se estas fontes de vieses, a parte de dq/q não explicada pela taxa de

crescimento combinada, referente a todos os fatores de produção, representa exatamente a medida da produtividade total dos fatores ou progresso tecnológico.

As fronteiras conceitual e analítica de produtividade foram ampliadas por Denison (1962), tornando explícito o problema das diferenças residuais entre as taxas de crescimento do produto real e as taxas de crescimento ponderadas dos insumos mão-de-obra e capital quando medidos de forma convencional. Denison tentou medir os resíduos por dois caminhos: (i) incluir na medida do insumo mão-de-obra estimativas do efeito da educação, diminuição das horas de trabalho, mudança na composição idade-sexo da força de trabalho e outros fatores que alteravam a qualidade da mão-de-obra ao longo do tempo; e (ii) tentar quantificar as contribuições, para o crescimento do produto, de outros fatores como o avanço científico, de tal modo que o resíduo refletisse fundamentalmente o impacto deste elemento dinâmico básico.

O trabalho de Jorgenson e Griliches (1967) baseou-se no fato de que a teoria econômica subjacente à mensuração do produto real e insumo real não estava sendo totalmente explorada. Como consequência, vários erros significativos de medida eram cometidos na compilação de dados sobre o crescimento do produto real e crescimento de insumo real. Esses erros introduzem sérios vieses na medida de produtividade total de fatores. A alocação de variações no produto real e no insumo real, entre movimentos ao longo da função de produção e mudanças na função de produção, devem ser corrigidas pelo viés devido aos erros de conceito e de medida de produtividade.

Segundo Jorgenson e Griliches, as alterações nos padrões da atividade produtiva devem ser separadas em duas partes: (i) diminuição de custos, representando a mudança na função de produção; e (ii) emprego de recursos escassos com usos alternativos, representando movimentos ao longo da função de produção. Do lado do produto, as quantidades que entram na teoria econômica da produção correspondem ao produto real como medidas para computação na contabilidade social. Do mesmo modo, do lado dos insumos estas quantidades correspondem aos insumos reais como medidas para computação na contabilidade social. Os preços são identificados como deflatores

implícitos que fazem a conversão dos valores totais do produto e dos insumos em termos reais. As medidas do produto e dos insumos são baseados exclusivamente nas transações de mercado, ou melhor, todos preços refletem os benefícios e custos privados. Desse modo, a parcela de uma alteração no padrão de atividade produtiva sem custos, baseada no ponto de vista de transação de mercado, é atribuída à variação na produtividade total dos fatores. Concluindo, a estrutura de contabilidade social fornece uma definição da produtividade total dos fatores como a razão do produto real em relação à quantidade real de insumo.

A identidade fundamental para contabilização por período de m produtos e n insumos nos diz que o valor dos produtos é igual ao valor dos insumos

$$\sum_{i=1}^m p_i q_i = \sum_{j=1}^n w_j x_j, \quad (\text{III.34})$$

ou seja, as vendas são iguais as despesas com insumos intermediários, onde q_i e x_j são, respectivamente, as quantidades do i -ésimo produto e do j -ésimo insumo e p_i e w_j são, respectivamente, os preços do i -ésimo produto e do j -ésimo insumo. Esta identidade contábil é fundamental na definição de um método apropriado para medir a produtividade dos fatores. Para tal, diferencia-se a equação (III.34) com relação ao tempo e divide-se ambos os membros pelo valor total correspondente. Isto resulta em uma identidade entre uma média ponderada da soma de taxas de crescimento de preços e quantidades de produtos e uma média ponderada da soma de taxas de crescimento de preços e quantidades de insumos:

$$\sum_{i=1}^m s_i \left(\frac{\dot{p}_i}{p_i} + \frac{\dot{q}_i}{q_i} \right) = \sum_{j=1}^n v_j \left(\frac{\dot{w}_j}{w_j} + \frac{\dot{x}_j}{x_j} \right), \quad (\text{III.35})$$

onde os pesos s_i e v_j são, respectivamente, a participação relativa do valor de i -ésimo produto no valor do produto total e a participação relativa do valor do j -ésimo insumo no valor total dos insumos:

$$s_i = \frac{p_i q_i}{\sum p_i q_i}$$

e

$$v_j = \frac{w_j x_j}{\sum w_j x_j},$$

com $s_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, m$, $v_j \geq 0$, $j = 1, 2, \dots, n$ e $\sum s_i = \sum v_j = 1$.

A partir da equação (III.35), podemos definir um índice de quantidade total de produto (q) e um índice quantidade total de insumo (x). As taxas de crescimento destes são dadas por

$$\frac{\dot{q}}{q} = \sum_{i=1}^m s_i \frac{\dot{q}_i}{q_i}$$

e

$$\frac{\dot{x}}{x} = \sum_{j=1}^n v_j \frac{\dot{x}_j}{x_j};$$

que representam exatamente os índices Divisia de quantidades. Os índices de Divisia de preços correspondentes para o produto total e o insumo total são escritos, respectivamente, como

$$\frac{\dot{p}}{p} = \sum_{i=1}^m s_i \frac{\dot{p}_i}{p_i}$$

e

$$\frac{\dot{w}}{w} = \sum_{j=1}^n v_j \frac{\dot{w}_j}{w_j}.$$

Uma definição natural da produtividade total dos fatores baseada nos números índices de Divisia é a relação entre a quantidade de produto total e a quantidade de insumo total:

$$d = \frac{q}{x}. \quad (\text{III.36})$$

Utilizando os índices de Divisia de quantidades q e x , podemos obter as taxas de crescimento da produtividade total dos fatores,

$$\frac{\dot{d}}{d} = \frac{\dot{q}}{q} - \frac{\dot{x}}{x} = \sum s_i \frac{\dot{q}_i}{q_i} - \sum v_j \frac{\dot{x}_j}{x_j}, \quad (\text{III.37a})$$

ou, de modo alternativo,

$$\frac{\dot{d}}{d} = \frac{\dot{w}}{w} - \frac{\dot{p}}{p} = \sum v_j \frac{\dot{w}_j}{w_j} - s_i \frac{\dot{p}_i}{p_i}. \quad (\text{III.37b})$$

Temos assim, duas definições duais de produtividade total dos fatores e que são equivalentes a (III.35).

Podemos interpretar economicamente esta definição com base na teoria da produção. Inicialmente admitamos uma função de produção com retornos constantes de escala e vamos representá-la na forma implícita,

$$H(q_1, q_2, \dots, q_m; x_1, x_2, \dots, x_n) = 0.$$

As mudanças na tecnologia de produção podem ser definidas utilizando-se uma média ponderada adequada de taxas de crescimento dos produtos e dos insumos,

$$G\dot{H} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{H_i q_i}{\sum H_i q_i} \cdot \frac{\dot{q}_i}{q_i} \right) - \sum_{j=1}^n \left(\frac{H_j x_j}{\sum H_j x_j} \cdot \frac{\dot{x}_j}{x_j} \right), \quad (\text{III.38})$$

onde,

$$H_i = \frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad H_j = \frac{\partial H}{\partial x_j}$$

e

$$\frac{1}{G} = \sum_{i=1}^m H_i q_i = - \sum_{j=1}^n H_j x_j.$$

As variações na produtividade total dos fatores são identificadas como mudanças na função de produção, assim como os movimentos ao longo da função de produção podem ser interpretados como aumento de produção para satisfazer as condições necessárias de equilíbrio do produtor. Desse modo, todas as taxas marginais de transformação entre pares de insumos e produtos devem ser iguais às razões de preços correspondentes:

$$\frac{\partial q_i}{\partial x_j} = -\frac{H_j}{H_i} = \frac{w_j}{p_i}, \quad \frac{\partial q_i}{\partial q_k} = -\frac{H_k}{H_i} = \frac{p_i}{p_k}, \quad \frac{\partial x_j}{\partial x_\ell} = -\frac{H_\ell}{H_j} = \frac{w_\ell}{w_j},$$

com $i, k = 1, 2, \dots, m$ e $j, \ell = 1, 2, \dots, n$.

Fazendo-se a combinação destas condições com a definição de mudanças na função de produção, representada pela equação (III.38), conseguimos obter a definição de produtividade total dos fatores dada pelas equações (III.37a) e (III.37b) em uma forma bastante simples:

$$GH = \frac{\dot{d}}{d}. \quad (\text{III.39})$$

Desse modo, podemos notar que a taxa de crescimento da produtividade total dos fatores é igual a zero se e somente se a mudança na função de produção for igual a zero.

Os trabalhos de Gollop e Jorgenson (1980) e Christensen, Cummings e Jorgenson (1980) forneceram uma contribuição importante no sentido de que incorporaram alguns desenvolvimentos da teoria da produção e custo e da teoria dos números índices. As funções de produção translog são utilizadas de forma adequada para modelos com múltiplos produtos e insumos; usam de modo consistente a versão discreta de Törnqvist da forma de números índices de Divisia para agregados de produtos e insumos.

A partir dos anos 70 foram elaborados inúmeros trabalhos sobre medidas produtividade total dos fatores, onde são explicitadas várias abordagens para o caso de indústrias competitivas. Na subseção que segue, tenta-se fazer uma breve síntese.

III.3. AS VÁRIAS ABORDAGENS SOBRE MEDIDAS DE PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES

III.3.1. Abordagem da Estimação Econométrica de Funções de Produção e Custo

Nessa linha podemos citar os trabalhos de Christensen et al.(1971), Diewert (1974), Lau (1974), Binswanger (1974a), McFadden (1978), Diewert (1978b) e Berndt e Khaled (1979).

O método assume uma forma funcional conveniente para função de produção,

$$q_t = f(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{mt}, t), \quad (\text{III.40})$$

onde x_{it} é a quantidade do i -ésimo insumo disponível no período t , e estima os parâmetros da equação de regressão que caracteriza f :

$$q_t = f(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{mt}, t) + \text{erro}. \quad (\text{III.40a})$$

Uma medida de progresso tecnológico apropriada durante o período t é dada por $\partial \ln f(x_t, t) / \partial t$, com $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{mt})$, que mede a variação percentual no produto durante um intervalo de tempo.

Suponha agora o vetor de preços de insumos $w_t = (w_{1t}, w_{2t}, \dots, w_{mt})$ durante o período t em um mercado competitivo. A função de custo é dada pela solução do problema:

$$C(q_t, w_t, t) \equiv \min_{x_t} \{w_t \cdot x_t : f(x_t, t) \geq q_t, x_t \geq 0\}. \quad (\text{III.41})$$

Percebemos que C é completamente determinada através de f , porém somente sob determinadas condições de regularidade C determina f . Utilizando-se o lema de Shephard (1953), chegamos ao resultado:

$$x_t = \nabla_w C(q_t, w_t, t) \quad (\text{III.42})$$

onde $\nabla_w C(q_i, w_i, t) \equiv (\partial C / \partial w_1, \partial C / \partial w_2, \dots, \partial C / \partial w_n)$ é o vetor gradiente de C com relação aos componentes do vetor de preços de insumos w_i . A desvantagem desta abordagem da função de custo é que a mesma necessita do pressuposto de comportamento competitivo do produtor em relação ao mercado de insumos.

Dentre os trabalhos mais recentes nessa linha podemos citar os seguintes:

i) JHA, MURTHY, PAUL e RAO (1993) examinaram os vieses de progresso tecnológico, substituição de fatores e economias de escala nas quatro maiores indústrias da Índia, estimando uma função translog com dados do período 1960-1983.

ii) GARCIA e TELXEIRA (1991) analisaram o desempenho dos setores agrícola e não-agrícola no Brasil durante o período 1960-1986, através da estimação de uma função de produção também do tipo translog.

iii) ZUCKERMAN, HADLEY e IEZZONI (1994) estimaram uma função de custo multiproduto de fronteira estocástica para fazer medidas específicas da ineficiência em hospitais nos Estados Unidos.

iv) ATKINSON e CORNWEL (1994) generalizaram a abordagem paramétrica trabalhando com "panel data" e mostraram que a ineficiência alocativa insumo/firma específica, como também a ineficiência técnica firma específica, podem ser identificadas e estimadas utilizando-se uma forma funcional flexível, para o caso do transporte aéreo nos Estados Unidos.

v) BRAGA e ROSSI (1988) avaliaram a evolução da produtividade da indústria brasileira no período 1970-1983, estimando uma função de produção do tipo translog.

III.3.2. Abordagem Não-Paramétrica

Os trabalhos básicos desta linha foram elaboradas por Farrell (1957), Afriat (1972), Hanoch e Rothschild (1972) e Diewert e Parkan (1979). Essa abordagem parte de uma função de produção $f_t(x_t)$, contínua, não decrescente e côncava em $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})$, que é o vetor de insumos durante o período t para cada firma. Caso exista progresso tecnológico, as funções de produção específicas para o período $f_t(x_t)$ são tais que:

$$f_t(x_t) \geq f_s(x_s), \quad (\text{III.43})$$

para todo $x \geq 0$, se $t > s$; ou melhor, o máximo produto possível de ser obtido pelo vetor de insumos x durante o período t , $f_t(x_t)$, é igual ou maior que o máximo produto possível de ser obtido pelo mesmo vetor de insumos x durante o período s , que é $f_s(x_s)$.

Farrell (1957) e Afriat (1972) definem uma aproximação interna para função de produção no período t , \tilde{f}_t , sobre o cone convexo de disposição livre, $S(x_1, x_2, \dots, x_t)$, como:

$$\tilde{f}_t(x_t) \equiv \max_{\lambda_1, \dots, \lambda_t \geq 0} \left\{ \sum_{i=1}^t \lambda_i q_i : \sum_{i=1}^t \lambda_i x_i \leq x, \sum_{i=1}^t \lambda_i = 1 \right\}, \quad (\text{III.44})$$

para $t = 1, 2, \dots, T$, onde $S(x_1, x_2, \dots, x_t)$ é definido por:

$$S(x_1, x_2, \dots, x_t) \equiv \left\{ x : x \geq \sum_{i=1}^t \lambda_i x_i, \lambda_i \geq 0, \sum_{i=1}^t \lambda_i = 1 \right\}.$$

Diewert e Parkan (1979) propuseram alguns testes não estatísticos que permitem saber se os dados de determinada firma são consistentes ou não com o crescimento da produtividade total dos fatores ao longo do tempo.

A vantagem da abordagem não-paramétrica é que ela não necessita de qualquer pressuposto restritivo sobre a forma funcional da função de produção da firma. As desvantagens são que

ela não funciona caso exista "regresso" tecnológico e é computacionalmente mais complicada que os demais procedimentos, pois é necessário resolver problemas de programação linear.

Nessa linha de pesquisa, ainda podemos citar os trabalhos mais recentes de:

i) ALVES (1988) que examinou a eficiência relativa de estabelecimentos industriais no Estado de Minas Gerais, utilizando o método da fronteira eficiente.

ii) KOOREMAN (1994) que analisou a eficiência técnica de casas de saúde holandesas com relação ao uso dos insumos de mão-de-obra, utilizando uma análise não-paramétrica de fronteira eficiente.

iii) FÄRE et al. (1994) analisaram o crescimento da produtividade em 17 países industrializados no período 1979-1988, utilizando um método de programação não-paramétrico para calcular os índices de produtividade de Malmqvist.

iv) FIXLER (1993) derivou um índice de preço de produtos bancários do tipo superlativo a partir da teoria econômica das firmas financeiras, utilizando a abordagem não-paramétrica com dados de custos de bancos americanos no período 1985-1988.

III.3.3. Abordagem Via Grupos de Lie

Os principais trabalhos nesta linha são de Hurwicz e Uzawa (1971), Abraham-Frois (1977), Sato (1980, 1981) e Sato e Calem (1983). Segundo Laurencel (1986), esta abordagem considera inicialmente o problema de estimação para uma função de produção. Admite-se que o progresso tecnológico é conhecido a priori e tem forma neutra:

$$T_t: \quad \bar{K} = e^{\alpha} K, \quad \bar{L} = e^{\alpha} L, \quad (\text{III.45})$$

onde K é a quantidade de capital, L a quantidade de mão-de-obra, α a taxa de progresso tecnológico ($\alpha \geq 0$), \bar{K} o capital efetivo, \bar{L} a mão-de-obra efetiva e t o parâmetro de progresso tecnológico. As equações para \bar{K} e \bar{L} , denominadas de funções de progresso

tecnológico para o capital e a mão-de-obra constituem um grupo de Lie a parâmetro único de transformações contínuas (Lie (1981)).

Admita agora que a equação de estimação seja obtida via observações de mercado referentes à taxa marginal de substituição entre capital e mão-de-obra, através de

$$w_K/w_L = q_K/q_L = g(K/L, t), \quad (\text{III.46})$$

onde w_K e w_L representam os preços do capital e da mão-de-obra e q_K e q_L as produtividades marginais do capital e da mão-de-obra. Se K e L estão relacionados com \bar{K} e \bar{L} através das funções de progresso tecnológico T_t , com as mesmas sendo a única fonte de progresso tecnológico, então a taxa marginal de substituição estimada, $g(K/L, t)$, deve ser invariante em relação a t , ou melhor,

$$g(K/L, t) = \bar{g}(\bar{K}/\bar{L}) = \bar{g}(e^{\alpha t}K/e^{\alpha t}L) = \bar{g}(K/L). \quad (\text{III.47})$$

Isto implica em que o aumento na eficiência do capital e mão-de-obra (α) não pode ser estimado a partir de observações da taxa marginal de substituição.

De um modo geral, estando definido um grupo de Lie de progresso tecnológico T , pode-se obter uma família de funções de produção invariantes com relação a T , que são denominadas de tecnologias holotéticas. Segundo Sato (1981), o efeito da mudança tecnológica e o efeito de escala são identificáveis independentemente, se e somente se, a função de produção for não holotética com relação a um dado tipo de mudança tecnológica.

O modelo de Sato (1981) parte dos seguintes pressupostos: (i) o progresso tecnológico é Hicks neutro e a função de produção é homogênea linear, ou melhor, $q(t) = T(t)f(K, L)$, com $T(t) > 1$; e (ii) as produtividades marginais do capital e da mão-de-obra são aproximadamente iguais à taxa de retorno sobre o capital e a taxa de salário, ou melhor, $r = f_K$ e $w = f_L$. Desse modo, tem-se que

$$T(t) = \frac{q(t)}{f(K, L)}, \quad (\text{III.48})$$

da qual decorre que:

$$\frac{\dot{T}}{T} = \frac{\dot{q}}{q} - \left(q_K \frac{\dot{K}}{K} \cdot \frac{K}{Y} + q_L \frac{\dot{L}}{L} \cdot \frac{L}{Y} \right). \quad (\text{III.49})$$

Isto implica em

$$\frac{\dot{T}}{T} = \frac{\dot{q}}{q} - \left(\alpha \frac{\dot{K}}{K} + \beta \frac{\dot{L}}{L} \right), \quad (\text{III.50})$$

onde $\alpha = rK/q$ e $\beta = wL/q$. A expressão (III.50) serve para estimar o progresso tecnológico dado por \dot{T}/T .

III.3.4. Abordagem dos Índices de Divisia

Esta linha baseia-se no trabalho de Divisia (1926) e foi desenvolvida por Solow (1957), Richter (1966), Jorgenson e Griliches (1967) e Hulten (1973). A abordagem parte de uma função de produção homogênea do primeiro grau nos insumos dada por

$$q(t) = F(x(t), t) \quad (\text{III.51})$$

onde $q(t)$ é a quantidade de produto no instante t e $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t))$ é o vetor de insumos utilizados no instante t . Se a função de produção expressa progresso tecnológico Hicks neutro, a mesma pode ser representada do seguinte modo:

$$q(t) = A(t) f(x(t)), \quad (\text{III.52})$$

onde $A(t)$ é um fator de mudança para a função de produção no instante t . Diferenciando-se (III.52) com relação ao tempo, chegamos a:

$$\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = \frac{\dot{q}(t)}{q(t)} - \sum_{j=1}^N s_j(t) \frac{\dot{x}_j(t)}{x_j(t)}, \quad (\text{III.53})$$

onde $s_j(t) = w_j(t)x_j(t)/q(t)$.

Se $A(t)$ for diferente de zero, existe progresso tecnológico e podemos medi-lo integrando-se a relação (III.24) entre os instantes 0 e T, obtendo-se

$$\frac{A(T)}{A(0)} = \frac{q(T)/q(0)}{\exp\left(\int_0^T \sum_{j=1}^N s_j(t) \left(\dot{x}_j(t)/x_j(t)\right) dt\right)}, \quad (\text{III.54})$$

onde o denominador do segundo membro de (III.54) é definido como o índice de Divisia de crescimento dos insumos entre os instantes 0 e T, ou melhor,

$$\ln\left(\frac{X(T)}{X(0)}\right) = \int_0^T \sum_{j=1}^N s_j(t) \left(\frac{\dot{x}_j(t)}{x_j(t)}\right) dt. \quad (\text{III.55})$$

Um problema com a abordagem de Divisia é que os dados econômicos não são encontrados na forma contínua. Portanto, a expressão (III.55) deve ser aproximada para uso com dados de tempo discreto. Existem várias maneiras de aproximar (III.55) utilizando dados discretos, tanto que esta abordagem não resulta em estimativas únicas da produtividade total dos fatores, conforme Diewert (1980).

Nessa linha citamos os seguintes trabalhos recentes:

i) EFTHYMOGLOU e VLACHOU (1989) investigaram a produtividade do sistema elétrico grego, utilizando a abordagem dos números-índices, especificamente o Divisia, com dados do período 1970-1985.

ii) SQUIRES (1992) mensurou a produtividade total dos fatores em indústrias que exploram recursos de uso comum, utilizando uma aproximação discreta do índice de Divisia contínuo que é o índice de Tornqvist.

III.3.5. Abordagem dos Números Índices Exatos

Nesta linha podemos citar os trabalhos elaborados por Gorman (1968), Diewert (1973, 1974, 1976, 1980), Lau (1976, 1979a), McFadden (1978) e Hulten (1978). A abordagem considera o caso da firma com produção múltipla, onde $q = (q_1, q_2, \dots, q_M)$ é o vetor de quantidades de produto e $p = (p_1, p_2, \dots, p_M)$ é o vetor de preços correspondente.

A função de custo variável da firma no instante t é definida pela solução do problema de minimização do custo variável,

$$C(q_t, w_t, k_t, t) \equiv \min_{x_t} \{w_t \cdot x_t : (q_t, x_t, k_t) \in V(q_t)\}, \quad (\text{III.56})$$

onde $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{jt})$ é o vetor de insumos variáveis, $w_t = (w_{1t}, w_{2t}, \dots, w_{jt})$ é o vetor de preços correspondente e $V(q_t)$ é o conjunto de possibilidades de produção da firma no instante t . O vetor $k_t = (k_{1t}, k_{2t}, \dots, k_{kt})$ representa as quantidades de insumos fixos com $r_t = (r_{1t}, r_{2t}, \dots, r_{kt})$ sendo seu vetor de preços correspondente. O lema de Shephard é válido se a função $C(q_t, w_t, k_t, t)$ for diferenciável em relação a w_t e, deste modo, temos:

$$x_t = \nabla_w C(q_t, w_t, k_t, t), \quad (\text{III.57})$$

onde x_t representa o vetor de insumos variáveis que minimiza os custos no instante t .

Admita agora que a firma seja competitiva e maximiza lucro; então seu problema será:

$$\max_{q_t, x_t, k_t} \{p_t \cdot q_t - w_t \cdot x_t - r_t \cdot k_t : (q_t, x_t, k_t) \in V(q)\}. \quad (\text{III.58})$$

Se a função de custo for diferenciável com relação à q_i e k_i , então vale que:

$$p_i = \nabla_{q_i} C(q_i, w_i, k_i, t) \quad (\text{III.59a})$$

$$e \quad r_i = \nabla_{k_i} C(q_i, w_i, k_i, t). \quad (\text{III.59b})$$

Denomina-se de "efeito impacto", sobre o custo variável devido ao progresso tecnológico no instante t , a derivada

$$\tau_t \equiv \partial \ln C(q_i, w_i, k_i, t) / \partial t, \quad (\text{III.60})$$

ou melhor, τ_t é a variação percentual do custo variável no instante t que não é explicada pelas variações nos insumos ou produto, ou ainda, pelas variações nos preços dos insumos variáveis. Caso exista progresso tecnológico τ_t deve ser negativo.

Precisamos de definir uma forma funcional específica e tentar medir τ_t nos instantes $t=0$ e $t=1$. Para o caso específico da função de custo variável translog, Diewert (1976) provou que:

$$e^{(\tau_1 + \tau_0)/2} = \frac{\left(\frac{w_1 \cdot x_1}{w_0 \cdot x_0} \right)^{\pi} \left(\frac{k_1}{k_0} \right)^{A(k_1, r_1)}}{\prod_{j=1}^J \left(\frac{w_{j1}}{w_{j0}} \right)^{B(x_j, w_j)} \prod_{i=1}^M \left(\frac{q_{i1}}{q_{i0}} \right)^{D(q_i, p_i)}}. \quad (\text{III.61})$$

onde:

$$A(k_1, r_1) = \left(\frac{r_1}{w_1 \cdot x_1} + \frac{k_1}{w_0 \cdot x_0} \right) / 2,$$

$$B(x_j, w_j) = \left(\frac{w_{j1}}{w_1 \cdot x_1} + \frac{x_{j1}}{w_0 \cdot x_0} \right) / 2$$

$$e \quad D(q_i, p_i) = \left(\frac{p_{i1}}{w_1 \cdot x_1} + \frac{q_{i1}}{w_0 \cdot x_0} \right) / 2.$$

Podemos provar que se houver progresso tecnológico entre os instantes 0 e 1 o segundo membro da expressão (III.61) é menor que 1 e, portanto, $\tau_1 + \tau_0$ será negativo.

Esta abordagem apresenta as vantagens: (i) não necessita da estimação econométrica e (ii) pode-se trabalhar com um grande número de insumos e produtos. A desvantagem é que temos que assumir uma forma funcional específica para a função de custo variável do produtor.

III.3.6. Comparação Entre as Várias Abordagens

As primeiras tentativas de desenvolvimento empírico dos índice de produtividade total dos fatores possuíam limitações teóricas devido às formas explícitas ou implícitas das funções serem muito restritivas em relação ao comportamento dos agregados econômicos. A homogeneidade linear das funções de produção implica em retornos constantes de escala. Entretanto, economias crescentes de escala ocorrem em várias indústrias, conforme o trabalho de Griliches e Ringstad (1971). Além disso, segundo Kadiyala (1971, 1972), a elasticidade de substituição dos fatores não pode ser constante ao longo do tempo, o que implica em que as funções de produção com elasticidade de substituição variável (VES) sejam as mais apropriadas para estudos empíricos.

A má especificação da forma funcional de produção resulta em distorções das medidas empíricas da produtividade total dos fatores. O pressuposto de neutralidade no sentido de Hicks tem uma séria consequência empírica, pois o tipo de progresso tecnológico deve ser uma hipótese a ser verificada e não assumi-la como verdadeira.

Um outro tipo de viés é o pressuposto de competição perfeita que admite capacidade plena da economia e comportamento eficiente em relação aos agregados econômicos. A curto prazo, os ciclos financeiros podem afetar as taxas de utilização de capital, as quais influenciam as taxas de retorno de capital no mercado. Por outro lado, a longo prazo, uma tendência gradual das reduções relativas às imperfeições de mercado se reflete através de uma melhoria nos índices de produtividade total dos fatores.

Atualmente os métodos de medida de produtividade total dos fatores tentam redefinir a metodologia para mensuração do progresso tecnológico e buscam desagregar as fontes de crescimento econômico. Este enfoque é denominado de crescimento contábil e tem como principal objetivo e exatidão, a consistência e a robustez das medidas. Entretanto, este enfoque e o anterior têm ponto em comum na utilização da teoria da agregação. As principais limitações do método de crescimento contábil são: (i) a utilização de dados de valor real adicionado; e (ii) a exclusão de insumos intermediários na função de produção, devido a sua própria definição. Sato e Ramachandran (1980) acham que estas restrições causam distorções nas medidas do progresso tecnológico.

Todas cinco abordagens, descrita neste capítulo, para mensuração de deslocamentos exógenos da tecnologia, cometem um erro de aproximação, tendo em vista que trabalhando-se com dados de mercado, de preços e quantidades, é impossível a determinação dos verdadeiros conjuntos de possibilidades de produção e as verdadeiras demandas.

A principal vantagem da abordagem econométrica, válida também para a não paramétrica, é o fato de se obter estimadores para as funções de produção verdadeiras subjacentes. Entretanto, quando se trata de um grande número de insumos e de produtos, essa metodologia se torna praticamente inviável.

As abordagens dos índices de Divisia e dos números índices exatos podem ser aplicadas quando existe um grande número de insumos e produtos. A desvantagem de Divisia está no fato de não existir uma fórmula única para medir os deslocamentos na tecnologia, tendo em vista que existem várias maneiras de aproximar derivadas temporais contínuas por diferenças discretas.

A abordagem dos números índices exatos tem como principal desvantagem o fato de ser necessário assumir uma forma funcional específica para a função de custo subjacente. A abordagem não-paramétrica foge desta limitação; entretanto, é computacionalmente bastante complexa e suas medidas de deslocamentos da tecnologia são apenas limiares inferiores dos deslocamentos verdadeiros. Já a abordagem por grupos de Lie ainda precisa de um maior aprofundamento quanto a sua implementação empírica.

IV. REGULAMENTAÇÃO ECONÔMICA DE EMPRESAS CONCESSIONÁRIAS DE SERVIÇOS

IV.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os recursos produtivos de uma economia, em princípio, devem ser utilizados na obtenção de bens e serviços a fim de satisfazer os desejos não saciáveis dos indivíduos que formam a sociedade. Um dos principais objetivos da ciência econômica é tentar explicar de que forma uma sociedade tenta se organizar para resolver o problema da escassez de recursos, de modo a responder as seguintes perguntas: O que produzir ? Como produzir ? E para quem produzir ?

No caso de um sistema econômico subordinado a um planejamento central, essas perguntas são facilmente respondidas, pois existe um responsável por este planejamento. Entretanto, no mundo econômico das sociedades de homens livres, as soluções destes problemas são encontradas de forma cooperativa entre os indivíduos que formam a sociedade. Nessas sociedades capitalistas, o bom funcionamento do sistema de preços depende principalmente do estabelecimento de uma ordem social de forma clara e bem definida, de modo a garantir o direito de propriedade e excluir eventos que envolvam externalidades, indivisibilidades e bens públicos.

Segundo Carvalho (1990), a existência de externalidades, indivisibilidades e bens públicos normalmente resulta nas chamadas falhas de mercado, que são muito mais aparentes do que de fato reais. Assim, os problemas de externalidades são resultado de uma definição de forma inadequada do direito de propriedade e os efeitos das indivisibilidades geralmente podem ser contornados. Já os bens públicos representam um caso particular de

externalidades, cuja internalização, em alguns casos, pode ser praticamente impossível devido aos altos custos de transação.

Geralmente as falhas de mercado são corrigidas através de ações do governo, que impõe os seguintes mecanismos para resolver os problemas de:

i) Externalidades: Impostos ou caracterização de forma clara do direito de propriedade dos agentes econômicos envolvidos na negociação do mercado.

ii) Indivisibilidades e bens públicos: Intervenção direta do Estado através da concessão regulada do poder monopolístico ou a própria produção dos bens ou serviços.

A imposição de uma regulamentação implica no cerceamento da livre ação dos agentes econômicos. Entretanto, a organização social permite ao governo a definição de normas, uma vez que estas não podem ser obtidas através das forças impessoais do mercado. Por outro lado, não se pode delegar tal responsabilidade ao governo antes da definição dos limites das ações do Estado como regulador.

A regulamentação pode ser considerada como a imposição de uma restrição intencional sobre escolhas de atividades por uma entidade independente da atividade regulada. Desse modo, inicialmente é necessário caracterizar o órgão regulador e depois fornecer-lhe instrumentos para aplicação e policiamento do cumprimento das normas, de modo a permitir a punição efetiva dos infratores.

A regulamentação imposta pelo governo deve visar o interesse público, de modo que o cerceamento da liberdade de ação dos agentes econômicos deve ser o mínimo possível e o objetivo principal seja eliminar externalidades e proteger o direito de terceiros. Quando os

problemas de indivisibilidades são incontornáveis deve-se conceder o poder monopolístico acompanhado de uma regulamentação para proteger os interesses dos consumidores.

Carvalho (1990) sugere que o processo de consubstanciação de uma regulamentação deve considerar tanto os benefícios quanto os custos da implementação do mecanismo, além das possíveis reações políticas a favor ou contra. Os critérios utilizados na definição da regra devem ser amplamente divulgados independente da concessão do poder monopolístico a um agente qualquer, de modo a se alcançar o objetivo proposto.

Atendidas as premissas citadas acima, o objetivo da regulamentação é resolver problemas de externalidades e proteger interesses de terceiros, de modo a promover o bem comum. Entretanto, tanto no Brasil quanto na maioria dos países ocidentais, o órgão regulador geralmente dotado de poderes discricionários, não apenas regula as atividades de determinado mercado, mas altera as normas quando de sua conveniência. Isto induz os agentes econômicos regulados a investirem recursos para promover influências sobre os responsáveis pelos órgãos, a fim de obterem vantagens via legislação.

Geralmente, os benefícios resultantes da aplicação de uma regulamentação são concentrados em favor de pequenos grupos, enquanto que os custos são diluídos por toda a sociedade. Esta realidade, aliada ao poder discricionário do órgão regulador, explicam a crescente quantidade de normas e regulamentos que favorecem a grupos específicos. Desse modo, são inúmeros os casos onde as regulamentações do Estado (com boas intenções) resultam em prejudicar o bom funcionamento da economia e penalizar grupos que originalmente deveriam ser beneficiados.

IV.2. TEORIA E PRÁTICA DE REGULAMENTAÇÃO ECONÔMICA

IV.2.1. O Estado da Arte

A regulamentação econômica é algo bastante antigo. Seu estudo e as tentativas de justificação são provavelmente tão velhos quanto sua prática. Durante os últimos trinta anos tem crescido bastante o número de pesquisas sobre a economia da regulamentação do governo em vários países.

O estudo de abordagens de políticas públicas referentes a problemas em organização industrial era limitado quase que exclusivamente a política anti-trust e a regulamentação de algumas indústrias com características de monopólio natural. Esta área de investigação tem-se transformado e paralelamente têm surgido novas agências reguladoras em vários países com poderes para fixar preços, restringir a entrada e controlar quais produtos devem ser produzidos. Estas agências podem afetar a eficiência dos mercados industriais como também a distribuição da produção e renda na economia.

Nesta perspectiva, vários governos têm se envolvido em grande número de atividades regulatórias, como por exemplo, controlar empresas de serviços, regular instituições financeiras, regular segurança de automóveis e controlar a poluição ambiental. A regulamentação é um instrumento que o governo tem para tentar alcançar alguns resultados desejados. Ela representa um meio termo entre os métodos que envolvem controle mais direto, como a estatização de uma indústria, e aqueles que se utilizam de mecanismos de controle mais indiretos, como impostos e subsídios.

Os estudos sobre regulamentação, tanto teóricos quanto empíricos, geralmente enfocam três áreas: (i) regulamentação de preço e entrada em indústrias com estrutura de mercado

competitivo; (ii) regulamentação de preço e entrada em indústrias monopolísticas; e (iii) regulamentação qualitativa, que tenta enfrentar e resolver vários tipos de problemas de falhas de mercado que estão relacionados de forma indireta aos preços, lucros e estrutura de mercado. Nesta terceira categoria estão o meio ambiente, saúde, segurança ocupacional, regulamentação da qualidade de produtos e outros.

A teoria da regulamentação tradicional utiliza-se do interesse público para justificar intervenção do Estado, de modo a corrigir algum tipo de falha de mercado como no caso do monopólio natural.

Averch e Johnson (1962) estudaram a teoria do interesse público focalizando o comportamento de firmas regulamentadas. Eles propuseram um método eficiente para examinar os efeitos da regulamentação sobre as decisões das empresas. Eles mostraram que a regulamentação do custo, especificamente sobre a taxa de retorno do capital próprio (processo bastante utilizado nos Estados Unidos) induz às firmas a utilizarem insumos de forma ineficiente, geralmente com uma sobrecapitalização, que implica em um aumento em suas tarifas.

Baumol e Klevorick (1970), Bailey (1973), Das (1980) e vários outros aperfeiçoaram e estenderam esta análise, além de reforçarem a conclusão básica. Vários trabalhos empíricos mostraram que em muitos casos a ineficiência causada por esta regulamentação era bastante dispendiosa para os consumidores, que acabavam pagando os aumentos de custos através de suas faturas.

Entretanto, Joskow e Noll (1981) explicitam que os testes empíricos eram inconclusivos para saber se de fato as firmas tinham um tal comportamento. Mas, outros trabalhos empíricos anteriores mudaram um pouco a teoria do interesse público por encontrarem que

a regulamentação não afetava o comportamento da firma (Stigler e Friedland, 1962) ou que ela criava (não eliminava) ineficiências econômicas (Meyer et al, 1959 e Caves, 1962).

Segundo uma visão bastante ampla sobre economia da regulamentação, Stigler (1971) argumenta que a regulamentação sobre um setor pode ser ativamente procurada por uma indústria ou ela pode ser imposta pelo governo a esta indústria. Isto pode resultar que a regulamentação pode ser elaborada e operacionalizada em benefício da indústria em questão. Além disso, ele afirma que a habilidade do Estado, em usar seus poderes coercitivos para fornecer subsídios, controlar a entrada, ou fixar preços, pode ser utilizada em vantagens para firmas privadas, pelo fato que elas podem conseguir votos e dinheiro para as autoridades regulatórias. Daí, os cuidados que se deve tomar quando de fato o governo tiver que regulamentar uma determinada atividade.

O trabalho de Stigler (1971), seguido pelos estudos de Peltzman (1976) e Becker (1983) deram um novo rumo a teoria do interesse público, oferecendo uma análise do comportamento dos reguladores e revelando as fontes de ineficiências. Segundo Peltzman (1989), as implicações dessa chamada teoria da regulamentação de Chicago são que: (i) grupos compactos e bem organizados (geralmente produtores) tenderão a se beneficiar mais da regulamentação que grupos amplos e difusos; e (ii) a política de regulamentação procurará preservar uma distribuição de renda politicamente ótima entre esta coalizão de grupos bem organizados.

A política de regulamentação pode ser impecável, mas será que a performance de um mercado desregulamentado poderia ser superior se a produção de custo mínimo fosse realizada por uma única firma, como no caso de um monopólio natural? Usando uma teoria de mercados contestáveis, Baumol, Panzar e Willig (1982) argumentam que, mesmo em indústrias com economias de escala, a desregulamentação pode ser uma solução

superior à regulamentação. Eles afirmam que se não houver custos fixos, os competidores potenciais podem garantir a disciplina do mercado, conduzindo ao comportamento de preços ótimos e eliminando a necessidade de regulamentação formal.

Analisando o que as teorias dizem sobre os prováveis efeitos da desregulamentação e como elas direcionariam a pesquisa empírica, Noll (1989a) sugere que as indústrias devem ser desregulamentadas quando os custos da regulamentação forem superiores aos custos de transação de revogá-la mais os custos da falha de mercado restante. Assim, a desregulamentação produziria melhoria de eficiência que poderia beneficiar consumidores e produtores.

As hipóteses de Averch-Johnson prevêm que nas indústrias onde a regulamentação do custo do serviço é substituída pela competição sem regulamentação, as firmas eliminariam as ineficiências resultantes da sobrecapitalização das plantas.

Portanto, as teorias de regulamentação, de forma bastante sintética, sugerem que a desregulamentação deve enfatizar a eficiência através de um dos caminhos: (i) operações ineficientes devido as regulamentações seriam reduzidas, e (ii) os ganhos dos grupos bem organizados resultantes da regulamentação seriam dissipados pela livre competição.

IV.2.2. Regulamentação de Indústrias Competitivas

Levando-se em consideração os pressupostos neoclássicos básicos sobre motivação humana, mercados sem fricção e as tecnologias de produção, seguramente a aplicação de uma regulamentação sobre preços e entrada em indústrias perfeitamente competitivas

resulta em ineficiências econômicas. Estudos sobre o assunto confirmam a teoria em vários setores econômicos de países que tentaram regulamentá-los.

A literatura econômica tem demonstrado de forma convincente que a regulamentação de preços e entrada na agricultura, transportes e produção de petróleo e gás em alguns países cria ineficiências econômicas. Estas são manifestadas através de preços mais altos, maiores custos de produção e progresso tecnológico mais lento.

A abordagem padrão para estimar as ineficiências da competição regulamentada nos anos 60 era comparar os preços, os custos e as quantidades de equilíbrio em situações com e sem regulamentação. Exemplos dessas pesquisas foram os trabalhos de Joskow (1973b) sobre regulamentação do Estado sobre propriedade e seguro de dívida, a pesquisa de Stigler (1971) sobre autorização profissional, os estudos de MacAvoy (1973) e Pindyck (1974) sobre os efeitos da imposição de preço na saída do poço do gás natural, as comparações dos serviços de transportes aéreos por Keeler (1972) e os estudos sobre gasodutos de MacAvoy e Noll (1973).

Os estudos, até o começo dos anos 70, adotavam a hipótese de que a natureza do produto da firma regulamentada era homogênea. Boyer (1977) e Levin (1978) mostraram que este pressuposto podia conduzir a uma superestimação do custo de regulamentação de preço. A questão principal é que as agências regulatórias são mais eficientes em controlar preços que a qualidade do serviço oferecido, o que resulta que, em mercado multifirma regulamentado, as empresas competem através da variação da qualidade do serviço.

Quando se relaxa o pressuposto que a qualidade do produto é invariante com relação a mudanças na regulamentação, cria-se dificuldades teóricas e problemas empíricos. Por exemplo, a probabilidade de que nos Estados Unidos a qualidade do serviço tenha uma

maior importância em transporte de carga de superfície que em transporte aéreo de passageiros torna a teoria necessária e a análise empírica mais difíceis.

Hoje no Brasil já existe consenso entre vários economistas sobre o tratamento adequado para algumas indústrias importantes com estrutura de mercado competitivo. O problema permanece porque os esforços para eliminar os controles de preço e à entrada encontram resistências muito fortes.

A pesquisa acadêmica sobre regulamentação em indústrias com estruturas de mercado competitivo tem sido bastante explorada nos últimos anos. Ela foi aplicada em vários países na desregulamentação dos transportes aéreos, transportes de carga, política de telecomunicação e outros problemas de regulamentação.

IV.2.3. Regulamentação de Indústrias com Poder de Monopólio

Existe uma falácia na literatura econômica sobre a conveniência de se regulamentar ou não monopólios. A teoria econômica é clara em concluir que os monopólios criam ineficiência alocativa no uso dos fatores produção, de modo a gerar uma renda econômica, o que torna atrativa uma intervenção do governo para evitar, desfazer ou controlar o monopólio. Entretanto, estas ações do Estado geram custos diretos ou indiretos para a sociedade que podem ser maiores que deixar o monopólio livre.

Existem vários desenvolvimentos teóricos sobre a regulamentação de firmas monopolistas. Um dos mais conhecidos é o modelo de Averch-Johnson (1962) que foi estudado por Klevorick (1971, 1973). Ele considera uma firma monopolista que usa insumos de capital e mão-de-obra e tem como objetivo maximizar o lucro. Uma comissão regulatória impõe

uma restrição sobre a taxa de retorno do capital, que é maior que os custos de capital, porém menor que a taxa de retorno de uma firma que maximiza lucro sem restrição.

A aplicação deste modelo a empresas concessionárias de serviços resulta em um viés de sobrecapitalização. Entretanto, alguns estudos empíricos não confirmam os resultados teóricos do modelo, que será analisado em detalhe mais adiante.

Uma outra estrutura teórica utilizada em análise de regulamentação é a questão da sustentabilidade do monopólio natural. Estudos relativamente recentes mostram que isto ocorre devido a subaditividade da função de custo que é um conceito mais geral que o de economias de escala. A diferença entre estes dois conceitos torna-se muito importante quando se trata de produção com múltiplos produtos.

De fato, considere o exemplo com produto simples exibido na Figura IV.1. Assuma que todas as firmas que gostariam de fornecer o serviço em questão têm as mesmas estruturas de custo. A curva de custo médio de produção de cada firma é decrescente até o nível de produção q_1 e cresce daí em diante. A demanda de mercado intercepta a curva de custo médio ao nível de produto $q_B > q_1$. Devido a forma das curvas na Figura IV.1, nota-se que apenas uma firma pode servir todo o mercado a um custo unitário mais baixo que uma configuração de indústria com duas ou mais firmas. Portanto, este tipo de indústria é caracterizada como um monopólio natural, mesmo que não exista economias de escala para todos os níveis de produção até q_B .

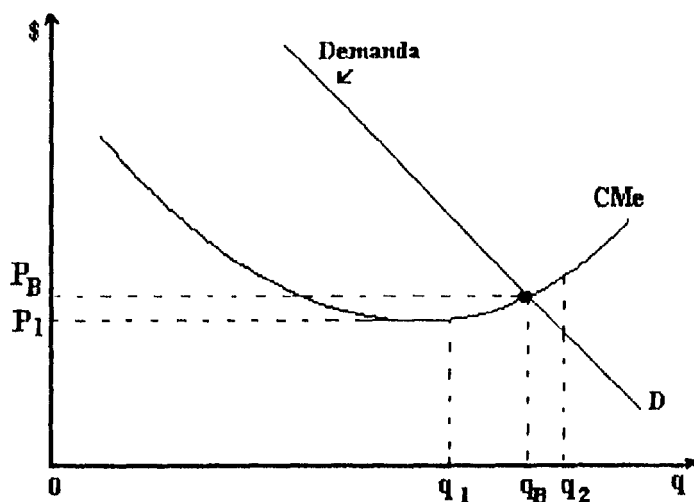


FIGURA IV.1 - Subaditividade sem economias de escala global

O conceito de subaditividade fornece uma melhor base que economias de escala para detectar a existência do monopólio natural. Assim, considere o caso de K firmas com M produtos diferentes, onde cada uma pode produzir alguns ou todos os M produtos. Seja q_i^k o montante de produto i da firma k , $i = 1, \dots, M$ e $k = 1, \dots, K$, e seja q^k o vetor de produtos (q_1^k, \dots, q_M^k) da k -ésima firma. Segundo Baumol, Panzar e Willig (1982), uma função de custo $C(q)$ é estritamente subaditiva em q se para alguma ou todas as quantidades de produtos q^1, \dots, q^K , $q^k \neq q$, $k = 1, \dots, K$, tais que $\sum_{k=1}^K q^k = q$, vale a desigualdade

$$C(q) < \sum_{k=1}^K C(q^k), \quad (\text{IV.1})$$

com o vetor q representando o produto da indústria.

Como a função de custo pode ser subaditiva para alguns valores de q e não para outros, para definir a existência do monopólio natural temos que examinar se os custos são subaditivos em todo intervalo relevante para os vetores de produto da indústria q que são factíveis. Este intervalo relevante é definido com o auxílio da demanda para cada um dos produtos, de modo que uma indústria é considerada monopólio natural se sobre todo intervalo relevante de produtos, a função de custo é subaditiva. Na Figura IV.1, a estrutura de custo tem a forma típica de "U" e é subaditiva para $0 < q < q_2$, embora as economias devido ao maior uso do fator fixo existam apenas sobre o intervalo de produto $0 < q < q_1$.

Quando se trata do caso de produto simples, é fácil verificar que as economias de escala implicam em subaditividade. Entretanto, no caso de múltiplos produtos, isto não é verdade devido ao papel da complementaridade de custos e economias de produção conjunta, explicadas por Baumol, Panzar e Willig (1982).

Assuma agora que não exista custo de entrada ou saída da indústria, que as firmas entrantes fornecerão exatamente o mesmo serviço da firma pioneira e que todas as firmas (pioneira e entrantes) tenham acesso à mesma tecnologia e, portanto, possuam as mesmas funções de custo. Neste caso, Panzar e Willig (1977) mostram que nem sempre será possível um monopólio natural sustentar-se contra a entrada, que é o caso ilustrado na Figura IV.1.

com o vetor q representando o produto da indústria.

Como a função de custo pode ser subaditiva para alguns valores de q e não para outros, para definir a existência do monopólio natural temos que examinar se os custos são subaditivos em todo intervalo relevante para os vetores de produto da indústria q que são factíveis. Este intervalo relevante é definido com o auxílio da demanda para cada um dos produtos, de modo que uma indústria é considerada monopólio natural se sobre todo intervalo relevante de produtos, a função de custo é subaditiva. Na Figura IV.1, a estrutura de custo tem a forma típica de "U" e é subaditiva para $0 < q < q_2$, embora as economias devido ao maior uso do fator fixo existam apenas sobre o intervalo de produto $0 < q < q_1$.

Quando se trata do caso de produto simples, é fácil verificar que as economias de escala implicam em subaditividade. Entretanto, no caso de múltiplos produtos, isto não é verdade devido ao papel da complementaridade de custos e economias de produção conjunta, explicadas por Baumol, Panzar e Willig (1982).

Assuma agora que não exista custo de entrada ou saída da indústria, que as firmas entrantes fornecerão exatamente o mesmo serviço da firma pioneira e que todas as firmas (pioneira e entrantes) tenham acesso à mesma tecnologia e, portanto, possuam as mesmas funções de custo. Neste caso, Panzar e Willig (1977) mostram que nem sempre será possível um monopólio natural sustentar-se contra a entrada, que é o caso ilustrado na Figura IV.1.

De fato, suponha que para servir todo mercado a firma pioneira adote o preço p_B . Então, seria possível uma entrante adotar um preço menor p_1 e ofertar q_1 unidades de serviço, evitando um déficit. Neste caso, o mercado é instável e o monopólio natural é insustentável, tendo mem vista que a firma pioneira também tentaria adotar o preço p_1 e ofertar q_1 unidades do bem sem sucesso.

Trabalhando de um modo mais formal, Panzar e Willig (1977) definiram o conceito de sustentabilidade em um ambiente de múltiplos produtos. Suponha que o monopolista produza um conjunto de N produtos e seja S um subconjunto de N . Seja p^m um vetor de preços adotado pelo monopolista para seu conjunto de produtos N , seja p_s^e o vetor de preços adotado pelo entrante que fornece o conjunto de produtos S e sejam p_s^m e $p_{[s]}^m$, respectivamente, o vetor de preços adotado pelo monopolista para o conjunto de produtos S e para os produtos não fornecidos pelo entrante $N - S$. Além disso, denote por $Q(p^m)$ o vetor de quantidades que seriam demandadas se apenas o monopolista servisse o mercado e seja $Q^s(p_s^e, p_{[s]}^m)$ o vetor das quantidades de produto do conjunto S demandadas com a presença do entrante. Então, o vetor de preços p^m é dito sustentável, se e somente se:

i) o monopolista auferir lucros não negativos aos preços p^m ; e

ii) $p_s^e \cdot q_s^e - C(q_s^e) < 0$, ou seja, os entrantes auferem lucros negativos, para todo $S \subseteq N$, com $p_s^e \leq p_s^m$, $q_s^e \leq Q^s(p_s^e, p_{[s]}^m)$ e $q_s^e \neq Q(p^m)$ (excluindo o caso trivial que a entrante duplicaria toda operação da pioneira).

Portanto, um monopólio natural é sustentável se e somente se existe no mínimo um vetor de preços sustentável.

Pesquisas recentes têm enfatizado que a existência da estrutura de monopólio natural em uma indústria não é uma base suficiente para justificar a imposição de regulamentação. Assim, mesmo que uma indústria seja caracterizada pela existência do monopólio natural, no sentido de que não existe competição "dentro" do mercado, sob algumas condições pode existir a competição "pelo" mercado, de modo a alocar recursos de forma eficiente na ausência de regulamentação. Esta abordagem será analisada adiante.

Finalmente, uma outra estrutura teórica utilizada na regulamentação de monopólios refere-se a adoção de preços variáveis. Pesquisas iniciadas por Boiteux (1951, 1960) e Houthakker (1957) têm avançado no sentido de resolver um problema prático importante que é estabelecer preço em uma situação em que as condições de oferta e demanda de curto prazo flutuam, de modo que, mesmo quando os investimentos sejam perfeitamente eficientes, a adoção de um preço invariante em todos os períodos resultará em condições não ideais entre demanda e capacidade.

Se a regulamentação for de fato uma opção para controlar o monopólio natural, existem várias formas de ação que devem ser seguidas pelo regulador com relação a fixação de preços. Mesmo nos casos em que existem economias de escala, é possível encontrar uma condição de eficiência sem utilizar subsídios externos. Isto pode ser realizado adotando-se uma estrutura de preços em que: i) cada unidade do bem adquirida por um consumidor individual é vendida ao mesmo preço (uniforme), embora cada consumidor pague um preço diferente, ou (ii) o preço por unidade do bem é o mesmo para todos os consumidores (não existe discriminação de preços entre os consumidores).

No primeiro caso, um caminho para melhorar a eficiência econômica é adotar uma forma de discriminação de preços normalmente denominada de preços diferenciais. Neste caso, o regulador pode adotar preços diferentes para diferentes consumidores no mercado, embora cada consumidor pague o mesmo preço por todas as unidades que ele adquiere. No caso mais simples, suponha que o consumidor i deva pagar p_i por unidade de serviço que ele adquiere e que o consumidor j deva pagar p_j por unidade que ele adquiere. Preços diferenciais significa que $p_i \neq p_j$ para os consumidores i e j . Nesta categoria estão classificados os esquemas *peak load pricing* e *Ramsey pricing*.

No segundo caso, uma maneira de melhorar a eficiência econômica é adotar para um consumidor individual um preço por unidade adquirida que varia com a quantidade total que ele compra. Este tipo de fixação de preço geralmente é denominada estrutura de despesa não linear ou, tarifa não linear. Para caracterizar a diferença em relação à

estrutura de despesa linear, suponha que o consumidor i deva pagar p_i por unidade de serviço que ele adquire e que ele compra q_i unidades. Sua despesa total é $p_i q_i$ de modo que a despesa média por unidade adquirida é constante. Alternativamente, em uma estrutura de despesa não linear a despesa média por unidade adquirida não é constante quando o número de unidades compradas varia.

Aplicações da teoria de preços variáveis tem sido utilizadas em vários países. Na França, o ano é dividido em cinco períodos com diferentes probabilidades que a demanda exceda a capacidade elétrica. Os usuários compram direitos de capacidade para cada período a diferentes preços e assumem um adicional de uso adotado por quilowatt-hora, que também varia por período. O governo dos Estados Unidos tem financiado experimentos de peak load pricing em alguns estados, como também experimentos sobre "time-of-day-rates" que são propostos pelos reguladores ou voluntariamente pelas companhias concessionárias. No Brasil, o setor elétrico adota um esquema semelhante ao da França para consumidores industriais.

IV.2.4. Razões para Regulamentar

Uma forma de justificar a ação reguladora do Estado sobre algumas indústrias é medir seus efeitos positivos em termos de benefícios econômicos, tanto para consumidores como para produtores. Willig (1976) sugere que os excedentes do consumidor e do produtor são uma aproximação adequada para este objetivo.

Considere o caso de uma firma que opera em um mercado de produto simples com economias de escala através do intervalo relevante de produção, conforme a Figura IV.2. Por motivos de simplificação, assuma que a estrutura de custo seja linear, com um custo fixo positivo F e um custo marginal constante m , de modo que

$$C(q) = F + mq.$$

(IV.2)

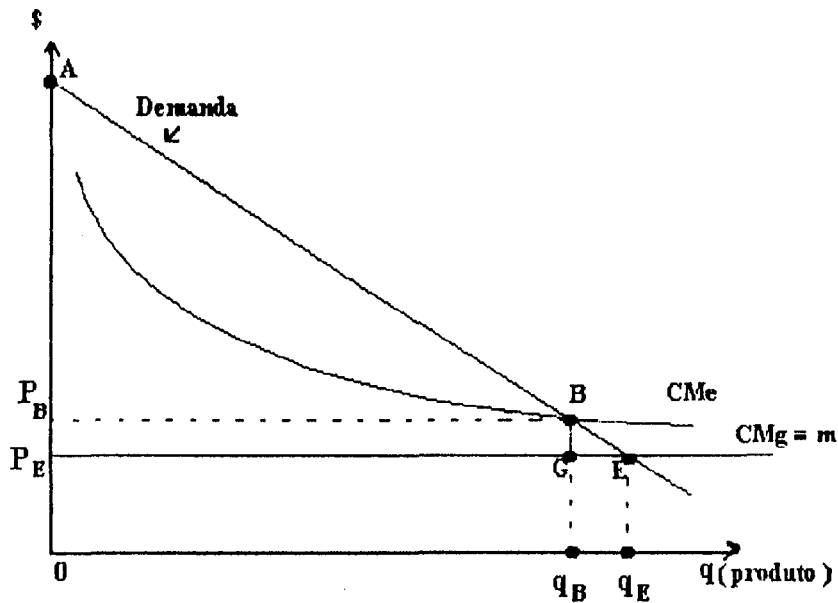


FIGURA IV.2 - First best e second best

Suponha que a firma adote uma tarifa uniforme para todos usuários e desejamos obter o preço que maximiza o benefício econômico líquido medido através do excedente do consumidor mais o excedente do produtor. Os princípios econômicos padrões apontam que o benefício econômico líquido máximo ocorre quando o nível de produto é $q = q_E$, com o serviço sendo ofertado pelo custo marginal: $p_E = m$ (Turvey, 1968, 1969). Nesse caso, o excedente total é representado pela área do triângulo Ap_EE menos o custo fixo F . Como este é o excedente máximo que pode ser alcançado no mercado, uma política de preços que resulte nesta alocação de recursos é denominada de "first best".

Entretanto, neste exemplo, a firma não alcança seu "break even point" e, dada sua estrutura de custo, seu lucro é $\pi = -F < 0$. Assim, para que a firma seja economicamente viável, é necessário receber um subsídio no valor de F .

Os reguladores normalmente não possuem poderes de taxação e devem encontrar uma política de preços que evite o déficit da firma. Se não é possível a discriminação de preço ou subsídios externos para a firma, o regulador deve adotar um preço direto que maximize o benefício líquido de modo a permitir a viabilidade da empresa. A solução de first best é alcançada no curto prazo com lucro negativo; então, deve haver uma perda de benefício líquido associada com a necessidade de satisfazer uma restrição de break even para a firma ($\pi \geq 0$). Assim, a solução ótima de curto prazo que satisfaz a restrição acima é adotar $p = p_B$ e a perda de bem estar associada ao "second best" é, portanto, a área do triângulo BGE. Esta perda de eficiência econômica é denominada de "deadweight loss".

Entretanto, segundo Boiteux (1951), quando se trabalha com horizonte de longo prazo e temos um mercado em franca expansão, o custo fixo F poderia ter sido coberto com maiores tarifas no passado, as quais geraram recursos para ampliar a capacidade da firma. Neste caso, o first best poderá ser alcançado adotando-se a tarifa igual ao custo marginal de longo prazo.

A questão que se coloca é: Como se deve proceder em muitas situações que não é possível alcançar o first best sem a intervenção do governo, já que um programa de intervenção do Estado pode ser altamente dispendioso? Este problema deixa de ser grave no caso em que os custos são subaditivos ao longo do intervalo de produtos relevantes, onde é possível alcançar uma performance econômica próxima do second best sem a intervenção do governo. A solução para esta questão deve ser baseada na avaliação se o deadweight loss, quando se sai do first best para o second best, é bastante significativo para justificar a

intervenção, especialmente quando alguma forma de competição pode ser introduzida dentro do mercado de modo a alcançar o second best. Existem três formas alternativas de introduzir competição no mercado:

i) Competição de Demsetz: Demsetz (1968) sugere a competição "pelo" mercado ao invés da competição "dentro" do mercado, que é possível mesmo quando existem economias de escala. Ele coloca a ideia da realização de uma licitação pública entre as firmas interessadas pelos direitos de franquia para servir o mercado, que é uma forma eficiente de alocar recursos quando os insumos estão disponíveis para todos os produtores a preços competitivos e o custo de coalizão entre produtores rivais é bastante alto, o que torna o leilão um processo competitivo. No caso de um ambiente de produto simples com preço uniforme, a competição de Demsetz resulta em adotar o preço pelo custo médio.

Existem questionamentos sobre a verdadeira eficácia da competição de Demsetz como instrumento para regulamentar monopólios naturais. Williamson (1976) e Goldberg (1976) criticam esta abordagem por que adota uma noção simplista e idealizada de contratos privados e pelos problemas que podem surgir na estruturação e execução de contratos privados para monopólios naturais. Eles sugerem que as próprias agências regulatórias devem ser um substituto eficiente para contratos privados em certas circunstâncias.

ii) Conceito de sustentabilidade: Um outro modo de introduzir competição pelo mercado está baseado no conceito de sustentabilidade de Baumol, Panzar e Willig (1982) e Panzar (1989). Este conceito, similar a competição de Demsetz, tem como ideia básica que a competição pelo mercado pode atingir o second best, mesmo se a estrutura de custo for subaditiva sobre o intervalo relevante de produtos de mercados, contanto que não existam custos fixos.

O pressuposto da não existência de custos fixos não é requisito para que seja possível a competição de Demsetz. Entretanto, se este pressuposto adicional for satisfeito, o second best pode ser alcançado através da competição pelo mercado sem a necessidade de um leilão público, o que caracteriza a competição em condições de sustentabilidade do monopólio natural.

Para entender melhor este resultado, considere inicialmente as noções de custo fixo e custo enterrado. Segundo Baumol, Panzar e Willig (1982), custos fixos são aqueles desembolsos que não variam quando o produto é positivo. De fato, considere q o vetor de quantidades de produtos, w o vetor de preços dos insumos e C_L o custo de produção de longo prazo dado por:

$$C_L(q, w) = \delta F(w) + V(q, w), \quad (IV.3)$$

com $\delta = 0$, se $q = 0$ e $\delta = 1$, se $q > 0$. Através desta definição, nota-se que os custos fixos existem mesmo no longo prazo e seu valor é dado por $F(w)$. Eles não existem apenas quando a firma cessa a produção.

Um argumento usual utilizado em economia é que o longo prazo é um período de tempo suficiente para que todos os custos possam ser evitados se uma firma cessa sua produção. No entanto, em um prazo mais curto, que pode ser um período projetado de produção de s anos para frente, uma firma pode se comprometer de modo a incorrer em alguns custos, mesmo que cesse sua produção. Considerando $C(q, w, s)$ sua função de custo de curto prazo dado o horizonte de produção de s anos, podemos representá-la por

$$C(q, w, s) = K(w, s) + G(q, w, s), \quad (IV.4)$$

com $G(0, w, s) = 0$, onde $K(w, s)$ é definido como custo fixo para no mínimo s anos. Como um custo fixo não pode ser eliminado por algum período de tempo caso a firma cesse completamente sua produção, então, durante o período considerado, os recursos associados aos custos fixos têm custo de oportunidade zero.

Ao contrário da competição de Demsetz, onde a firma tem um período de franquia garantido (equivalente ao período s), sob contestabilidade ela não sabe por quanto tempo estará no mercado até entrar uma outra firma que tenta cortar o preço do serviço ofertado. Portanto, a firma pioneira adota um preço maior que $C(q, w, s)/q$ para proteger-se contra a possibilidade de ocorrer uma entrada de concorrente antes de transcorrer os s anos. Assim, esta situação de contestabilidade não permite que se alcance o preço de second best, quando existem custos fixos.

Nesta perspectiva, se não existem custos fixos e as firmas possuem as mesmas tecnologias, então elas estariam livres para entrar no mercado e adotariam os preços desejados. Se alguma firma adotasse um preço acima do custo médio, atrairia uma outra firma para o mercado que adotaria um preço mais baixo, pensando que tomaria todo mercado. Este processo de competição pelo mercado se repetiria até que o preço adotado fosse igual ao custo médio, com o mercado atingindo a performance de second best.

O trabalho de Caves, Christensen e Tretheway (1983) aponta a existência de contestabilidade na indústria de transporte aéreo nos Estados Unidos, o que sugere que pode ser eficiente para apenas uma firma (ou poucas firmas) operarem dentro de alguns mercados de pares de cidades. Os artigos de Bailey, Grahan e Kaplan (1985) e Bailey e Panzar (1981) sugerem também a desregulamentação de linhas aéreas baseados na contestabilidade do mercado.

iii) Competição monopolística de Chamberlain: De acordo com Chamberlain (1962), este tipo de competição pode ocorrer em mercados de transportes, o que é denominado de competição intermodal. Ela é caracterizada pela existência de grande rivalidade em determinadas regiões entre os transportadores ferroviários, rodoviários, hidroviários e oleodutos que lutam pelo mesmo frete. Isto sugere a desregulamentação desta indústria, mesmo se um ou mais modos de transporte parecem ter a estrutura de um monopólio natural.

Realizadas as considerações anteriores, a visão mais tradicional, das condições sob as quais é apropriado regulamentar ou desregulamentar uma indústria, pode ser resumida pela Figura IV.3. Nela a existência de monopólio natural, caracterizada por economias de escala, era suficiente para determinar se uma indústria deveria ser regulamentada.

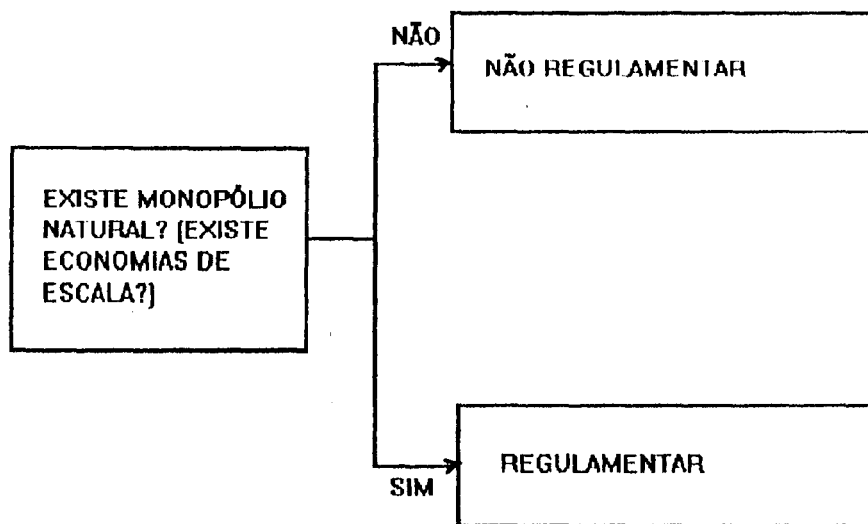


FIGURA IV.3 - Regulamentação de preços e entrada: justificativa econômica pela visão tradicional

A visão corrente sobre o assunto pode ser representada de várias formas. Um dos esquemas, bastante elucidativo, é o proposto por Braeutigam (1989), ilustrado na Figura IV.4, que permite uma comparação com a visão tradicional. O questionamento sobre a existência ou não do monopólio atural é agora baseado no conceito de subaditividade da função de custo, ao invés de economias de escala. Este esquema pode ser dividido nas seguintes etapas:

1ª Etapa: Verificar se existe monopólio natural ou se não é possível a competição dentro do mercado: Se a resposta for NÃO, a decisão final é não regulamentar e o mercado alcança o equilíbrio de first best. Se a resposta for SIM, deve-se passar para a etapa 2.

2ª Etapa: Verificar se o deadweight loss no second best em relação ao first best é "tolerável": Se a resposta for NÃO, a decisão final é regulamentar e o mercado alcança o equilíbrio de (ou próximo do) first best. Se a resposta for SIM, deve-se passar para etapa 3.

3ª Etapa: Verificar se pode existir competição pelo mercado segundo as abordagens da competição de Demsetz, mercado contestável ou competição monopolística: Se a resposta for NÃO, a decisão final é regulamentar de modo que o mercado alcance o equilíbrio de (ou próximo do) second best. Se a resposta for SIM, a decisão final é introduzir a competição pelo mercado.

Através desta estrutura de análise, podemos concluir que, mesmo com a existência do monopólio natural, a intervenção do governo pode não ser a solução adequada para alcançar a eficiência econômica, por várias razões descritas anteriormente, o que contradiz a visão de regulamentação mais tradicional.

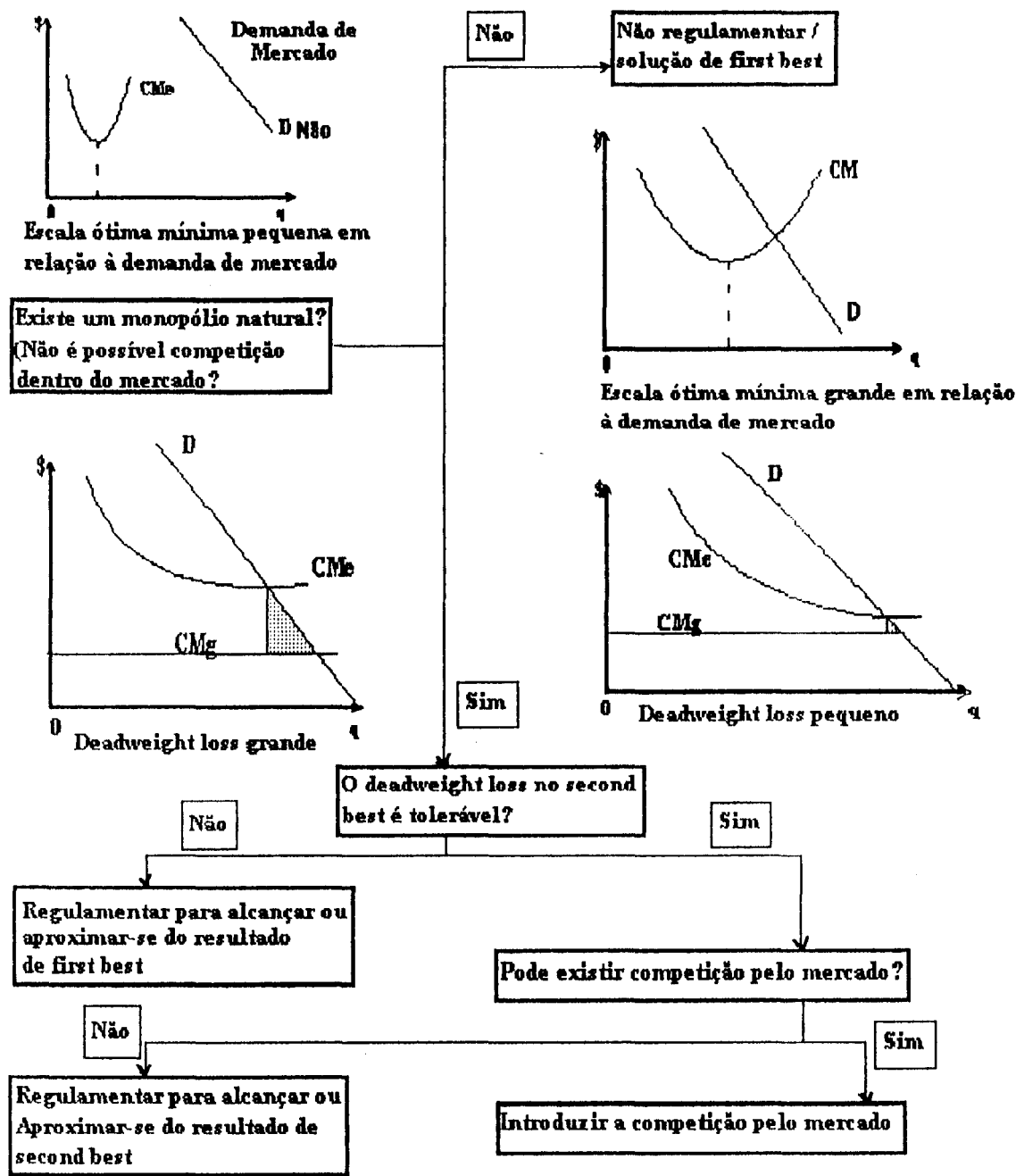


FIGURA IV.4 - Regulamentação de preços e entrada: visão econômica atual

IV.3. REGULAMENTAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO

IV.3.1. Características do Mercado de Serviços Públicos

As empresas concessionárias de serviços normalmente possuem três características básicas:

(i) apresentam tecnologias que exigem investimentos muito específicos, o que resulta em custos fixos; (ii) são monopólios naturais resultantes de economias de escala e de escopo no fornecimento dos serviços básicos, economias de escala no planejamento e administração da rede, externalidades de rede e vantagens em aumentar capital; e (ii) seus produtos são consumidos de forma massificada.

Estas características distinguem o setor de serviços do resto da atividade econômica e são o ponto central dos problemas de contrato, que resultam na necessidade de regulamentação governamental. Os problemas de contrato mais importantes são: (i) conflitos entre as firmas e o governo, que distorcem os investimentos das empresas concessionárias; (ii) questões entre as firmas e seus usuários que resultam do exercício do poder de mercado pela concessionária pioneira; e (iii) questões entre os governantes e os grupos de interesse que exigem distorções no sistema de preços da concessionária com objetivos de distribuição de renda (subsídios cruzados).

A existência de grandes custos fixos e uma grande proporção da população de consumidores sendo servida fornecem bons incentivos para os governantes expropriarem as quase-rendas destas empresas. Segundo Guasch e Spiller (1994), esta expropriação pode ser lucrativa para um governante se os custos diretos, como perda de reputação em relação a outras concessionárias e carência de investimentos futuros, são pequenos comparados com os benefícios de curto prazo de uma tal estratégia e se os custos institucionais indiretos não são tão altos.

Os problemas de contrato entre as firmas e seus usuários resultam no que chamamos de falhas de mercado. Um exemplo desta questão é o que ocorre quando uma empresa de distribuição não é capaz de fazer contratos eficientes de longo prazo com seus consumidores residenciais. Isto cria perdas sociais associadas com políticas de investimentos ineficientes ou com o exercício do poder de mercado. Este problema pode ser minorado com a introdução de uma regulamentação eficiente.

Uma das situações onde os contratos entre firmas e usuários podem falhar é quando o setor não possui características de contestabilidade (presença de custos fixos e impedimento à entrada). Isto pode resultar no exercício do poder de mercado e, caso o mercado não seja sustentável, pode implicar em políticas de investimentos ineficientes, conforme sugere Baumol, Panzar e Willig (1982).

Os problemas de contratos entre os grupos de interesse e o governo normalmente estão embutidos em um tipo de estrutura que denominamos de regulamentações de criação/extração de renda. Por exemplo, considere um grupo de interesse com grande poder político que demanda uma transferência do governo. Se o governo é capaz de fazer transferências de recursos restritas exclusivamente aos membros daquele grupo, então o problema de contrato estaria resolvido. Entretanto, segundo Stigler (1971), na maioria das vezes as transferências de recursos de forma eficiente são politicamente muito difíceis de implementar, de modo que são introduzidas regulamentações distorsivas para fazer as transferências de renda da atividade para os membros do grupo.

Finalmente, as características da demanda por regulamentação e a realidade institucional de um país afetam o tipo de estrutura regulatória a ser implementada. Uma combinação equivocada destes atributos pode resultar em efeitos "não intencionais", definidos como falhas regulatórias, política de grupos de interesse e redução no crescimento da produtividade.

IV.3.2. Organização, Integração, Tecnologia e Monopólio no Setor Elétrico

É bastante conhecido em economia as vantagens quando os preços são determinados em mercados competitivos, o que resulta em uma alocação eficiente de recursos escassos. Entretanto, sabe-se também que em uma economia nem todas as transações podem ser realizadas de forma eficiente através do mercado. Em uma economia de livre mercado, a alocação de recursos realiza-se tanto nas firmas quanto através de transações de mercado entre produtores e consumidores não relacionados.

Uma firma pode ser considerada como uma organização onde as transações internas seguem regras próprias para alocação de recursos sob um amplo espectro de sistemas de comando e controle. O surgimento de firmas em mercados competitivos deve-se ao fato que é menos dispendioso organizar a produção usando mecanismos internos de comando e controle do que utilizar as transações de mercado.

A firma geralmente tem como característica a propriedade comum do capital e uma ampla hierarquização de sistemas de alocação interna planejados para alcançar os principais objetivos da instituição. Todas as firmas apresentam algum grau tanto de integração horizontal quanto de integração vertical de vários estágios do processo de produção. Segundo Williamson (1979,1982), dependendo das características dos produtos, mão-de-obra, capital e ambientes de mercado, existe uma tendência da firma optar pela alocação interna ao invés da alocação de mercado.

As transações que não são realizadas dentro de uma firma são denominadas de transações de mercado, que envolvem transferência de recursos entre empresas. O caso mais simples dessas transações são os negócios no mercado "spot" entre vendedores e compradores. Entretanto, muitas transações envolvem uma ampla hierarquização de relações contratuais que variam das mais simples transações no mercado "spot" até contratos de longo prazo, extremamente complexos, com regras de reajustamento de preços, detalhamento de

requisitos de performance, cláusulas de renegociação e garantia, pagamentos antecipados e outras provisões. A forma de contrato mais eficiente a ser utilizada depende das características da transação e do ambiente em que ela ocorre.

A estrutura ótima e o tipo de uma firma são determinados através de um conjunto de relações que refletem as características do produto e da produção, custos de informação, fatores determinantes dos contratos e custos de transação. Assim, as decisões quanto a integração horizontal, integração vertical e multiproduto variam amplamente em uma economia e mesmo dentro das indústrias.

Os mercados funcionam de modo eficiente quando existe um número de firmas suficiente para garantir as vantagens de todas economias organizacionais (tipo e estrutura eficiente), de modo que os preços de mercado sejam competitivamente determinados. Entretanto, em alguns mercados o número ótimo de firmas é muito pequeno e existe dificuldade em aparecer novos competidores, o que resulta provavelmente em preços não competitivos. No caso extremo, a existência de economias de escala, economias de escopo e economias de integração vertical na produção, combinadas com economias de escala no mercado de insumo ou produto, podem tornar mais eficiente apenas uma firma servir um mercado ou produzir um determinado conjunto de produtos. Uma tal situação, como já vimos, geralmente é caracterizada como monopólio natural.

O mercado de um conjunto de produtos é caracterizado como monopólio natural quando uma única firma pode fornecer todos os produtos a um custo total mais baixo que se o mercado fosse servido por mais de uma firma. Esta situação implica em que provavelmente ocorram preços não-competitivos, cuja solução padrão é estabelecer uma franquia com preços regulamentados.

A alternativa de regular monopólios com franquia nem sempre é algo que se aproxime de um mercado de concorrência perfeita. De fato, se considerarmos um mercado em franco

crescimento, a eliminação da regulamentação de preço e entrada pode resultar em alguma estrutura oligopolística. Entretanto, convém salientar que uma mera observação da exaustão de economias de escala, de escopo e de coordenação, ou que duas ou mais firmas podem servir ao mercado de forma eficiente, não necessariamente implicará que um mercado não regulamentado tenha uma performance melhor que um mercado regulamentado.

No caso específico da produção de energia elétrica, características preliminares discutidas em trabalhos anteriores apontam a existência de monopólio natural. Entretanto, estes modelos, apesar de bastante úteis para objetivos de ensino, têm uma limitação muito grande que é o fato de considerar a firma monoprodutora e não integrada. A situação real é que os sistemas de potência elétrica são constituídos por firmas multiproduto, com a demanda variando aleatoriamente ao longo do tempo e do espaço e, portanto, os custos podem sofrer grandes variações.

Analisando-se agora os aspectos tecnológicos, sabe-se que os sistemas de potência elétrica modernos caracterizam-se pela sua alta interdependência. Assim, variações em uma parte do sistema geralmente afetam todas as outras partes da rede. Isto implica que um sistema de potência pode ser operado de forma eficiente somente se estas interdependências forem adequadamente consideradas e computadas tanto no curto quanto no longo prazo, o que enfatiza a importância de examinar a questão das externalidades.

A geração de energia elétrica, como já vimos, realiza-se através de técnicas diferentes, que podemos agrupar em dois tipos principais, de acordo com a origem: hidráulica e térmica (incluindo nuclear, vapor originário de calor de combustão, turbinas a gás e combustão interna). A experiência tem demonstrado que o custo médio com combustível por megawatt-hora gerado de eletricidade é nulo para o caso hidráulico e aumenta na seguinte ordem: nuclear, turbinas a gás, vapor originário de calor de combustão (exceto carvão) e combustão interna. Na maioria dos países desenvolvidos grande parte da geração elétrica é

térmica, enquanto que no Brasil ocorre o inverso devido ao grande potencial hidráulico ainda disponível.

O tamanho ótimo das novas plantas a serem construídas depende tanto da existência de fatores fixos quanto do crescimento do sistema. As economias de escala na geração elétrica podem surgir a nível de unidade (turbina), a nível de planta (através de economias resultantes da construção e operação multiunidade) e a nível de firma (através de economias resultantes da construção e operação multiplanta).

A maioria dos trabalhos empíricos tentam analisar economias de escala a nível de firma. Nesta linha, destacamos os estudos de Christensen e Greene (1976) e Huettner e Landom (1978). Christensen e Greene concluem que para os Estados Unidos as economias de escala a nível de firma são totalmente exploradas pelas empresas com cerca de 4.000 megawatts de capacidade, o que justificava porque 80% das firmas geradoras de energia elétrica naquele país tinham capacidade inferior a este limite.

O segmento transmissão nos sistemas de potência elétrica geralmente é o menos significativo em termos de despesas de operação e manutenção e, às vezes, no que diz respeito ao investimento. Isto leva alguns economistas especializados a tratarem o segmento transmissão como um resíduo da geração elétrica. Entretanto, este tipo de tratamento é, até certo ponto, equivocado tendo em vista o importante papel da rede da transmissão em transportar potência e coordenar a oferta eficiente de eletricidade.

As decisões de geração e transporte estão intimamente relacionadas tanto no curto como no longo prazos, o que resulta em externalidades recíprocas. Assim, se os componentes de um sistema de potência são de propriedade de mais de uma firma, para se alcançar a eficiência é fundamental que as decisões das partes levem em consideração todos efeitos de suas ações sobre o sistema, e não simplesmente os efeitos individuais.

A integração vertical pode minorar estes problemas, reduzindo o número de firmas envolvidas e as atividades cooperativas entre firmas independentes. Desse modo, é fundamental descobrir mecanismos de coordenação adequados para sistemas de potência com pouca concentração de propriedade.

Os sistemas de transmissão conectam plantas de geração com outras e com os centros de carga elétrica. Eles também fornecem os elementos para coordenação da construção e operação de plantas geradoras individuais, de forma que a demanda possa ser atingida ao custo mínimo no curto e longo prazo. Assim, uma coordenação eficiente de um sistema de transmissão resulta nos seguintes benefícios: economias de escala a nível de planta, mais confiabilidade no sistema econômico, economia no intercâmbio de energia entre empresas, economias de diversidade de carga e economias de coordenação de manutenção.

Já na área de distribuição de eletricidade existem poucos trabalhos teóricos ou empíricos que analisam detalhadamente os aspectos econômicos desses sistemas, que se caracterizam pelo transporte de eletricidade em baixa voltagem, atendendo a um grande número de usuários em uma determinada área geográfica. Entretanto, os estudos geralmente apontam a provável existência de características de monopólio natural em áreas geográficas limitadas, embora estas áreas concebidas possam ter limites menores que o de uma grande cidade.

Um assunto ainda a ser explorado em pesquisa econômica é a existência de economias de integração vertical entre a distribuição, a transmissão e a geração elétrica. As três principais fontes potenciais de economias de integração entre a distribuição e o resto do sistema de potência são:

- i) Para planejar o investimento, o sistema geração-transmissão necessita de previsões precisas sobre a carga de longo prazo requerida pelos sistemas de distribuição, o que precisa ser bem especificado nos contratos de suprimento das empresas de distribuição;

ii) Os procedimentos para negociar em situações de emergência na oferta de potência elétrica devem estar bem desenvolvidos; e

iii) Várias especificações técnicas para interconecção devem ser especificadas em contratos.

Uma outra característica que deve ser levada em consideração no setor elétrico são as economias de coordenação. Como o sistema elétrico quase sempre é interligado, as empresas se engajam em um grande número de atividades cooperativas para aproveitar as economias disponíveis em sistemas maiores. Estas atividades podem ser: (i) propriedade conjunta de plantas de geração e sistemas de transmissão; (ii) interconecção entre outras áreas de controle independente; e (iii) principalmente, atividades de "pooling" de potência, que refere-se a acordos formais ou informais entre empresas concessionárias para coordenar algumas ou todas suas atividades de investimento e operação, que no Brasil são comandadas pela própria ELETROBRÁS.

IV.3.3. A Experiência do Brasil

O desenvolvimento do setor elétrico ocorreu de modo similar em todo o mundo. Geralmente, está voltado para estruturas monopolísticas, com regulamentação sobre a taxa de retorno do capital e com alta participação do Estado na propriedade e operação do sistema, principalmente, nos países em desenvolvimento.

A produção, transporte e distribuição de energia elétrica são atividades intensivas em capital devido à necessidade de grandes investimentos para atender a demanda, que no caso do Brasil, e dos países da América Latina em geral, resultou em uma forte participação do setor público, como resultado da política de industrialização.

A maior parte dos investimentos realizados no setor elétrico é bastante específica, principalmente nos segmentos de transmissão e distribuição. Isto resulta em que os custos incorridos sejam irrecuperáveis (enterrados), constituindo-se assim em uma forte barreira a entrada ou a saída do mercado, que em geral apresenta características de monopólio natural.

De uma forma geral, o papel do Estado no setor elétrico na América Latina tem sido fundamentalmente empresarial, resultado do processo de nacionalização ocorrido em meados deste século, descuidando-se quase que completamente da função reguladora. O contrário ocorreu em alguns países desenvolvidos onde o setor elétrico evoluiu através de uma concepção industrial baseada no atendimento à demanda, dentro de um esforço para satisfação dos agentes econômicos.

A regulamentação do setor elétrico no Brasil tem como marco inicial o Código de Águas promulgado em 1934, quando existiam centenas de pequenas empresas que foram agregando-se progressivamente ao longo do tempo. Nesta época, a presença do Estado limitava-se à concessão de âmbito municipal, fiscalização dos contratos e seus aditamentos e edição de leis fixando tarifas. As concessionárias eram responsáveis pelas atividades de geração, transmissão e distribuição, que geralmente atuavam em um único município e eram de propriedade privada.

O período de 1934 a 1954 caracterizou-se pelo aparecimento de grandes empresas estrangeiras, proprietárias de sistemas isolados e com acentuada eficiência na produção, que funcionavam dentro de um regime de concessões, cabendo ao Serviço de Águas do Departamento Nacional de Produção Mineral do Ministério da Agricultura fixar as tarifas, fiscalizar e assegurar serviços adequados e garantir a estabilidade financeira das empresas.

Em 1954, quando basicamente iniciou o grande desenvolvimento industrial, que requisitou grandes quantidades de energia elétrica, foi promulgada a Lei nº 2.308 que instituía o Fundo Federal de Eletrificação, destinado a prover e financiar instalações de produção, transmissão

e distribuição de eletricidade, e criou-se também o Imposto Único sobre Energia Elétrica - IUEE a ser cobrado do consumidor através da União.

A regulamentação dos serviços públicos de energia elétrica ocorreu de fato em 1957, através do Decreto nº 41.019, que outorgava ao Governo Federal o poder de conceder e autorizar a prestação dos serviços públicos de energia elétrica. Em 1961, com a criação dos Ministério das Minas e Energia, o órgão regulador passou a ser o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica-DNAEE.

Nessa época a União fomentou a criação de empresas estatais, através do então BNDE, o que resultou no surgimento da ELETROBRÁS em 1962, ponto de partida para uma política de realismo tarifário que favoreceu a capitalização e desenvolvimento das empresas do setor elétrico.

A Lei nº 5.655 de 1971 definiu a remuneração mínima de 10% ao ano e a máxima de 12% ao ano sobre o capital aplicado na formação dos ativos operacionais das concessionárias, a ser obtida via receita tarifária. As eventuais insuficiências ou excessos de remuneração apuradas pela União junto a cada concessionária (em prestação de contas anual) eram registradas contabilmente na denominada Conta de Resultados a Compensar-CRC, visando a realização de ajustes no exercício seguinte, através da fixação da nova tarifa.

Iniciou-se uma nova fase importante com o Decreto Lei nº 1.383 de 1974, que instituiu a equalização tarifária. Nesta época começou a consolidação de grandes empreendimentos governamentais na área de geração, como a constituição da ITAIPU Binacional, a definição da estrutura setorial com as empresas regionais de suprimento (CHESF, ELETRONORTE, FURNAS E ELETROSUL) e a transferência das distribuidoras (em quase sua totalidade) para os governos estaduais.

A política de equalização tarifária induziu de forma gradual um desestímulo à eficiência operacional. O setor passa a ser totalmente dependente do Estado em termos de recursos para investimentos que, com a impossibilidade de conseguir empréstimos de capitais estrangeiros, resultou numa situação quase insuportável até meados dos anos 80. A partir de 1986, com a implantação do Plano de Recuperação Setorial-PRS, reverteu-se momentaneamente a situação anterior e vislumbrou-se uma perspectiva de equilíbrio no setor.

A Constituição Federal de 1988 definiu como atribuição do Estado a exploração direta ou mediante autorização, concessão ou permissão, os serviços e instalações de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos d'água em articulação com os Estados onde estão localizados os potenciais hidroenergéticos. Além disso, estabeleceu que a concessão do serviço público se fará sempre através de licitação e que o aproveitamento dos potenciais hidroenergéticos se efetuará somente por autorização ou concessão do Estado, por brasileiros ou empresas brasileiras de capital nacional.

O Decreto nº 26.652 de 1988 estabeleceu o Plano Nacional de Energia Elétrica 2.010 para o período 1991-1995. Em 1991, o Congresso Nacional aprovou o Plano Plurianual do Governo (lei nº 8.173) que se refere, entre outras coisas, à diretriz geral de instituir mecanismos de estímulo à participação de capitais privados nas inversões. Com relação a energia elétrica, prevê revisar o atual modelo institucional, considerado bastante centralizador, dando mais autonomia às concessionárias e prevendo incentivos a implementação de pequenas centrais hidroelétricas, eliminando as restrições à participação de capitais privados.

A política do Governo Federal nos anos 80 de utilizar as tarifas de energia como instrumento de controle da inflação, resultou em uma insuficiência de remuneração para as concessionárias. De fato, a tarifa média de fornecimento (referida a preços de abril/93) havia baixado de US 90 por megawatt-hora em 1972 para cerca de US\$ 45 por megawatt-

hora em 1990. Em meados de 1992 a situação do setor tornou-se insustentável e a inadimplência intrasetorial havia praticamente se institucionalizado. Este processo de desequilíbrio suscitou diversas tentativas de equacionamento através de modificações do modelo institucional do setor, mas nenhuma delas logrou êxito.

A solução proposta pelo Governo, através da Lei 8.631 de 1993, passou pelo entendimento político com os Estados e visava principalmente estancar o processo de inadimplências e resolver o problema do estoque das dívidas. Suas principais características são: (i) cada concessionário propõe ao DNAEE sua tarifa em função do custo (desequalização tarifária); (ii) mantido o valor médio da tarifa, o concessionário pode promover alterações compensatórias entre classes de consumidores finais; (iii) a obrigatoriedade de celebração de contratos entre concessionários supridores e supridos, tendo como garantia as receitas dos concessionários supridos; (iv) o estabelecimento de uma fórmula paramétrica para o reajuste automático das tarifas, específica para cada concessionário; (v) a extinção da remuneração garantida, CRC e RENCOR; (vi) estabelecimento de encontro de contas entre créditos da CRC e débitos de energia e outros ativos da ELETROBRÁS e da União; (vii) a extensão da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis - CCC para todo território nacional; (viii) o estabelecimento de uma sistemática para recolhimento e utilização da RGR, incluindo o Programa de Conservação de Energia Elétrica-PROCEL e eletrificação rural; e (ix) a criação do Conselho de Consumidores, junto às empresas distribuidoras, constituído por representantes das principais classes de consumo.

A organização atual do setor elétrico (geração, transmissão e distribuição) consiste em concessionárias de serviços públicos, com prerrogativas aprovadas pelo DNAEE, que operam sob a coordenação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS, através de vários grupos e comitês de operação, distribuição, planejamento e gestão (GCOI, CCON, GAT/CRN, GCPS e COGE). Existem 59 empresas concessionárias, das quais 5 são federais, 26 estaduais e 28 privadas de pequeno porte. Quatro empresas regionais federais são responsáveis pela geração e transmissão em quatro áreas do país:

i) FURNAS - regiões Sudeste e Centroeste;

ii) ELETROSUL - região Sul;

iii) CHESF - região Nordeste; e

iv) ELETRONORTE - região Norte.

IV.4. O MODELO DE REGULAMENTAÇÃO ECONÔMICA DE AVERCH-JOINSON

IV.4.1. Aspectos Microeconômicos

A regulamentação sobre o preço e nível de produção é muito comum em empresas concessionárias de serviços ou monopólios naturais, que são geralmente monopólios concedidos em decorrência de indivisibilidade tecnológica.

Uma regulamentação efetiva requer a especificação de objetivos e estabelecimento de regras para sua implementação. A regulamentação econômica mais comum é da taxa de retorno, na qual a firma está sujeita a uma política de preços que resulta em uma taxa de retorno dos ativos igual ou menor que um nível pré-estabelecido.

Averch-Johnson (1962) argumentam que a regulamentação resulta na utilização de insumos em proporções diferentes daquelas que minimizariam os custos de forma que a sobrecapitalização em firmas sob a regulação da taxa de retorno sobre o capital é por eles preconizada. Este fato resulta dos pressupostos de um modelo que parte de uma premissa

que as firmas regulamentadas maximizam lucros sujeitas a uma restrição ativa da taxa de retorno sobre o capital.

Considere inicialmente o caso de um monopólio regulamentado que produz um único produto (q) a partir dos insumos capital (K), mão-de-obra (L) e materiais (M). Suponha que as restrições da regulamentação sejam apenas no sentido de que não é permitido à firma um retorno maior que uma percentagem fixa de seu investimento de capital, o que é formalizado na prática fixando-se um nível máximo de preço para o produto ($p \leq \bar{p}$). Assume-se ainda que a taxa de retorno permitida seja menor que aquela taxa que a firma poderia obter caso ela fosse livre para maximizar o lucro, porém ainda seja maior que seus custos de capital.

Defina como w_L a taxa de salário, w_M o preço dos materiais, w_K o custo unitário de capital e \bar{r} a taxa de retorno permitida. A restrição de regulamentação pode ser escrita como:

$$\bar{r}K \geq pq - w_L L - w_M M. \quad (\text{IV.5})$$

As firmas escolhem níveis de quantidades de insumos L e M e o valor de K , de modo a maximizar os lucros,

$$\pi = pq - w_L L - w_K K - w_M M, \quad (\text{IV.6})$$

sujeitos às restrições de regulamentação dadas pela relação (IV.5).

Considerando-se uma dada tecnologia, se as restrições de regulamentação forem ativas, vale a igualdade em (IV.5) e o problema de decisão da firma pode ser expresso pelo lagrangeano

$$\max \left\{ R(K, L, M) - w_L L - w_K K - w_M M - \lambda (R(K, L, M) - w_L L - \bar{r}K - w_M M) \right\}, \quad (\text{IV.7})$$

onde $R(K, L, M) = \bar{p}q$, com $q = q(K, L, M)$, é a nova função de receita da firma regulamentada. As condições de primeira ordem são:

$$\bar{p} \frac{\partial q}{\partial K} - w_K = \frac{\lambda}{1-\lambda} (w_K - \bar{r}), \quad (\text{IV.8a})$$

$$\bar{p} \frac{\partial q}{\partial L} = w_L, \quad (\text{IV.8b})$$

$$\bar{p} \frac{\partial q}{\partial M} = w_M \quad (\text{IV.8c})$$

$$\text{e} \quad \bar{p}q = \bar{r}K + w_L L + w_M M. \quad (\text{IV.8d})$$

Baumol e Klevorick (1970) mostram que $0 < \lambda < 1$, o que implica, pela equação (IV.8a), que a firma regulamentada é também intensiva em capital no sentido de que, em equilíbrio, a receita do produto marginal do capital $R_K = \bar{p} \frac{\partial q}{\partial K}$ é menor que o custo de capital w_K .

Existe muita discussão teórica sobre esta hipótese, porém poucos testes empíricos merecem confiança.

Zajac (1970), Baumol e Klevorick (1970) e Bailey (1973) analisam geometricamente o problema da firma sob regulamentação de capital que produz um único produto a partir dos insumos capital e mão-de-obra. A seguir tentaremos resumir as idéias básicas.

Suponha uma firma que produz um único produto q a partir de dois insumos que são: capital e mão-de-obra. Sua tecnologia de produção é dada por $q = q(K, L)$ e ela enfrenta uma função de demanda $p = p(q)$. Se os custos da firma por unidade capital e mão-de-obra são dados por w_K e w_L , então, o seu lucro será expresso por:

$$\pi = pq - w_K K - w_L L. \quad (\text{IV.9})$$

A função lucro $\pi = \pi(K, L)$ pode ser visualizada como uma superfície no sistema de coordenadas K , L e π , conforme a Figura IV.5. Admite-se que a superfície tenha um único pico e que o lucro cresça continuamente em direção a este pico. Uma regulamentação sobre o retorno do capital não permite que a firma opere no pico da superfície de lucro.

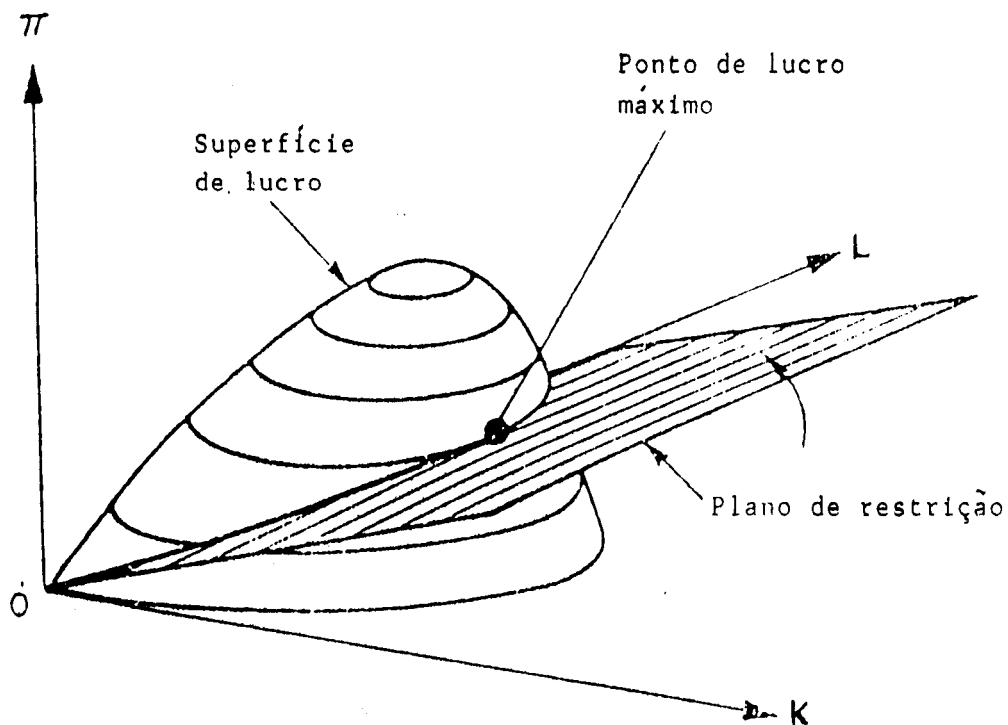


FIGURA IV.5- Superfície de lucro e plano de restrição

O modelo de Averch-Johnson despreza a depreciação e considera K como sendo o montante de capital que a firma utiliza. O rendimento monetário que deve ser atribuído ao insumo capital é a receita menos a despesa com mão-de-obra: $pq - w_L L$. Dividindo-se este

valor pela quantidade de capital temos a taxa de retôrno do capital. A regulamentação não permite que esta taxa de retôrno seja maior que um certo limite \bar{r} . Portanto, a restrição de regulamentação é expressa por:

$$\frac{pq - w_L L}{K} \leq \bar{r}. \quad (\text{IV.10})$$

Utilizando-se a equação (IV.9), chegamos ao seguinte resultado:

$$\pi \leq (\bar{r} - w_K)K. \quad (\text{IV.11})$$

Averch-Johnson admitem que a taxa de retôrno permitida \bar{r} seja maior que o custo médio de capital w_K . Portanto, a restrição (IV.11) implica que a firma opera abaixo ou no plano $\pi = (\bar{r} - w_K)K$ do sistema de coordenadas K , L e π , conforme a Figura IV.5. Como o plano de restrição gira em torno do eixo OL , o lucro máximo ocorre no ponto onde K é máximo, ao longo da interseção do plano de restrição com a superfície de lucro.

Consideremos agora o caso de um produto fixo, o que corresponde à produção ao longo de uma isoquanta. A operação eficiente só ocorre na alocação de capital e mão-de-obra que resulta no custo mínimo de produção. Como a receita é fixa, o ponto eficiente representa o lucro máximo para a firma ao longo desta isoquanta. Observando-se a projeção sobre o plano $K \times L$ da interseção do plano de restrição com a superfície de lucro, conforme as Figuras IV.6a e IV.6b, que é chamada de curva de restrição, notamos que toda região hachuriada viola a restrição regulatória, enquanto que a operação no ponto K_{\max} resulta em lucro máximo sob regulamentação.

Se a regulamentação é ativa, a isoquanta que passa por K_{\max} não pode interceptar o caminho de expansão da firma por fora da curva de restrição, caso do ponto P da Figura IV.6a. Como Π_{\max} está dentro da curva de restrição, a interseção do caminho de expansão

com a curva de restrição (ponto P'), encontra-se entre Π_{\max} e P . Além disso, como a função lucro decresce continuamente ao longo dos pontos eficientes a partir de Π_{\max} , o lucro em P' será maior que em P e, conseqüentemente, ainda maior que em K_{\max} . Entretanto, isto contradiz o fato de que K_{\max} é o ponto de lucro máximo ao longo da curva de restrição. Este é o caso da restrição de regulamentação passiva e o equilíbrio da firma ocorre no ponto eficiente P .

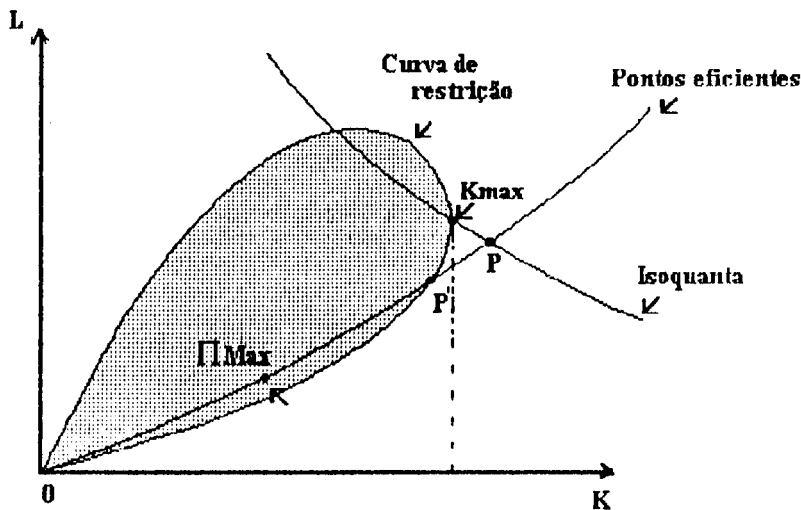


FIGURA IV.6a - Equilíbrio eficiente no ponto P , fora da curva de restrição (regulamentação passiva)

Coincidentemente, o lucro será máximo em K_{\max} quando a curva de restrição e o caminho de expansão da firma interceptam a isoquanta no ponto K_{\max} . Se o ponto P coincide com K_{\max} , então o lucro será um ponto de máximo ao longo das duas direções neste ponto de coincidência. Isto implica em que o ponto de coincidência ($P = K_{\max}$) seja tangente a um plano horizontal, o que ocorre somente no pico da superfície de lucro. Desse modo, K_{\max} será um ponto eficiente somente quando o plano de restrição tangenciar o topo da superfície de lucro.

Se a restrição de regulamentação for ativa, então o ponto eficiente para isoquanta que passa pelo ponto K_{max} deve estar dentro da curva de restrição conforme a Figura IV.6b. A firma maximiza o lucro sob a restrição de regulamentação operando no ponto K_{max} . Entretanto, pode-se produzir o mesmo montante do bem a um custo menor se a firma operar no ponto eficiente P . Neste caso,, a firma está utilizando os recursos de forma ineficiente e a sociedade como um todo sai perdendo. A taxa de retôrno máxima permitida pela regulamentação pode levar a firma a operar de modo a maximizar o lucro em um ponto indesejável em termos de eficiência produtiva.

O pressuposto básico no modelo de Averch-Johnson é que a regulamentação impõe uma taxa de retôrno máxima sobre o capital \bar{r} , que excede o custo de capital w_K . Se os reguladores tiverem êxito tomando $\bar{r} = w_K$, então os lucros da firma serão no máximo zero (o plano de restrição é horizontal). Porém, a análise de Averch-Johnson também fundamenta-se nos pressupostos usuais da teoria neoclássica da firma que são: conhecimento perfeito do mercado e da produção, maximização de lucro e operação em um equilíbrio estático. Além disso, a análise assume implicitamente um comportamento, tanto da firma quanto de seus reguladores, que permita a firma operar no ponto K_{max} . Como estes pressupostos normalmente são violados no mundo real, é ilustrativo considerar situações onde pelo menos um deles não vale.

levariam a firma finalmente a operar no ponto P_f na Figura IV.7, que é o ponto eficiente de preço mínimo e produto máximo na área limitada pela curva de restrição.

Retas verticais ($K=\text{constante}$) correspondem a π constante no plano de restrição, $\pi = (\bar{r} - w_K)K$. Então, os lucros ao longo do arco $\widehat{P_f P_0}$ da curva de restrição na Figura IV.7 são maiores que no ponto P_f . No longo prazo, uma estratégia que leve a operar (se não para K_{\max}) no mínimo para o arco $\widehat{P_f P_0}$ deve ser preferível. Porém, ao levar para K_{\max} , a firma deve ter conhecimento da demanda pelo produto, a fim de determinar a superfície de lucro e o ponto K_{\max} . Devido ao fato que é difícil e incerto que o produtor atinja esta meta, consideraremos a seguir uma nova possibilidade descrita por uma Estratégia II.

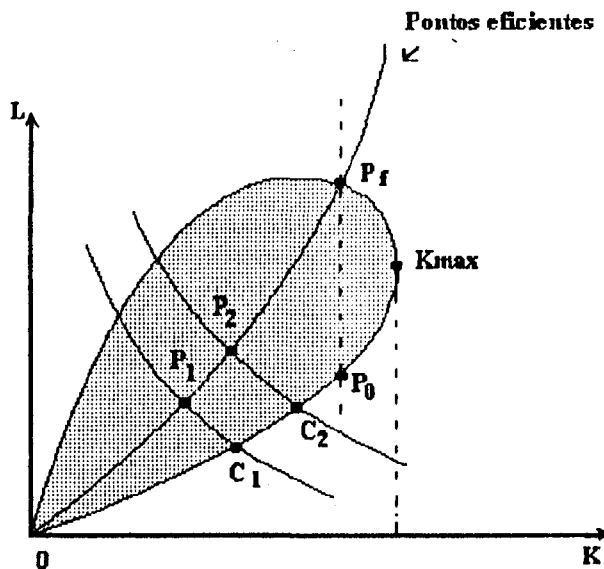


FIGURA IV.7 - Pontos de operação possíveis para a firma

ii) Estratégia II: Após estabelecer um preço e o correspondente nível de produto, a firma ajusta sua combinação de K e L de modo a obter exatamente a taxa de retorno de capital permitida.

Nesta estratégia, se a firma está operando inicialmente no ponto P_1 na Figura IV.7, ela move-se ao longo da isoquanta até C_1 , na interseção com a curva de restrição. A seguir ela faz uma pequena redução de preço e ajusta K e L de modo a operar na interseção C_2 . Se o lucro em C_2 é maior que em C_1 , então a firma faz uma outra redução de preço e assim até que uma nova redução de preço passe a diminuir o lucro (que pode ocorrer após a primeira redução). Por este processo, a firma assegura a operação em um ponto ao longo do arco $\widehat{P_f P_0}$, onde os lucros excedem aquele em P_f . Caso mova-se em pequenos incrementos de preços, então a firma operará muito próximo de K_{max} .

IV.4.2 - Formalização do Modelo

Vamos agora tratar o modelo de Averch-Johnson de uma forma mais geral. Suponha que $q = (q_1, q_2, \dots, q_M)$ seja o vetor de produtos da firma, $p = (p_1, p_2, \dots, p_M)$ o vetor de preços dos produtos, $x = (x_1, x_2, \dots, x_J)$ o vetor de insumos variáveis utilizados pela firma, $w = (w_1, w_2, \dots, w_J)$ o vetor de preços dos insumos variáveis, $k = (k_1, k_2, \dots, k_K)$ o vetor de insumos fixos de capital utilizados pela firma, $r = (r_1, r_2, \dots, r_K)$ o vetor de custos de uso competitivo ou valor de aluguel para os serviços de capital, $V(q)$ o conjunto de possibilidade de produção da firma e $e = (e_1, e_2, \dots, e_K)$ o vetor de taxas de lucro excedentes que a firma regulamentada pode ganhar sobre o uso de cada componente de capital, ou melhor, a firma pode dispendir o j -ésimo tipo de serviço de capital a um preço de renda de $r_j + e_j \equiv \bar{r}_j$, para $j = 1, 2, \dots, K$, onde \bar{r}_j é uma taxa de retorno permitida pelos reguladores.

O monopolista está diante de uma função de demanda inversa pelos produtos:

$$p = g(q), \quad (\text{IV.12})$$

onde

$$p_i = g_i(q_1, q_2, \dots, p_M), \quad i=1, 2, \dots, M. \quad (\text{IV.12a})$$

O problema básico do monopolista regulamentado é dado por:

$$\max_{q, x, k, p} \{p \cdot q - w \cdot x - r \cdot k : (i) (q, x, k) \in V(q); \quad p = g(q); \quad p \cdot q - w \cdot x - r \cdot k \leq e \cdot k\}. \quad (\text{IV.13})$$

Desse modo, assumimos que a firma tenta maximizar os lucros sujeita a três conjuntos de restrições: (i) a combinação de produtos e insumos escolhida deve ser tecnologicamente viável; (ii) o vetor de produtos ofertados deve ser demandado; e (iii) os lucros da firma devem satisfazer a restrição de regulamentação.

Podemos decompor, de forma conveniente, o problema de maximização do monopolista regulamentado (IV.13) em dois estágios. No primeiro estágio, fazemos a minimização do custo variável e, no segundo estágio, fazemos a maximização dos lucros sujeitos às restrições (ii) e (iii). Desse modo, inicialmente definimos a função de custo variável da firma, excluindo-se os insumos de capital:

$$C(q, w, k) \equiv \min_x \{w \cdot x : (q, x, k) \in V(q)\} \quad (\text{IV.14})$$

e, depois, o problema de maximização do lucro:

$$\max_{q, k} \{q \cdot g(q) - C(q, w, k) - r \cdot k : q \cdot g(q) - C(q, w, k) - r \cdot k \leq e \cdot k, \quad q \geq 0 \text{ e } k \geq 0\}. \quad (\text{IV.15})$$

Assumindo-se que as restrições regulatórias em (IV.15) sejam ativas, vale a igualdade

$$q \cdot g(q) - C(q, w, k) - r \cdot k = e \cdot k,$$

e as condições necessárias para (IV.15) são dadas por:

$$(g(q) + \nabla_q g(q)q + \nabla_q C(q, w, k))(1 - \lambda) = 0_M, \quad (\text{IV.16a})$$

$$-\nabla_k C(q, w, k) - r - \lambda(-\nabla_k C(q, w, k) - r - e) = 0_K \quad (\text{IV.16b})$$

$$e \quad q \cdot g(q) - C(q, w, k) - r \cdot k - e \cdot k = 0, \quad (\text{IV.16c})$$

onde $\nabla_q g(q)$ é uma matriz $M \times M$ referente às derivadas parciais do vetor das funções de demandas inversas $g(q)$. Podemos agora definir um vetor de mark-up como:

$$m(q) \equiv -\nabla g(q) \cdot q, \quad (\text{IV.17})$$

onde, geralmente, $m(q) \geq 0$ para um equilíbrio da firma. Além disso, pode-se mostrar, utilizando um argumento de Zajac (1972), que o multiplicador de Lagrange ótimo λ^* satisfaz a condição $0 \leq \lambda^* \leq 1$.

Desde que o multiplicador de Lagrange ótimo para o problema de maximização condicionada (IV.15) obedeça à condição $0 \leq \lambda^* \leq 1$ e sob certas condições de regularidade, podemos determinar uma solução ótima, q^*, k^* e λ^* , e as equações (IV.16) podem ser reescritas como:

$$p^* - m^* = \nabla_q C(q^*, w, k^*), \quad (\text{IV.17a})$$

$$r - \lambda^*(1 - \lambda^*)^{-1}e = -\nabla_k C(q^*, w, k^*) \quad (\text{IV.17b})$$

$$e \quad e \cdot k^* = p^* \cdot q^* - C(q^*, w, k^*) - r \cdot k^*, \quad (\text{IV.17c})$$

onde $p^* \equiv g(q^*)$ é o vetor de preços dos produtos de equilíbrio e $m^* \equiv -\nabla g(q^*)q^*$ é o vetor dos mark-ups correspondente.

A partir dos resultados expressos pelas equações (IV.17), podemos perceber que uma firma regulamentada pode não ser tão eficiente quanto uma firma competitiva, com a mesma tecnologia, que está diante de preços de produtos p^* e preços de insumos w e r , no sentido de que a firma competitiva conseguirá maiores lucros. Para uma breve prova, suponha que a função de lucro social seja definida por

$$\pi(q, k) \equiv p^* \cdot q - C(q, w, k) - r \cdot k. \quad (\text{IV.18})$$

O vetor das derivadas parciais de π com relação aos produtos, avaliadas no equilíbrio regulamentado, é dado por

$$\nabla_q \pi(q^*, k^*) = p^* - \nabla_q C(q^*, w, k^*) = m^*. \quad (\text{IV.19})$$

Portanto, se o i -ésimo mark-up m_i^* for positivo, os lucros sociais podem ser crescentes com o aumento da produção do i -ésimo produto acima do nível inicial regulamentado. Do mesmo modo, o vetor das derivadas parciais de π com relação aos insumos de serviços de capital, avaliadas no equilíbrio regulamentado, é expresso por

$$\nabla_k \pi(q^*, k^*) = -\nabla_k C(q^*, w, k^*) - r = -\lambda^*(1 - \lambda^*)^{-1} e. \quad (\text{IV.20})$$

Portanto, se $0 \leq \lambda^* < 1$ e $e_j > 0$, então os lucros sociais podem ser crescentes com a diminuição do uso do j -ésimo insumo de capital.

V - PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES EM INDÚSTRIAS REGULAMENTADAS

V.1 - A ABORDAGEM ECONOMÉTRICA

V.1.1 - Estrutura de Custo: A Escolha da Forma Funcional

A análise empírica de estruturas de custo encontra-se bastante desenvolvida em muitos trabalhos, visando satisfazer uma multiplicidade de objetivos. Cada situação cria suas condições e objetivos específicos, os quais devem ser encontrados na especificação de um modelo econométrico de custo de produção.

Durante o processo de escolha de uma forma funcional para estrutura de custo não se pode esperar que seja encontrada uma "melhor" função paramétrica simples, que atenda a todos os objetivos. Ao contrário, muitas formas funcionais se adaptam perfeitamente a aplicações específicas, porém podem ser mal utilizadas como caracterizações objetivas de uma estrutura de custo.

Dependendo dos objetivos da análise, pode-se enfatizar diferentes aspectos do estudo de estruturas de custo de produção. Alguns aspectos fundamentais impulsionaram o desenvolvimento das formas funcionais:

i) Distribuição dos fatores: Tem-se concentrado maior atenção nas participações agregadas de capital e mão-de-obra na estrutura de produção, mas também tem sido analisado a nível microeconômico questões de distribuição, como a incidência de impostos e os programas de subsídio. Os parâmetros de distribuição são de grande importância na avaliação de processos de crescimento.

ii) Economias de escala: Este aspecto possui implicações para o crescimento de longo prazo e a estrutura da indústria, que também estão relacionados com a consistência lógica do pressuposto da maximização do lucro. Os problemas microeconômicos com relação a oferta e financiamento de serviços públicos baseiam-se sempre na questão tecnológica da existência de retornos crescentes de escala.

iii) Substituição de fatores: A substituibilidade é um problema crítico no comportamento das participações distributivas quando as proporções dos fatores variam. Este aspecto tem papel importante na determinação de incidência de impostos, assim como no comportamento dos preços relativos dos fatores e, portanto, nos preços do produto no processo de crescimento.

iv) Separabilidade da função: A separabilidade é uma propriedade estrutural bastante importante para um modelo de custo, porque a análise econométrica pode ser sempre desenvolvida (em termos de subconjuntos do conjunto total de variáveis possíveis) em estágios, ou através de agregados consistentes de variáveis. Esta característica implica em um comportamento uniforme, ou invariante, de certas variáveis econômicas, permitindo a descentralização na tomada de decisão. Ela é também de interesse crítico na especificação de formas funcionais, influenciando na generalidade e simplicidade das mesmas, sendo um importante instrumento quando da realização de testes empíricos.

v) Progresso tecnológico: A análise do aumento da produtividade total sem desembolso financeiro é de grande interesse, bem como: (i) o aumento da produtividade dos fatores de produção com desembolso financeiro (geralmente capital, mas podendo ser outros fatores, tais como mão-de-obra especializada); (ii) o progresso tecnológico via fator de aumento que melhora a qualidade efetiva dos insumos; e (iii) a maior eficiência de

outras características tecnológicas, como por exemplo a variação com aumento de escala, e progresso tecnológico endógeno, tal como aprendizagem via treinamento, inovação e/ou introdução mudança técnica.

Além dos aspectos enfatizados acima, algumas características complementares devem ser consideradas na investigação econométrica de estrutura de custo, de modo a satisfazer problemas decorrentes da especificação funcional, como seguem:

i) Flexibilidade tecnológica: É de interesse o grau de flexibilidade que está incorporado a tecnologia subjacente à função de custo adotada e sua dicotomia frente a eficiência estática.

ii) Eficiência econômica: A eficiência relativa das diferentes unidades econômicas (firmas, indústrias, países) é o objeto de interesse, como também é a eficiência da mesma unidade em ambientes econômicos alternativos.

iii) Homoteticidade: As funções de produção e custo homotéticas não apresentam variações nas participações de distribuição de fatores em relação às variações na escala de produção, *ceteris paribus*. Ao contrário, a heteroteticidade resulta em variações nas intensidades dos fatores, quando ocorrem variações na escala de produção.

iv) Agregação consistente: Este é o problema mais crítico e ocorre quando se deseja garantir a compatibilidade microeconômica da análise agregada, ou se pretende fazer previsões agregadas a partir de estimativas microeconômicas.

O processo de escolha da forma funcional da estrutura de custo deve estar relacionado com os objetivos da análise em questão, entretanto existem alguns princípios gerais que devem

() processo de escolha da forma funcional da estrutura de custo deve estar relacionado com os objetivos da análise em questão, entretanto existem alguns princípios gerais que devem ser levados em consideração quando da modelagem. Considere o princípio das hipóteses sustentadas, geralmente representado nos estudos de produção e custo por:

i) Os axiomas básicos sobre a natureza da tecnologia, os quais são amplamente aceitos por serem tomados como verdadeiros, ou, no mínimo, irrefutáveis em relação aos dados existentes.

ii) Os pressupostos tecnológicos e comportamentais que não são amplamente aceitos como verdades universais, mas podem ser aceitos como razoáveis para o problema no qual se está atuando.

iii) Os pressupostos que são adotados para facilitar a análise, que são aceitos como aproximações não prejudiciais à realidade.

iv) Outras hipóteses sustentadas tais como o pressuposto de uma forma funcional paramétrica específica, ou supor alguns preços ou quantidades não observados como sendo constantes.

A elaboração de um teste de hipótese específico geralmente depende tanto da validade das hipóteses em exame, como da validade das hipóteses sustentadas. Conseqüentemente, a realização de um teste na presença de uma hipótese sustentada sempre verdadeira pode não ser convincente; seu resultado pode ser uma conseqüência da validade da hipótese sustentada, ao invés da hipótese primária em que estamos interessados. Isto sugere o princípio geral que "não se deve tentar testar uma hipótese na presença de uma hipótese sustentada, cuja validade seja raramente aceita".

Uma implicação do princípio acima é a necessidade de se adotar, em geral, poucas hipóteses sustentadas (caso das formas funcionais flexíveis) a serem utilizadas no processo de testar as hipóteses fundamentais da teoria da produção e custo. Assim, o econométrico, na maioria das análises, tem a escolher vários pontos de partida para especificação das formas funcionais. Este trabalho enfatiza características tecnológicas sob condições apropriadas (função de custo translog), incluindo mercados de fatores competitivos.

Levando-se em consideração o pressuposto das hipóteses sustentadas, seguem alguns critérios capazes de serem utilizados para selecionar as formas funcionais:

i) Economia nos parâmetros: A forma funcional não deve conter mais parâmetros que os necessários para sua consistência em relação às hipóteses sustentadas. O excesso de parâmetros gera problemas de multicolinearidade, que tendem a ser drásticos em algumas aplicações em virtude da substituição de mercados, o que faz com que os preços e, por sua vez, as quantidades sejam altamente correlacionados. Além disso, quando a amostra é pequena, o excesso de parâmetros resulta em uma perda de graus de liberdade, que é um problema particular quando se trata de análise agregada.

ii) Facilidade de interpretação: As formas funcionais bastante complexas e plenas em parâmetros podem conter implicações não plausíveis, que ficam escondidas a partir de um exame simples. Portanto, *ceteris paribus*, é melhor escolher formas funcionais nas quais os parâmetros possuem uma interpretação econômica intrínseca e intuitiva e onde a estrutura funcional seja clara.

iii) Facilidade computacional: A análise empírica multivariada tem-se concentrado em modelos estatísticos lineares nos parâmetros, por razões computacionais. Apesar da tecnologia computacional corrente permitir a realização direta da estimação através de

tecnologia computacional corrente permitir a realização direta da estimação através de "pacotes", a mesma ainda tem considerado que os modelos lineares nos parâmetros possuem vantagem de custo computacional, além de serem baseados em uma teoria estatística amplamente desenvolvida. A dicotomia entre os requisitos computacionais de uma forma funcional e a complexidade de uma análise empírica deve ser ponderada cuidadosamente na escolha de um modelo.

iv) Consistência interpolativa: A forma funcional escolhida deve ser bem comportada "dentro" do intervalo dos dados observados, exibindo consistência com as hipóteses sustentadas, tais como custos marginais positivos ou concavidade. Como estas propriedades devem ser testadas numericamente, então a forma funcional deve admitir procedimentos computacionais convenientes para este objetivo.

v) Consistência extrapolativa: A forma funcional deve ser compatível com as hipóteses sustentadas "fora" do intervalo dos dados observados. Este critério é particularmente importante para aplicações em previsão.

As hipóteses sustentadas sobre a tecnologia podem ser representadas utilizando-se os conceitos de conjunto de possibilidades de produção e conjunto de insumos necessários. Para isto, considere que $x = (x_1, \dots, x_N)$ e $q = (q_1, \dots, q_M)$ sejam, respectivamente, os vetores de insumos e produtos. O "conjunto de possibilidades de produção" V é o conjunto formado por todas combinações insumo-produto possíveis, isto é, $V = \{(x, q) | x \text{ pode produzir } q\}$. Para cada q pertencente a um vetor insumo-produto em V , pode-se definir o "conjunto dos insumos necessários" $X(q)$, contendo todos os vetores de insumos que podem produzir q , ou melhor, $x(q) = \{x | (x, q) \in V\}$.

comportamento minimizante de custo da firma. A minimização do custo de produzir q para todo w , com $w_i > 0$, $i = 1, \dots, N$, é descrita através da função de custo

$$C(q, w) = \min_x \{w \cdot x \mid x \in X(q)\}. \quad (V.1)$$

Se os mercados de insumos forem não-competitivos, ainda assim, a função de custo pode ser definida por $C(q, w)$, com os preços de insumos w sendo interpretados como preços sombra.

A função de custo $C(q, w)$ deve satisfazer às seguintes propriedades:

i) Domínio: $C(q, w)$ é uma função de valor real positivo, definida para todos os preços positivos de w e todos os produtos factíveis positivos q , com $C(0, w) = 0$.

ii) Monotonicidade: $C(q, w)$ é uma função não-decrescente do produto q e dos preços w e tende ao infinito quando o produto tende ao infinito.

iii) Continuidade: $C(q, w)$ é uma função contínua inferior em q e contínua em w .

iv) Concavidade: $C(q, w)$ é uma função côncava em w .

v) Homogeneidade: $C(q, w)$ é uma função homogênea linear em w .

Além destas propriedades, em trabalhos empíricos, geralmente assume-se:

vi) Diferencialidade: $C(q, w)$ deve ser duas vezes diferenciável em w .

A função de custo $C(q, w)$ que obedece a propriedade (vi) possui ainda a importante propriedade da derivada:

$$\frac{\partial C}{\partial w_i} = x_i(q, w), \quad (\text{V.2})$$

que é o lema de Shephard, a partir do qual ele mostra que

$$\frac{\partial^2 C}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{\partial^2 C}{\partial w_j \partial w_i}, \quad (\text{V.3a})$$

ou,
$$\frac{\partial x_i}{\partial w_j} = \frac{\partial x_j}{\partial w_i}, \quad (\text{V.3b})$$

que é a propriedade da simetria.

A propriedade (V.2) pode ser utilizada para gerar os sistemas de funções de demanda por fatores. A propriedade (V.3a) ou (V.3b) é utilizada para reduzir o número de parâmetros a serem estimados, conservando assim os graus de liberdade e eliminando os problemas de multicolinearidade.

A estrutura principal das técnicas estatísticas/econométricas exige a construção de modelos cuja forma especificada seja representada por um vetor de parâmetros finitos desconhecidos. A partir dos anos 70, a abordagem tem considerado bastante a representação de tecnologias flexíveis, tendo em vista que a "flexibilidade" foi a questão que levou os econometristas a buscarem melhores formas alternativas, distintas das funções de produção e custo paramétricas mais simples, que são as do tipo Cobb-Douglas (Douglas e Cobb, 1928).

O objetivo da flexibilidade pode ser utilizado para classificar as formas funcionais. Dentro desta perspectiva, a especificação do número de parâmetros necessários à representação dos efeitos econômicos, pode ser realizada através da forma preconizada por Hanoch (1970a). Faremos esta descrição para o caso de função de produção, mas a mesma análise é válida também para funções de custo, devido a equivalência em termos de dualidade quando os mercados de insumos são competitivos.

Considere um vetor de insumos $x = (x_1, \dots, x_N)$ e uma função de produção com único produto $q = f(x)$, que possui derivadas parciais $f_i(x) = \partial f(x) / \partial x_i$ e $f_{ij}(x) = \partial^2 f(x) / \partial x_i \partial x_j$. Os efeitos econômicos, tais como escala, distribuição e subaditividade, podem ser geralmente quantificados em termos da função de produção e de suas primeiras e segundas derivadas, como segue:

i) Nível de produto: É calculado através da função de produção $q = f(x)$ e o número de efeitos distintos é apenas um, já que temos um único produto.

ii) Retornos de escala: São calculados pela expressão $\mu = \left(\sum_{i=1}^N x_i f_i(x) / f(x) \right)$ e temos apenas um efeito distinto.

iii) Participação de distribuição: Calcula-se através da expressão $S_i = x_i f_i / \sum_{j=1}^N x_j f_j(x)$, havendo $N - 1$ efeitos distintos, tendo em vista que o N -ésimo já estaria definido pela condição $\sum_{i=1}^N S_i = 1$.

iv) Elasticidade-preço direto: Calcula-se através da expressão $\varepsilon_i = x_i f_{ii}(x) / f_i(x)$, havendo N efeitos distintos, referentes aos N insumos.

v) Elasticidade de substituição: A expressão para o cálculo da mesma é

$$\sigma_{ij} = \frac{-f_{ii}(x) / (f_i(x))^2 + 2(f_{ij}(x) / f_i(x) f_j(x)) - f_{jj}(x) / (f_j(x))^2}{1/x_i f_i(x) + 1/x_j f_j(x)},$$

sendo o número de efeitos distintos uma combinação de N elementos dois a dois, portanto, resultando $N(N-1)/2$ efeitos.

Segundo McFadden (1978), a quantidade de efeitos econômicos distintos, enumerados de (i) até (v) é $n = (N+1)(N+2)/2$. Estes efeitos caracterizam as propriedades da estática comparativa usual, para uma função de produção em um ponto x (Hanoch, 1970a). Pode-se inverter estes resultados a fim de se determinar o valor da função $f(x)$ e das primeiras e segundas derivadas parciais $f_i(x)$, $f_{ii}(x)$ e $f_{ij}(x)$, em um ponto x , em termos dos efeitos econômicos, da seguinte forma:

$$f(x) = q,$$

$$f_i(x) = \mu q S_i / x_i,$$

$$f_{ii}(x) = \mu q S_i \varepsilon_i / x_i^2$$

e

$$f_{ij}(x) = \left[\sigma_{ij} (S_i + S_j) + \varepsilon_i S_i + \varepsilon_j S_j \right] \cdot \mu q / 2x_i x_j, \quad i \neq j.$$

Portanto, uma condição necessária e suficiente para que uma forma funcional $f(x)$ possa reproduzir os efeitos estáticos comparativos "em um ponto", sem a imposição de restrições através destes efeitos econômicos, é que a mesma possua $(N+1)(N+2)/2$ parâmetros distintos (Hanoch, 1970a).

O desenvolvimento acima, pode ser também realizado em termos da função de custo. Como esta função possui $N + 1$ argumentos, contra os N argumentos da função de produção, ela pode ser representada de modo a permitir a reprodução de um grande número de efeitos distintos, envolvendo as primeiras e segundas derivadas parciais. Entretanto, as propriedades de homogeneidade deste tipo de função reduzem o número de parâmetros independentes para $(N+1)(N+2)/2$, como no caso anterior.

De fato, considere a função de custo $C = C(q, w)$, a qual é homogênea linear em w . O teorema de Euler implica em que

$$\sum_{i=1}^N w_i C_i(q, w) = C(q, w),$$

$$\sum_{i=1}^N w_i C_{ij}(q, w) = 0, \quad j = 1, \dots, N,$$

$$c \quad \sum_{i=1}^N w_i C_{qi}(q, w) = C_q(q, w),$$

onde

$C_i(q, w) = \partial C(q, w) / \partial w_i$, $C_{ij}(q, w) = \partial^2 C(q, w) / \partial w_i \partial w_j$, $C_q(q, w) = \partial C(q, w) / \partial q$ e $C_{qi}(q, w) = \partial^2 C(q, w) / \partial q \partial w_i$. Estas relações fornecem $N + 2$ restrições, conhecidas como condição de extensão, condições de agregação de Cournot e condição de agregação de Engel, respectivamente. Portanto, o número de condições derivadas distintas é

$(N+2)(N+3)/2 - (N+2) = (N+1)(N+2)/2$, como no caso da função de produção com N insumos.

As formas funcionais flexíveis desenvolvidas em trabalhos econométricos, em sua maioria, podem ser consideradas como expansões lineares nos parâmetros que fazem a aproximação de uma função arbitrária. Geralmente, uma expansão deste tipo pode ser escrita da seguinte forma:

$$f(x) \approx \tilde{f}(x) = \sum_{i=1}^n a_i h^i(x), \quad (\text{V.4})$$

onde $f(x)$ é a função verdadeira, $\tilde{f}(x)$ é a forma funcional aproximada, os a_i são parâmetros, os h^i são funções conhecidas e x é um vetor das variáveis independentes. Nas aplicações em economia da produção e custo, x pode ser quantidades ou preços de insumos, ou transformações destas variáveis, como por exemplo a transformação $\log x_i$. Se $n = (N+1)(N+2)/2$ e a condição que o determinante da matriz wronskiana não seja nulo é satisfeita em um ponto x^* , então os valores dos parâmetros a_i podem ser calculados para que esta expansão aproxime o valor de $f(x)$ através de $\tilde{f}(x)$ e suas primeiras e segundas derivadas parciais em uma vizinhança de x^* . Uma expansão que apresenta esta propriedade é denominada de "forma funcional flexível-econômica em parâmetros" (Lau, 1975).

As formas funcionais flexíveis-econômicas em parâmetros podem geralmente ser construídas pela utilização de uma expansão em séries de Taylor da função $f(x)$, com aproximação de segunda ordem em torno de um ponto x^* . Neste caso, as funções conhecidas e os parâmetros correspondentes possuem os seguintes valores:

$$h^0(x) = 1,$$

$$h^1(x) = x_i - x_i^*, \quad i = 1, \dots, N,$$

$$h^2(x) = (1/2)(x_j - x_j^*)(x_i - x_i^*), \quad i, j = 1, \dots, N,$$

$$a_0 = f(x),$$

$$a_i = f_i(x), \quad i = 1, \dots, N,$$

$$e \quad a_{ij} = f_{ij}(x), \quad i, j = 1, \dots, N.$$

Por simplicidade notacional, os termos de segunda ordem em (V.4) estão reindexados em termos de i e j .

Existem dificuldades em obter uma forma funcional flexível-econômica em parâmetros adequada, principalmente quando as observações estão em um domínio bastante extenso. Entretanto, este problema pode ser minorado através da introdução de parâmetros adicionais. Quando se trata de um domínio limitado, fechado, o teorema da aproximação de Bernstein-Weierstrauss mostra que uma função contínua pode ser uniformemente aproximada por funções polinomiais (Bernstein e Toupin, 1962). Na prática, o número de parâmetros necessários capaz de garantir o nível de precisão especificado, de acordo com este teorema, é também muito grande em relação aos objetivos de uma análise empírica.

O conceito de formas funcionais lineares nos parâmetros e a propriedade da aproximação de segunda ordem um ponto são resultados de estudos realizados por Diewert (1971), que

introduziu os sistemas linear generalizado e Leontief generalizado. A este desenvolvimento seguiu-se a introdução da forma funcional translog, estudada por Christensen, Jorgenson e Lau (1971). A forma translog tem sido amplamente utilizada, sendo uma generalização direta da função Cobb-Douglas, servindo como um arcabouço para a análise das propriedades estruturais da teoria da produção e custo.

A obtenção de estruturas de custo com forma funcional flexível parte da hipótese que uma função de transformação relacionando o vetor de produtos $q = (q_1, \dots, q_M)$ ao vetor de insumos $x = (x_1, \dots, x_N)$ é duas vezes continuamente diferenciável, estritamente monótona e estritamente quase-côncava no argumento (q, x) . Esta transformação eficiente de um vetor de insumos x em um vetor de produtos q pode ser representada pela função geral

$$F(q, x) = 0. \quad (V.5)$$

Associada a uma tal função de transformação, existe uma função de custo dual, a qual reflete a tecnologia em análise. Se $F(q, x)$ possui uma estrutura convexa em relação aos insumos e as quantidades dos produtos e os preços dos insumos são exógenos, então é possível escrever a função de custo dual como

$$C = C(q, w), \quad (V.6)$$

onde C é o custo total e w é o vetor de preços dos insumos necessários para produzir $q = (q_1, \dots, q_M)$.

Uma estrutura de insumos convexa para a função (V.5.) é equivalente ao fato que a função (V.6) seja homogênea linear, não decrescente e côncava nos preços dos insumos w . O

vetor das primeiras derivadas parciais de $C(q, w)$ com relação a w_i é igual ao vetor de insumos que minimizam o custo (Shephard, 1953).

Os objetivos da implementação empírica são alcançados quando consegue-se especificar uma forma funcional explícita para $C(q, w)$. Algumas formas bastante gerais têm sido propostas, as quais não estabelecem restrições a priori sobre as elasticidades de substituição parciais de Allen (AES). Entre estas, encontram-se as formas quadráticas Leontief generalizada (Diewert, 1971), Cobb-Douglas generalizada (Douglas e Cobb, 1928), translog (Christensen, Jorgenson e Lau, 1973) e raiz quadrada generalizada (Diewert, 1974d).

Embora cada uma destas formas funcionais flexíveis possa ser interpretada (exceto a forma Cobb-Douglas generalizada) como uma aproximação de segunda ordem para a função de custo arbitrária, é possível que os resultados empíricos possam variar substancialmente, em decorrência da forma funcional particular escolhida.

Alguns trabalhos empíricos mostram que a forma Cobb-Douglas generalizada não é muito confiável, em virtude de problemas relacionados com a invariância (Magnus, 1979). A escolha entre as três formas flexíveis mencionadas acima pode ser realizada tomando por base um critério bayesiano, conforme Berndt, Darrough e Diewert (1977). Alternativamente, é possível especificar uma forma funcional totalmente geral, da qual cada uma das formas flexíveis acima seja considerada como caso especial ou limitante. Pode-se testar esta forma geral como uma representação forte para os casos especiais considerados, utilizando-se procedimentos estatísticos clássicos, que é o que ocorre geralmente na experiência prática.

Seguindo esta perspectiva, Khaled (1978) propôs a forma funcional Box-Cox generalizada, a qual considera as formas Leontief generalizada, quadrática raiz-quadrada generalizada e translog como casos especiais ou limitante (Diewert, 1976; Kiefer, 1975; Appelbaum, 1976; Diewert, 1977). Na ausência de progresso tecnológico, a função de custo Box-Cox generalizada não-homotética, com N-insumos produzindo M-produtos, pode ser escrita como:

$$C(q, w) = [1 + \rho G(w)]^{1/\rho} \cdot H(q, w), \quad (V.7)$$

onde

$$G(w) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i w_i(\rho) + 1/2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} \cdot w_i(\rho) w_j(\rho),$$

$$H(q, w) = \prod_{k=1}^M q_k^{\alpha_k(q, w)},$$

$$\alpha_k(q, w) = b_k + 1/2 \sum_{\ell=1}^M b_{k\ell} \ln q_{\ell} + \sum_{i=1}^N c_{ik} \ln w_i,$$

$$w_i(\rho) = (w_i^{\rho/2} - 1) / (\rho/2)$$

e $a_0, a_i, a_{ij}, b_k, b_{k\ell}, c_{ik}$ e ρ são parâmetros. O pressuposto da simetria implica em que $a_{ij} = a_{ji}$ e $b_{k\ell} = b_{\ell k}$. A homogeneidade linear nos preços dos insumos ocorre se e somente se

$$\sum_{i=1}^N a_i = 1 + \rho a_0, \quad \sum_{j=1}^N a_{ij} = (\rho/2) a_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (V.8)$$

e

$$\sum_{i=1}^N c_{ik} = 0, \quad k = 1, \dots, M.$$

Levando-se em consideração as restrições (V.8), a forma Box-Cox generalizada (V.7) pode ser escrita como

$$C(q, w) = \left[\frac{2}{\rho} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} w_i^{\rho/2} w_j^{\rho/2} \right]^{1/\rho} \cdot \prod_{k=1}^M q_k^{\alpha_k(q, w)}. \quad (V.9)$$

A tecnologia básica de produção Box-Cox generalizada é homotética, se $c_{ik} = 0$, para $i = 1, \dots, N$, e homogênea de grau $1/\alpha$ nos insumos, se além da condição anterior $b_{k\ell} = 0$, $k, \ell = 1, \dots, M$, e $\sum_{k=1}^M \alpha_k = \alpha$. Finalmente, pode-se obter retornos constantes de escala para o produto simples q , quando adicionalmente $\alpha = 1$.

Vamos agora analisar os casos especiais ou limitantes da forma funcional Box-Cox generalizada. Quando $\rho = 2$, obtemos a forma quadrática generalizada não-homotética, que pode ser escrita como

$$C(q, w) = \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} w_i w_j \right]^{1/2} \cdot \prod_{k=1}^M q_k^{\alpha_k(q, w)}. \quad (V.10)$$

Quando $\rho = 1$, obtemos a forma Leontief generalizada não-homotética que pode ser escrita como

$$C(q, w) = 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} w_i^{1/2} w_j^{1/2} \cdot \prod_{k=1}^M q_k^{\alpha_k(q, w)}. \quad (V.11)$$

No caso limite, quando $\rho \rightarrow 0$, é possível obter a forma translog não-homotética. Inicialmente reescreveremos (V.7) como

$$G(w) = \frac{[C(q, w)/H(q, w)]^\rho - 1}{\rho}. \quad (V.12)$$

Calculamos a seguir o limite de (V.12), quando $\rho \rightarrow 0$,

$$\begin{aligned} \lim_{\rho \rightarrow 0} G(w) &= \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{[C(q, w)/H(q, w)]^\rho - 1}{\rho} = \ln[C(q, w)/H(q, w)] \\ &= \ln C(q, w) - \ln H(q, w), \end{aligned} \quad (V.13)$$

e o limite de $w_i(\rho)$, quando $\rho \rightarrow 0$,

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} w_i(\rho) = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{w_i^{\rho/2} - 1}{\rho/2} = \ln w_i. \quad (V.14)$$

Finalmente, substituindo-se o resultado (V.14) em (V.9), obtemos a forma translog não-homotética desejada:

$$\begin{aligned} \ln C(q, w) &= a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \ln w_i + 1/2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_{k=1}^M b_k \ln q_k \\ &+ 1/2 \sum_{k=1}^M \sum_{\ell=1}^M b_{k\ell} \ln q_k \ln q_\ell + \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N c_{ik} \ln w_i \ln q_k. \end{aligned} \quad (V.15)$$

Quando se trata de produto simples q , a expressão (V.15) torna-se a seguinte:

$$\ln C(q, w) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \ln w_i + 1/2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} \ln w_i \ln w_j,$$

$$+b \ln q + \sum_{i=1}^N c_i \ln q \ln w_i + (d/2)(\ln q)^2. \quad (\text{V.16})$$

Além disso, notamos que a forma funcional translog (V.15) envolve uma restrição paramétrica limitante adicional sobre a equação (V.9), tendo em vista que, quando $\rho \rightarrow 0$, de acordo com as restrições (V.8),

$$\lim_{\rho \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N a_i = 1.$$

A imposição das restrições de homogeneidade linear no preços dos insumos w_i sobre a forma Box-Cox generalizada (V.7) resulta que as elasticidades de substituição parciais de Allen (AES) σ_{ij} são calculadas pelas expressões:

$$\sigma_{ij} = 1 - \rho + a_{ij} \frac{(w_i w_j)^{\rho/2}}{S_i S_j} \bar{c}^{-\rho} + \rho \frac{F_j(q)}{S_j} + \rho \left[1 - \frac{F_j(q)}{S_j} \right] \frac{F_i(q)}{S_i}, \quad i \neq j, \quad (\text{V.17})$$

$$e \quad \sigma_{ii} = 1 - \rho + a_{ii} \frac{w_i^\rho}{S_i^2} \bar{c}^{-\rho} + \rho \frac{F_i(q)}{S_i} + \rho \left[1 - \frac{F_i(q)}{S_i} \right] \frac{F_i(q)}{S_i} + \frac{\rho}{2} \left[1 - \frac{F_i(q)}{S_i} \right] \frac{1}{S_i} - \frac{1}{S_i}, \quad (\text{V.18})$$

onde,

$$\bar{c} = \frac{c}{\prod_{k=1}^M q_k^{\alpha_k(q,w)}},$$

$$F_i(q) = \sum_{k=1}^M c_{ik} \ln q_k,$$

e S_i é a participação do i -ésimo insumo no custo de produção total. Mas, de um modo mais geral, as elasticidades de substituição de Allen podem ser obtidas pela expressão

$$\sigma_{ij} = \frac{C_{ij} C}{C_i C_j}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (\text{V.19})$$

considerando-se o nível de produto constante. Pode-se facilmente verificar que $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$, devido a simetria $C_{ij} = C_{ji}$. As elasticidades-preço correspondentes ε_{ij} são calculadas por

$$\varepsilon_{ij} = S_{ij} \sigma_{ij}, \quad (\text{V.20})$$

conforme Berndt e Wood (1975).

V.1.2 - O Modelo Econômico

A abordagem econométrica para o problema de mensuração de mudanças na tecnologia desenvolvida neste trabalho está baseada na diferenciabilidade das formas funcionais para a função de custo variável $C(q, w, k, t)$ e as funções de demanda inversa $g_i(p_i)$, $i = 1, 2, \dots, M$, e no uso das equações

$$x = \nabla_w C(q, w, k, t), \quad (\text{V.21})$$

$$p - m = \nabla_q C(q, w, k, t) \quad (\text{V.22})$$

$$e - \lambda(1 - \lambda)^{-1} e = -\nabla_k C(q, w, k, t), \quad (\text{V.23})$$

vistas anteriormente. Podemos reescrevê-las de forma discreta e adicionar os respectivos erros, resultando o seguinte sistema de equações simultâneas:

$$x_t = \nabla_w C(q_t, w_t, k_t, t) + v_{xt}, \quad (\text{V.24})$$

$$p_t = m_t + \nabla_q C(q_t, w_t, k_t, t) + v_{qt} \quad (\text{V.25})$$

$$e \quad r_t = \beta_t e_t - \nabla_k C(q_t, w_t, k_t, t) + v_n, \quad (V.26)$$

onde $m_t \equiv -\nabla g(q_t)q_t$ é o vetor de mark-up para o período t e $\beta_t = \lambda_t / (1 - \lambda_t)$ é um escalar que pode ser estimado a cada período t . Determinado β_t , podemos calcular os multiplicadores de Lagrange $\lambda_t \equiv \beta_t / (1 + \beta_t)$ para cada período t e verificar se os mesmos satisfazem a condição $0 \leq \lambda_t < 1$. Podemos também testar se o capital está sendo utilizado de forma eficiente, através da hipótese $\beta_t = 0$, para $t = 1, 2, \dots, T$.

A implementação do modelo econométrico proposto, além da escolha da forma funcional da estrutura de custo, necessita da definição de uma forma paramétrica para a função de demanda a ser utilizada na equação (V.25). Vários dos critérios descritos anteriormente sobre a escolha da forma funcional do custo são também válidos para selecionar a forma funcional da demanda. Entretanto, por questão de ênfase não iremos detalhar aqui tal processo.

A teoria econômica nos conduz ao fato que a função de demanda por um bem intermediário (no caso energia elétrica) depende do preço do próprio bem p_i , do preço dos bens substitutos e complementares p_j , $j \neq i$ do nível de produção Y e de alguns fatores qualitativos A , como por exemplo, características regionais, assim representada:

$$q_i = h(p_1, \dots, p_M, Y, A). \quad (V.27)$$

Se o bem i é substituto de um bem j , o efeito-preço cruzado é positivo ($\partial h_i / \partial p_j > 0$) e se ele é complementar do bem j , o efeito-preço cruzado é negativo ($\partial h_i / \partial p_j < 0$). Já o efeito renda, espera-se que seja positivo ($\partial h_i / \partial Y_i > 0$). De um modo mais geral, a matriz de substituição

$$\begin{bmatrix} \partial h_1 / \partial p_1 & \partial h_1 / \partial p_2 & \dots & \partial h_1 / \partial p_M \\ \partial h_2 / \partial p_1 & \partial h_2 / \partial p_2 & \dots & \partial h_2 / \partial p_M \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \partial h_M / \partial p_1 & \partial h_M / \partial p_2 & \dots & \partial h_M / \partial p_M \end{bmatrix}$$

é semi-definida negativa e simétrica.

Especificamente, podemos admitir que a demanda por eletricidade como insumo intermediário depende do seu preço próprio p_E , dos preços de outros energéticos como combustíveis derivados de petróleo p_C e biomassa p_B , do produto interno bruto regional (Y) e de características regionais (A), que podem ser captadas por variáveis dummies. Desse modo, para cada instante t , a função (IV.20) é dada por:

$$q_E = h(p_E, p_C, p_B, Y_t, A_t). \quad (\text{V.28})$$

Admitindo-se a separabilidade da função (V.28), podemos propor de forma ad-hoc a seguinte forma funcional:

$$\ln q_E = \alpha_0 + \alpha_E p_E + b_C p_C + b_B p_B + b_Y Y_t + b_A A_t. \quad (\text{V.29})$$

Este caminho simplifica bastante o tratamento da equação (V.28), o que equivale a assumir que o vetor de markup seja igual a um vetor constante $\alpha \equiv (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M)$, para $t = 1, 2, \dots, T$. Esta hipótese é consistente com o produtor que enfrenta um sistema de função de demandas inversas

$$p_k = \gamma_k + \alpha_k \ln q_k, \quad (\text{V.30})$$

para $i = 1, 2, \dots, M$ e $t = 1, 2, \dots, T$, ou o produtor monopolista que adota um mark-up. Assim, podemos testar a hipótese de comportamento competitivo nos mercados de produtos verificando a hipótese de $\alpha_i = 0$, $i = 1, 2, \dots, M$. No caso da equação (V.29), temos:

$$p_{Et} = \gamma_{Et} + \alpha_E \ln q_{Et}, \quad (\text{V.30a})$$

com

$$\gamma_{Et} = \frac{1}{\alpha_E} (a_0 + a_C p_{Ct} + a_B p_{Bt} + a_Y Y_t + a_A A_t) \quad e \quad \alpha_E = \frac{1}{\alpha_E},$$

e o mark-up é

$$m_{Et} = -\alpha_E.$$

Uma forma funcional alternativa simples para a equação (V.28) é adotar o modelo de demanda log-linear,

$$\ln q_{Et} = b_0 + b_E \ln p_{Et} + b_C \ln p_{Ct} + b_B \ln p_{Bt} + b_Y \ln Y_t + b_A \ln A_t, \quad (\text{V.31})$$

que podemos escrever de uma forma resumida como:

$$\ln q_{Et} = \delta_E + \beta_E \ln p_{Et}, \quad (\text{V.31a})$$

com

$$\delta_E = -\frac{1}{\beta_E} (b_0 + b_C \ln p_{Ct} + b_B \ln p_{Bt} + b_Y \ln Y_t + b_A \ln A_t) \quad e \quad \beta_E = \frac{1}{\beta_E}.$$

Isto implica que o mark-up é obtido por

$$m_{Et} = -\beta_E \cdot p_{Et}. \quad (V.32)$$

Este tipo de estrutura é adotado neste trabalho quando da estimação do modelo de demanda pelo produto.

A forma funcional a ser escolhida para $C(q, w, k, t)$ deve satisfazer as seguintes propriedades: (i) C é homogênea linear em w ; (ii) C pode fornecer uma aproximação de segunda ordem para uma função arbitrária de (q, w, k, t) que seja homogênea linear em w ; (iii) as derivadas de C com relação aos componentes w e q devem ser lineares nos parâmetros desconhecidos que caracterizam C ; (iv) se certas restrições sobre os parâmetros de C forem válidas, então C também fornece uma aproximação de segunda ordem para uma função arbitrária de (q, w, k, t) que é homogênea linear em w e também homogênea linear em (q, k) ; e (v) C não deve conter mais parâmetros desconhecidos que o necessário a fim de satisfazer as restrições referentes às propriedades (i) a (iv).

Uma forma funcional que satisfaz os critérios acima é a translog:

$$\begin{aligned} \ln C(q, w, k, t) = & \alpha_0 + \sum_{j=1}^N \alpha_j (\ln w_j) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^N \alpha_{jt} (\ln w_j) (\ln w_t) + \sum_{i=1}^M \beta_i (\ln q_i) \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \sum_{h=1}^M \beta_{ih} (\ln q_i) (\ln q_h) + \gamma_k (\ln k) + \frac{1}{2} \gamma_{kk} (\ln k)^2 + \delta_0 t + \frac{1}{2} \delta_{00} t^2 \\ & + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \varepsilon_{ij} (\ln q_i) (\ln w_j) + \sum_{i=1}^M \gamma_{ik} (\ln q_i) (\ln k) + \sum_{j=1}^N \phi_{jk} (\ln w_j) (\ln k) + \sum_{i=1}^M \rho_{0i} t (\ln q_i) \end{aligned}$$

$$+ \sum_{j=1}^N \xi_{0j} t (\ln w_j) + \xi_{0k} t (\ln k), \quad (\text{V.33})$$

onde $\alpha_{jt} = \alpha_{jt}$ e $\beta_{it} = \beta_{it}$. Para garantirmos que C seja homogênea linear em w, temos que impor as seguintes restrições:

$$\sum_{j=1}^M \alpha_j = 1, \quad \sum_{t=1}^N \alpha_{jt} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, N,$$

$$\sum_{i=1}^M \varepsilon_{ij} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^N \phi_{jk} = 0 \quad \text{e} \quad \sum_{j=1}^N \xi_{0j} = 0.$$

As derivadas desta função de custo variável em relação aos logaritmos neperianos dos preços dos insumos variáveis nos fornecem (utilizando o lema de Shephard (1970)) as participações relativas destes fatores no custo variável de produção:

$$S_j = \alpha_j + \sum_{t=1}^N \alpha_{jt} (\ln w_t) + \sum_{i=1}^M \varepsilon_{ij} (\ln q_i) + \phi_{jk} (\ln k) + \xi_{0j} t, \quad (\text{V.34})$$

com $j = 1, 2, \dots, N$. As derivadas da função de custo variável em relação aos logaritmos neperianos das quantidades de produto e em relação ao logaritmo do insumo de capital nos fornecem os seguintes resultados:

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln q_i} = \beta_i + \sum_{h=1}^M \beta_{ih} (\ln q_h) + \sum_{j=1}^N \varepsilon_{ij} (\ln w_j) + \gamma_k (\ln K) + \rho_{0i} t, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (\text{V.35})$$

$$\text{e} \quad \frac{\partial \ln C}{\partial \ln k} = \gamma_k + \gamma_{kk} (\ln k) + \sum_{i=1}^M \gamma_{ik} (\ln q_i) + \sum_{j=1}^N \phi_{jk} (\ln w_j) + \xi_{0k} t. \quad (\text{V.36})$$

A função de custo translog pode ser reescrita como:

$$C(q, w, k, t) = e^{\ln C(q, w, k, t)}. \quad (\text{V.37})$$

Portanto, obtemos as seguintes igualdades, a partir das equações (V.24), (V.25) e (V.26):

$$x_j = C \frac{\partial \ln C(q, w, k, t)}{\partial w_j}, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (\text{V.38})$$

$$p_i - m_i = C \frac{\partial \ln C(q, w, k, t)}{\partial q_i}, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (\text{V.39})$$

$$e \quad r = \beta e - C \frac{\partial \ln C(q, w, k, t)}{\partial k}. \quad (\text{V.40})$$

Fazendo-se simples algebrismos, chegamos aos resultados:

$$S_j = \frac{\partial \ln C(q, w, k, t)}{\partial \ln w_j}, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (\text{V.41})$$

$$\frac{(p_i - m_i)q_i}{C} = \frac{\partial \ln C(q, w, k, t)}{\partial \ln q_i}, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (\text{V.42})$$

$$e \quad \frac{rk}{C} = \beta \frac{eK}{C} - \frac{\partial \ln C(q, w, k, t)}{\partial \ln k}, \quad (\text{V.43})$$

onde $S_j = \frac{w_j x_j}{C}$, $j = 1, 2, \dots, N$. Podemos interpretar $(p_i - m_i)q_i$ como o custo social de produção do bem i . Fazendo-se

$$v_i = \frac{(p_i - m_i)q_i}{C}, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (\text{V.44})$$

o v_i representa a relação entre o custo social de produção do bem i e o custo variável de produção. Do mesmo modo, tomando-se

$$\mathcal{G}_r = \frac{rk}{C} \quad e \quad \mathcal{G}_e = \frac{ek}{C}, \quad (\text{V.45})$$

\mathcal{G}_r e \mathcal{G}_e representam, respectivamente, a relação entre o custo de uso dos insumos de capital e o custo variável e a relação entre o valor do retorno máximo excedente permitido sobre o custo de uso do capital, e o custo variável. A partir destas considerações, podemos reescrever o sistema (V.38), (V.39) e (V.40) do seguinte modo:

$$S_j = \alpha_j + \sum_{i=1}^N \alpha_{ji}(\ln w_{ji}) + \sum_{i=1}^M \varepsilon_{ij}(\ln q_{ji}) + \phi_{jk}(\ln k_i) + \xi_{0j}t + v_{ji}, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (\text{V.46})$$

$$v_{ji} = \beta_i + \sum_{h=1}^M \beta_{ih}(\ln q_{jh}) + \sum_{j=1}^N \varepsilon_{ij}(\ln w_{ji}) + \gamma_{ik}(\ln k_i) + \rho_{0i}t + v_{ji} \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (\text{V.47})$$

$$e \quad \mathcal{G}_\pi = \beta_i \mathcal{G}_\alpha - \gamma_k - \gamma_{ik}(\ln k_i) - \sum_{i=1}^M \gamma_{ik}(\ln q_{ji}) - \sum_{j=1}^N \phi_{jk}(\ln w_{ji}) - \xi_{0k}t - v_{ki}. \quad (\text{V.48})$$

Considerando os valores de \mathcal{G}_π , \mathcal{G}_α e β_i , podemos construir uma nova variável \mathcal{G}_{ki} , dada por:

$$\mathcal{G}_{ki} = -(\mathcal{G}_\pi - \beta_i \mathcal{G}_\alpha), \quad (\text{V.49})$$

que representa a derivada $\partial \ln C / \partial \ln k_i$, e a equação (4.36) pode ser agora escrita como:

$$\mathcal{G}_k = \gamma_k + \gamma_{kk}(\ln k_t) + \sum_{i=1}^M \gamma_{ik}(\ln q_{it}) + \sum_{j=1}^N \phi_{jk}(\ln w_{jt}) + \xi_{0k}t + v_{kt}. \quad (\text{V.48a})$$

O nosso interesse neste trabalho é fazer uma aplicação desta metodologia a empresas do setor de energia elétrica. Neste caso, podemos considerar os insumos mão-de-obra (L), capital (K), materiais (M) e energia (E) que são utilizados na produção de energia elétrica, para consumos residencial (q_R), industrial (q_I) e outros (q_0). O problema da produção sob regulamentação, expresso pelas equações (V.46), (V.47) e (V.48), será escrito agora como:

$$S_L = \alpha_L + \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{L\ell}(\ln w_{\ell t}) + \sum_{i=R,I,0} \varepsilon_{iL}(\ln q_{it}) + \phi_{LK}(\ln K_t) + \xi_{0L}t + v_{Lt}, \quad (\text{V.50})$$

$$S_M = \alpha_M + \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{M\ell}(\ln w_{\ell t}) + \sum_{i=R,I,0} \varepsilon_{iM}(\ln q_{it}) + \phi_{MK}(\ln K_t) + \xi_{0M}t + v_{Mt}, \quad (\text{V.51})$$

$$S_L + S_M + S_E = 1, \quad (\text{V.52})$$

$$v_{it} = \beta_K + \sum_{h=R,I,0} \beta_{ih}(\ln q_{ht}) + \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{ij}(\ln w_{jt}) + \gamma_{iK}(\ln K_t) + \rho_{0i}t, \quad i = R, I, O, \quad (\text{V.53})$$

$$e \quad \mathcal{G}_K = \gamma_K + \gamma_{KK}(\ln K_t) + \sum_{i=R,I,0} \gamma_{iK}(\ln q_{it}) + \sum_{j=L,M,E} \phi_{jK}(\ln w_{jt}) + \xi_{0K}t + v_{Kt}. \quad (\text{V.54})$$

A metodologia descrita acima assume que são conhecidos os valores de $S_L, S_M, S_E, p_R, p_I, p_0, e, r, w_L, w_M, w_E, q_R, q_I, q_0, e K$, em cada instante t . Podemos utilizar técnicas econométricas para estimar o modelo, assumindo-se que a distribuição condicional de $(S_L, S_M, S_E, v_R, v_I, v_0, \mathcal{G}_K)$ seja normal multivariada, dados $w_L, w_M, w_E, q_R, q_I, q_0, K, m_R, m_I, m_0$ e t . Deste modo, uma vez estimados econometricamente os parâmetros desconhecidos das equações (V.50), (V.51), (V.53) e (V.54), podemos calcular estimativas para a função de custo variável

$C(q_R, q_I, q_0, w_L, w_M, w_E, K, t)$, a taxa de crescimento $\partial \ln C(q_R, q_I, q_0, w_L, w_M, w_E, K, t) / \partial t$ e outras medidas de progresso tecnológico.

V.2 - APLICAÇÃO À INDÚSTRIA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Vamos desenvolver um modelo que é uma generalização do modelo setorial de produção e progresso tecnológico elaborado por Gollop e Jorgenson (1980). Eles partem de uma função de produção para cada setor industrial, cujo produto depende de capital, mão-de-obra, insumos intermediários e tempo, valendo o pressuposto de retornos constantes de escala. A idéia de retornos constantes não é apropriada para um estudo de produtividade a nível da firma na indústria de geração de energia elétrica, conforme estudos de Christensen e Greene (1976). Um estudo sobre performance desta indústria deve tratar economias de escala e progresso tecnológico como fontes distintas de crescimento econômico.

O modelo de produção e progresso tecnológico desenvolvido a seguir fornece uma estrutura que permite medir as contribuições de cada fonte de crescimento. Ele permite determinar se a taxa de progresso tecnológico pode ser alocada entre componentes associados unicamente aos insumos individuais e quais insumos são os meios dominantes do progresso tecnológico. Isto exige que o modelo de produção seja especificado em termos de um progresso tecnológico via fator de aumento, a ser desenvolvido na seção seguinte.

V.2.1 - O Modelo Econômico de Crescimento

Um modelo geral de produção não impõe restrições sobre a forma do progresso tecnológico ou taxas marginais de substituição entre os argumentos da função de produção. Iremos utilizar aqui apenas as restrições de regulamentação propostas no modelo Averch-Johnson. Deste modo, o modelo geral de produção e progresso tecnológico, aplicado a indústria de geração energia elétrica, pode ser representado pela função de custo variável para cada empresa de eletricidade:

$$C = C(q, w_L, w_M, w_E, K, t), \quad (V.55)$$

onde w_L, w_M e w_E são, respectivamente, os preços dos insumos de mão-de-obra, materiais intermediários e energia, K a quantidade dos serviços do insumo de capital, q a quantidade produto e t o tempo. Christensen e Greene (1976) admitem que os mercados de fatores são competitivos e que cada empresa é obrigada a ofertar toda energia elétrica demandada a um dado nível de preço. Não iremos adotar a hipótese de retornos constantes de escala.

Aplicando logaritmos neperianos à função de custo variável dada por (V.55) e diferenciando com relação ao tempo, podemos decompor a taxa de crescimento do custo variável em suas componentes fontes:

$$\begin{aligned} \frac{d \ln C}{dt} = & \left(\frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_L} \cdot \frac{d \ln w_L}{dt} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_M} \cdot \frac{d \ln w_M}{dt} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_E} \cdot \frac{d \ln w_E}{dt} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln K} \cdot \frac{d \ln K}{dt} \right) \\ & + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln q} \cdot \frac{d \ln q}{dt} + \frac{d \ln C}{dt}. \end{aligned} \quad (V.56)$$

Se v_q for igual a 1, temos retornos constantes de escala. Se v_q for menor (maior) que 1, os custos crescem menos (mais) que proporcionalmente em relação ao crescimento do produto, o que implica na existência de economias (deseconomias) de escala. A partir do valor de v_q , podemos isolar a variação no custo que é independente do progresso tecnológico e de variações nos preços dos insumos, mão-de-obra, materiais e energia, e na quantidade de capital. Finalmente, podemos definir a taxa de progresso tecnológico (v_T) como sendo a taxa de crescimento do custo variável em relação ao tempo com o sinal invertido, permanecendo constante o produto, os preços dos insumos de mão-de-obra, materiais e energia e a quantidade de capital:

$$-\frac{\partial \ln C}{\partial t} \equiv v_T. \quad (V.60)$$

Definido este arcabouço teórico de crescimento econômico, a variação no custo variável, permanecendo constante os preços dos insumos de mão-de-obra, materiais e energia e a quantidade de capital, pode ser vista como a soma das fontes de crescimento econômico estáticas e dinâmicas:

$$W = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln q} \cdot \frac{\partial \ln q}{\partial t} + \frac{\partial \ln C}{\partial t} = v_q \frac{d \ln q}{dt} - v_T, \quad (V.61)$$

ou melhor,

$$W = \frac{d \ln C}{dt} - \left(S_L \frac{d \ln w_L}{dt} + S_M \frac{d \ln w_M}{dt} + S_E \frac{d \ln w_E}{dt} + g_K \frac{d \ln K}{dt} \right). \quad (V.62)$$

A expressão (V.62) é um número índice de Divisia. Ela é igual à soma das contribuições de economias de escala e progresso tecnológico para o crescimento econômico. Deste modo, podemos medir W e depois decompô-lo em seus componentes estáticos e dinâmicos.

Para efeito de aplicação discreta do modelo, vamos considerar a função de custo variável translog, que é uma aproximação de segunda ordem para função dada em (V.55):

$$\begin{aligned}
 \ln C = (q, w_L, w_M, w_E, K, t) = & \alpha_0 + \sum_j \alpha_j (\ln w_j) + \frac{1}{2} \sum_j \sum_{\ell} \alpha_{j\ell} (\ln w_j) (\ln w_{\ell}) \\
 & + \beta_q (\ln q) + \frac{1}{2} \beta_{qq} (\ln q)^2 + \gamma_K (\ln K) + \frac{1}{2} \gamma_{KK} (\ln K)^2 + \delta_0 t + \delta_{00} t^2 \\
 & + \sum_j \varepsilon_{qj} (\ln q) (\ln w_j) + \gamma_{qK} (\ln q) (\ln K) + \sum_j \phi_{Kj} (\ln K) (\ln w_j) + \rho_{0q} t (\ln q) \\
 & + \sum_j \xi_{0j} t (\ln w_j) + \xi_{0K} t (\ln K), \tag{V.63}
 \end{aligned}$$

onde $j = L, M, E$, com $L =$ mão-de-obra, $M =$ materiais elétricos, $E =$ energia, $K =$ estoque de capital, $q =$ quantidade de eletricidade produzida e $t =$ variável de tendência. Tomando-se as derivadas parciais logarítmicas de (V.63) em relação aos preços dos insumos L, M e E e aplicando-se o lema de Shephard, chegamos a:

$$S_j = \alpha_j + \sum_{\ell} \alpha_{j\ell} (\ln w_{\ell}) + \varepsilon_{qj} (\ln q) + \phi_{Kj} (\ln K) + \xi_{0j} t, \quad j = L, M, E \text{ e } \ell = L, M, E. \tag{V.64}$$

Derivando-se parcialmente (V.63) agora em relação ao produto (q), à quantidade de capital (K) e ao tempo (t), temos, respectivamente:

$$v_q = \beta_q + \beta_{qq} (\ln q) + \sum_j \varepsilon_{qj} (\ln w_j) + \gamma_{qK} (\ln K) + \rho_{0q} t, \tag{V.65}$$

$$g_K = \gamma_K + \gamma_{KK} (\ln K) + \gamma_{qK} (\ln q) + \sum_j \phi_{Kj} (\ln w_j) + \xi_{0K} t \tag{V.66}$$

$$-v_T = \delta_0 + \delta_{00} t + \rho_{0q} (\ln q) + \sum_j \xi_{0j} (\ln w_j) + \xi_{0K} (\ln K), \tag{V.67}$$

com $j = L, M, E$ e $\ell = L, M, E$, sendo que v_q , ϑ_K e v_T já foram anteriormente definidos. Agora substituindo-se as expressões em (V.64), (V.65), (V.66) e (V.67) em (V.61), resulta uma expressão para W em termos dos parâmetros da translog:

$$W = \left(\beta_q + \beta_{qq}(\ln q) + \sum_j \varepsilon_{qj}(\ln w_j) + \gamma_{qK}(\ln K) + \rho_{0q}t \right) \frac{d \ln q}{dt} + \delta_0 + \delta_{00}t + \rho_{0q}(\ln q) + \sum_j \xi_{0j}(\ln w_j) + \xi_{0K}(\ln K), \quad j = L, M, E. \quad (V.68)$$

A variáveis dependentes nas equações (V.64) são as participações relativas dos insumos de mão-de-obra, materiais e energia no custo variável e como resultado devem somar um. A função de custo variável translog satisfaz esta condição, se e somente se,

$$\sum_{j=L, M, E} \alpha_j = 1 \quad e \quad \sum_{j=L, M, E} \alpha_{j\ell} = \sum_{j=L, M, E} \varepsilon_{qj} = \sum_{j=L, M, E} \phi_{jK} = \sum_{j=L, M, E} \xi_{0j} = 0, \quad \ell = L, M, E. \quad (V.69)$$

Na modelagem das contribuições de crescimento devido a economias de escala e progresso tecnológico em termos de dados discretos é preciso considerarmos a função de custo variável translog em dois instantes de tempo: t e $t-1$. Dada a equação (V.62), a contribuição média \bar{W} destas duas fontes de crescimento, entre os instantes t e $t-1$, pode ser expressa como uma diferença entre logaritmos sucessivos do custo variável menos uma média ponderada das diferenças entre logaritmos sucessivos dos preços dos insumos de mão-de-obra, materiais e energia, menos o coeficiente ϑ_K , que capta a influência da regulamentação, vezes as diferenças entre logaritmos sucessivos da quantidade do insumo de capital:

$$\bar{W} = (\ln C(t) - \ln C(t-1)) - \sum_{j=L, M, E} \bar{S}_j (\ln w_j(t) - \ln w_j(t-1)) - \bar{\vartheta}_K (\ln K(t) - \ln K(t-1)). \quad (V.70)$$

Aplicando-se o lema da aproximação quadrática, segundo Diewert (1976),

$$\bar{W} = \bar{v}_q(\ln q(t) - \ln q(t-1)) - \bar{v}_T,$$

$$\bar{S}_j = \frac{1}{2}(S_j(t) + S_j(t-1)), \quad j = L, M, E$$

$$v_q = \frac{1}{2}(\bar{v}_q(t) + v_q(t-1)), \quad (V.71)$$

$$\bar{\mathcal{G}}_K = \frac{1}{2}(\mathcal{G}_K(t) + \mathcal{G}_K(t-1))$$

$$e \quad \bar{v}_T = \frac{1}{2}(v_T(t) + v_T(t-1)).$$

A expressão para o \bar{W} é um número índice de Törnqvist, que mede a contribuição média das economias de escala e do progresso tecnológico para o crescimento econômico.

A decomposição de \bar{W} em seus dois componentes fontes de crescimento requer a estimação econométrica do modelo. A expressão paramétrica para o número índice \bar{W} pode ser dada por:

$$\begin{aligned} \bar{W} = & \left\{ \beta_q + \frac{1}{2} \beta_{qq} (\ln q(t) + \ln q(t-1)) + \frac{1}{2} \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} (\ln w_j(t) + \ln w_j(t-1)) + \frac{1}{2} \gamma_{qK} (\ln K(t) + \right. \\ & \left. + \ln K(t-1)) + \frac{1}{2} \rho_{0q} (t + (t-1)) \right\} (\ln q(t) - \ln q(t-1)) + \left\{ \delta_0 + \frac{1}{2} \delta_{00} (t + (t-1)) + \frac{1}{2} \rho_{0q} (\ln q(t) \right. \\ & \left. + \ln q(t-1)) + \frac{1}{2} \sum_{j=L,M,E} \xi_{0j} (\ln w_j(t) + \ln w_j(t-1)) + \frac{1}{2} \xi_{0K} (\ln K(t) + \ln K(t-1)) \right\}. \quad (V.72) \end{aligned}$$

A função de custo variável (V.63), as equações comportamentais (V.64), as derivadas em relação ao produto (V.65), à quantidade de capital (V.66) e ao tempo (V.67) e a expressão

para \bar{W} formam a base para o modelo de progresso tecnológico com fator de aumento proposto a seguir.

V.2.2 - O Fator de Aumento

A mensuração das fontes de crescimento econômico isolando as contribuições de economias de escala e progresso tecnológico são questões importantes em produtividade. Porém, além disso, podemos alocar a taxa de progresso tecnológico em componentes associados unicamente a insumos individuais e estabelecer quais insumos dominam o processo.

A análise destas últimas questões requer a formulação de um modelo de progresso tecnológico via fator de aumento, que pode ser derivado como um caso particular do modelo da subseção anterior. Vamos agora reestruturar o modelo geral de progresso tecnológico em um modelo com fator de aumento e identificar as restrições paramétricas consistentes com o fator de aumento e com cada forma de progresso tecnológico neutro, nos sentidos de Hicks, Harrod, Solow e Leontief.

Vamos adaptar um modelo desenvolvido por Gollop (1974), no qual os insumos e seus preços são definidos em termos de unidades de eficiência. Ou melhor, o número de unidades de eficiência E_j de cada insumo j é medido como o produto do nível de insumo pelo correspondente coeficiente de aumento,

$$E_j(t) = x_j A_j(t), \quad j = L, M, E, \quad (V.73)$$

onde A_j representa uma função de aumento específica que depende do tempo. Como o j -ésimo insumo tem preço w_j e ele contém $A_j(t)$ unidades de eficiência, o preço da j -ésima unidade eficiência é $w_j / A_j(t)$.

A função de custo variável (V.55) pode ser reespecificada como uma função do produto, dos preços das unidades de eficiência dos insumos mão-de-obra, materiais e energia e do estoque de capital:

$$C = C(q, w_L / A_L(t), w_M / A_M(t), w_E / A_E(t), K). \quad (V.74)$$

Vamos assumir que cada função de aumento A_j seja uma função exponencial do tempo:

$$A_j(t) = \exp(\eta_j t), \quad j=L, M, E. \quad (V.75)$$

Como o capital K é um fator fixo e admitindo-se que não houve mudança de tecnologia, então o fator de aumento do capital é zero ($\eta_K = 0$).

Dadas as equações (V.75), a aproximação translog para função de custo variável (V.74), pode ser obtida como:

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \sum_{j=L,M,E} \alpha_j (\ln(w_j / A_j(t))) + \frac{1}{2} \sum_{j=L,M,E} \sum_{t=L,M,E} \alpha_{jt} (\ln(w_j / A_j(t))) (\ln(w_t / A_t(t))) + \beta_q (\ln q) \\ & + \frac{1}{2} \beta_{qq} (\ln q)^2 + \gamma_K (\ln K) + \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} (\ln q) (\ln(w_j / A_j(t))) + \gamma_{KK} (\ln K)^2 \\ & + \gamma_{qK} (\ln q) (\ln K) + \sum_{j=L,M,E} \phi_{Kj} (\ln(w_j / A_j(t))) (\ln K), \end{aligned} \quad (V.76)$$

ou melhor,

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \sum_{j=L,M,E} \alpha_j (\ln w_j) + \frac{1}{2} \sum_{j=L,M,E} \sum_{t=L,M,E} \alpha_{jt} (\ln w_j) (\ln w_t) + \sum_{j=L,M,E} \psi_{0j} t (\ln w_j) + \\ & + \beta_q (\ln q) + \beta_{qq} (\ln q)^2 + \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} (\ln q) (\ln w_j) + \psi_{0q} t (\ln q) + \gamma_K (\ln K) + \frac{1}{2} \gamma_{KK} (\ln K)^2 + \end{aligned}$$

$$+ \psi_{0K} t(\ln K) + \gamma_{qK} (\ln q)(\ln K) + \sum_{j=L,M,E} \phi_{Kj} (\ln w_j)(\ln K) + \psi_0 t + \frac{1}{2} \psi_{00} t^2, \quad (V.77)$$

onde,

$$\psi_{0j} = - \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{\ell} \eta_{\ell}, \quad (V.77a)$$

$$\psi_{0q} = - \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} \eta_j \quad (V.77b)$$

$$\psi_{0K} = - \sum_{j=L,M,E} \phi_{Kj} \eta_j \quad (V.77c)$$

$$\psi_0 = - \sum_{j=L,M,E} \alpha_j \eta_j \quad (V.77d)$$

$$e \quad \psi_{00} = \sum_{j=L,M,E} \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{j\ell} \eta_j \eta_{\ell}. \quad (V.77e)$$

O modelo de produção com progresso tecnológico via fator de aumento tem uma estrutura análoga ao modelo da subseção anterior. As condições necessárias para o equilíbrio do produtor em (V.77) são estabelecidas tomando a derivada parcial logarítmica de (V.77) em relação a cada preço da unidade de eficiência dos insumos de mão-de-obra, materiais e energia:

$$S_j = \alpha_j + \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{j\ell} (\ln w_{\ell}) + \varepsilon_{qj} (\ln q) + \phi_{Kj} (\ln K) - \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{j\ell} \eta_{\ell} t, \quad j = L, M, E. \quad (V.78)$$

A representação paramétrica de W é obtida pela substituição das derivadas parciais logarítmicas da função de custo variável com fator de aumento (V.77), em relação ao produto (v_q), em relação à quantidade de capital (v_K) e em relação ao tempo ($-v_T$), na expressão (V.61), resultando:

$$W = \left(\beta_q + \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} (\ln w_j) + \beta_{qq} (\ln q) + \psi_{0q} t \right) \frac{d \ln q}{dt} - \left(\sum_{j=L,M,E} \psi_{0j} (\ln w_j) + \psi_{0q} (\ln q) + \psi_{0K} (\ln K) + \psi_0 + \psi_{00} t \right). \quad (V.79)$$

Estas relações são válidas somente quando os parâmetros da função de custo variável obedecem às seguintes restrições:

$$\sum_{j=L,M,E} \alpha_j = 1, \quad \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jt} = \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} = \sum_{j=L,M,E} \phi_{Kj} = 0. \quad (V.80)$$

Portanto, podemos observar que não existem restrições nos parâmetros de aumento η_L, η_M, η_K e η_K .

O modelo de progresso tecnológico via fator de aumento (V.74) é uma forma restrita do modelo mais geral (V.55). Deste modo, comparando os parâmetros fixados nos dois modelos, percebemos que os parâmetros do tempo, de primeira e segunda ordem, no modelo geral (V.63) $\delta_0, \delta_{00}, \xi_{0L}, \xi_{0M}, \xi_{0E}, \xi_{0K}$ e ρ_{0q} são substituídos pelos parâmetros $\eta_L, \eta_M, \eta_E, \eta_K$ no modelo de fator de aumento (V.77), conforme as equações (V.77a,b,c,d,e).

A taxa de redução do custo variável pelo progresso tecnológico tem a seguinte forma:

$$-v_T = \psi_0 + \psi_{00} t + \psi_{0q} (\ln q) + \psi_{0K} (\ln K) + \psi_{0j} \sum_{j=L,M,E} \ln w_j. \quad (V.81)$$

A condição

$$\psi_{00} = \sum_{j=L,M,E} \sum_{l=L,M,E} \alpha_{jl} \cdot \eta_j \eta_l$$

é denominada de restrição de primeira ordem para o fator de aumento.

O nosso objetivo agora é separar a contribuição de cada insumo para o progresso tecnológico. Portanto, vamos escrever a equação (4.68) em sua forma original:

$$\begin{aligned}
 -v_T = & - \sum_{j=L,M,E} \alpha_j \eta_j - \sum_{\ell=L,M,E} \sum_{j=L,M,E} \alpha_{j\ell} \eta_j (\ell n w_j) - \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} \eta_j (\ell n q) \\
 & - \sum_{j=L,M,E} \phi_{Kj} \eta_j (\ell n K) - \sum_{j=L,M,E} \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{j\ell} \eta_j \eta_{\ell} t. \quad (V.82)
 \end{aligned}$$

A partir de (V.82), podemos concluir que a contribuição do insumo mão-de-obra para o progresso tecnológico é dada por:

$$-\eta_L \left(\alpha_L + \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jL} (\ell n w_j) + \varepsilon_{qL} (\ell n q) + \phi_{KL} (\ell n K) + \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jL} \eta_{j,t} \right). \quad (V.83a)$$

Do mesmo modo, a contribuição do insumo materiais é expressa por:

$$-\eta_M \left(\alpha_M + \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jM} (\ell n w_j) + \varepsilon_{qM} (\ell n q) + \phi_{KM} (\ell n K) + \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jM} \eta_{j,t} \right) \quad (V.83b)$$

e a contribuição do insumo energia é:

$$-\eta_E \left(\alpha_E + \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jE} (\ell n w_j) + \varepsilon_{qE} (\ell n q) + \phi_{KE} (\ell n K) + \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jE} \eta_{j,t} \right). \quad (V.83c)$$

Observando-se as equações (V.78), torna-se claro que a parte entre parênteses das expressões (V.83a), (V.83b) e (V.83c) são sempre positivas. Deste modo, o sinal associado com o efeito direto é determinado pelo sinal do η_j correspondente. A soma das expressões (V.83a), (V.83b) e (V.83c) é igual a $-v_T$ em (V.82).

Podemos ainda desenvolver este modelo de fator de aumento no sentido de avaliar a estrutura do progresso tecnológico. Os parâmetros críticos são η_L , η_K , η_M e η_E . Se algum η_j for igual a zero, o parâmetro de aumento $A_j(t)$ será igual a 1. Se η_j for maior (menor) que zero, então $A_j(t)$ será maior (menor) que 1 e o progresso tecnológico via fator de aumento do j-ésimo insumo será uma fonte positiva (negativa) de crescimento econômico da firma. Entretanto, restrições sobre os parâmetros η_L , η_K , η_M e η_E identificam quatro estruturas alternativas de progresso tecnológico neutro:

$$\text{i) Neutralidade de Hicks: } \eta_L = \eta_K, \eta_M = \eta_E = 0, \quad (\text{V.84a})$$

$$\text{ii) Neutralidade de Harrod: } \eta_K = \eta_M = \eta_E = 0, \quad (\text{V.84b})$$

$$\text{iii) Neutralidade de Solow: } \eta_L = \eta_M = \eta_E = 0, \quad (\text{V.84c})$$

e

$$\text{iv) Neutralidade de Leontief: } \eta_L = \eta_K = 0. \quad (\text{V.84d})$$

VI. ESPECIFICAÇÃO E ESTIMAÇÃO ECONOMÉTRICA DO MODELO

VI.1. A FORMULAÇÃO DO MODELO DE CUSTO

Tendo em vista as características do setor elétrico na maioria dos países, é sempre conveniente analisar o efeito da regulamentação sobre o progresso tecnológico e sobre os usuários para verificar se a alocação de custos e a distribuição de benefícios estão de acordo com a expectativa desejada.

As várias decisões públicas sobre impostos, subsídios e regulamentação de preços necessitam do conhecimento prévio da estrutura de custo e do comportamento da demanda por suprimento de energia elétrica. De uma forma geral, os estudos sobre o assunto tentam estimar funções de demanda com base em modelos "ad-hoc". Estes modelos comportam-se razoavelmente bem com relação a previsão da demanda, mas possuem duas graves deficiências quando da investigação de resposta a preços e possibilidades de substituição de energia elétrica:

i) O conjunto das variáveis a serem incluídas e a forma funcional utilizadas para estimação do modelo são arbitrárias e, conseqüentemente, as estimativas dos parâmetros devem ser sensíveis aos mesmos.

ii) Geralmente, nenhuma das estruturas de preferências dos usuários de energia elétrica, para os quais os modelos de custo ad-hoc aproximam, são conhecidas, assim como as propriedades da aproximação.

Neste capítulo formulamos um modelo de custo para geração de energia elétrica, estimando-se as produtividades interregionais relativas às quatro empresas do setor

subsidiárias da ELETROBRÁS: ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL. Investiga-se também a estrutura de defasagem na resposta da demanda dos usuários (distribuidoras de eletricidades e indústrias consumidoras), como também da demanda por fatores, desde que seja possível admitir que, no curto prazo, as mesmas não sejam capazes de responder totalmente a variações nos preços em virtude da rigidez institucional e tecnológica, ou da inércia inerente a seu comportamento.

A maioria dos modelos de custo que assumem a substituição entre fatores relacionam as quantidades dos insumos com seus preços e o produto, através de uma função de produção geralmente Cobb-Douglas ou, em alguns casos, CES. Além disso, muitos deles admitem progresso tecnológico Hicks neutro e retornos constantes de escala. A crítica principal a estes estudos é que não existe a priori nenhuma razão para se esperar que a elasticidade de substituição entre fatores seja constante ao longo do tempo.

Basicamente, tanto a forma Cobb-Douglas quanto a CES possuem problemas de agregação, pois nenhuma é capaz de modelar a produção conjunta de forma satisfatória. Conseqüentemente, se a estimação for realizada a nível de produto agregado, então estas funções impõem elasticidades de substituição exatamente constantes, embora a elasticidade de substituição varie conforme a composição dos diferentes microprodutos. Além disso, nenhuma dessas duas funções é suficientemente flexível, capaz de permitir diferenças nas elasticidades de substituição entre pares de insumos, quando existem mais que dois (McFadden, 1963).

Existem modelos regionais que impõem restrições sobre a tecnologia, por postularem que as tecnologias regionais e nacionais sejam as mesmas. As tecnologias regionais podem diferir, tanto da tecnologia nacional quanto entre si, pelas seguintes razões:

i) como cada região possui um conjunto de fatores que não são variáveis no curto prazo, existe, provavelmente, alguma especificidade regional na produção;

ii) a tecnologia de micronível difere entre as regiões se os recursos para desenvolver novas tecnologias não são acessíveis a algumas regiões; e

iii) se cada tecnologia for a mesma em cada indústria, em todas as regiões, então a composição de um produto diferente fornece propriedades diferentes às tecnologias nacional e regional.

Embora estudos regionais tenham fornecido de fato contribuições importantes para o entendimento das características que determinam os níveis de produto e utilização de fatores regionais, os mesmos geralmente utilizam pressupostos restritivos referentes à natureza da tecnologia, os quais podem até invalidar a utilidade da análise. Portanto, é desejável obter equações de demanda por fatores, como mão-de-obra, baseadas em uma tecnologia que não imponha retornos constantes de escala, elasticidade de substituição constante, ou uma forma muito específica da função de produção. Além disso, a tecnologia deve ser variável, de modo a permitir captar os efeitos de mudanças tecnológicas e da utilização de insumos, ao longo tempo, entre as regiões.

Portanto, a análise do progresso tecnológico via estrutura de custo deve utilizar demandas por fatores baseadas em uma tecnologia flexível, que pode variar ao longo do tempo e, em particular, sugerimos uma função de custo translog que é uma estrutura bem mais geral que a maioria utilizada.

Os serviços de produção e transporte de eletricidade são um subconjunto dos insumos para as firmas distribuidoras de eletricidade e outras indústrias. Assumimos que nos setores de geração e transmissão de energia elétrica geralmente existe uma função de produção duas vezes continuamente diferenciável nas quantidades dos insumos, relacionando a quantidade de eletricidade efetivamente produzida (q) aos serviços dos insumos de capital (K), mão-de-obra (L), materiais (M) e energia (E), ao longo do tempo (t). Esta função de produção pode ser escrita como:

$$q = f(x_K, x_L, x_M, x_E, t), \quad (\text{VI.1})$$

com capital sendo o insumo fixo no curto prazo.

A teoria da dualidade implica em que, caso os produtores minimizem os custos com os insumos utilizados na produção, a função de custo variável, que satisfaz às condições de regularidade, contém informação suficiente para descrever completamente a tecnologia de produção. Portanto, alternativamente a especificação de uma forma funcional para produção e resolução do problema de minimização de custo condicionado, torna possível especificar diretamente uma função de custo

$$C = C(q, K, w_L, w_M, w_E, t), \quad (\text{VI.2})$$

onde q é o nível de produção, K é o estoque de capital em serviço, w_L, w_M, w_E são, respectivamente, os preços da mão-de-obra, materiais e energia e t é uma variável de tendência.

A função de custo translog associada é dada por (Spady e Friedlaender, 1978):

$$\begin{aligned}
\ell n C = & \alpha_0 + \sum_{j=L,M,E} \alpha_j (\ell n w_j) + \beta_q (\ell n q) + \gamma_K (\ell n K) + \delta_0 t \\
& + \frac{1}{2} \sum_{j=L,M,E} \sum_{j=L,M,E} \alpha_{jt} (\ell n w_j) (\ell n w_t) + \frac{1}{2} \beta_{qq} (\ell n q)^2 + \frac{1}{2} \gamma_{KK} (\ell n K)^2 + \frac{1}{2} \delta_{00} t^2 \\
& + \sum_{j=L,M,E} \varepsilon_{qj} (\ell n q) (\ell n w_j) + \sum_{j=L,M,E} \phi_{Kj} (\ell n K) (\ell n w_j) + \gamma_{qK} (\ell n q) (\ell n K) \\
& + \sum_{j=L,M,E} \phi_{0j} t (\ell n w_j) + \rho_{0q} t (\ell n q) + \xi_{0K} t (\ell n K), \tag{VI.3}
\end{aligned}$$

onde $\alpha_{jt} = \alpha_{tj}$. Como a minimização de custo implica em que a função de custo seja homogênea de grau um nos preços dos fatores, impõe-se as seguintes restrições aos coeficientes desta função:

$$\begin{aligned}
\sum_j \alpha_j &= 1, & \sum_j \alpha_{jt} &= 0, & \sum_j \varepsilon_{qj} &= 0, & \tag{VI.4} \\
\sum_j \phi_{Kj} &= 0, & \sum_j \phi_{0j} &= 0, & j, \ell &= L, M, E.
\end{aligned}$$

A identificação do efeito da variação tecnológica temporal para um fator de aumento geral (sem a hipótese da neutralidade de Hicks) pode ser obtida reescrevendo a função de custo (VI.3) como:

$$\begin{aligned}
\ln C(q, K, w_L, w_M, w_E, \tau_t) &= \alpha_0 + \sum_j \alpha_j (\ln w_j) + \beta_q (\ln q) + \gamma_K (\ln K) \\
&+ \frac{1}{2} \sum_j \sum_t \alpha_{jt} (\ln w_j) (\ln w_t) + \frac{1}{2} \beta_{qq} (\ln q)^2 \\
&+ \frac{1}{2} \gamma_{KK} (\ln K)^2 + T(\tau_t, q, K, w_L, w_M, w_E),
\end{aligned} \tag{VI.5}$$

onde τ_t é uma variável de tendência que representa o estado da tecnologia no ano t e

$T(\tau_t, q, K, w_L, w_M, w_E)$ é uma função da forma:

$$T(\tau_t, q, K, w_L, w_M, w_E) = \tau_t \left(\delta_0 + \frac{1}{2} \delta_{00} \tau_t + \sum_j \phi_{0j} (\ln w_j) + \rho_{0q} (\ln q) + \xi_{0K} (\ln K) \right), \tag{VI.6}$$

com

$$\sum_j \phi_{0j} = 0 \text{ e } j = L, M, E.$$

Analisando-se a expressão (VI.5) e seguindo a metodologia de Sato (1965), podemos afirmar que o progresso tecnológico é Hicks neutro se $\phi_{0j} = 0$, $j = L, M, E$ e $\xi_{0K} = 0$.

Além disso, o progresso tecnológico é poupador, neutro ou intensivo em um insumo $j = L, M, E$ ou capital K , se ϕ_{0j} , $j = L, M, E$ ou ξ_{0K} for menor, igual ou maior que zero, respectivamente.

Se o nível de produto é pré-determinado, como no caso da venda energia elétrica para as empresas distribuidoras e outras indústrias, cujos contratos são de longo prazo, as empresas geradoras produzem ao custo mínimo, utilizando os insumos que são adquiridos com seus preços a nível de mercado. Como resultado, as funções de demanda por insumos que

minimizam os custos podem ser explicitadas analiticamente. No caso específico da função translog (VI.3), obtém-se as participações dos insumos no custo de produção variável, ao longo do tempo, dadas por

$$S_{jt} = \alpha_j + \sum_{\ell=L,M,E} \alpha_{j\ell} (\ln w_{\ell t}) + \varepsilon_{qj} (\ln q) + \phi_{Kj} (\ln K) + \phi_{0j} t, \quad j, L, M, E, \quad (\text{VI.7})$$

com
$$S_{jt} = \frac{x_{jt} w_{jt}}{C_t}, \quad (\text{VI.8})$$

onde C_t é o custo variável de produção no instante t .

As restrições de simetria $\alpha_{j\ell} = \alpha_{\ell j}$, implicam em que as matrizes de elasticidades de substituição $[\sigma_{j\ell}]$ sejam simétricas e as funções de demanda por insumos sejam integráveis sobre o domínio relevante (Samuelson, 1950).

As elasticidades-preço parciais das demandas por insumos $\varepsilon_{j\ell}$ podem ser escritas como

$$\varepsilon_{j\ell} = S_j \sigma_{j\ell}, \quad j, \ell = L, M, E. \quad (\text{VI.9})$$

A expressão (VI.9) representa que, ao longo de uma isoquanta ($q = \text{constante}$), as elasticidades-preço das demandas por insumos não incluem o efeito de variações na demanda pelo produto final quando existem variações nos preços de venda de energia elétrica.

Contudo, as elasticidades-preço da demanda da marshalliana (ordinária) (Allen, 1938), representadas por $F_{j\ell}$, que incluem tanto o efeito de substituição quanto o efeito das variações na demanda pelos produtos finais, podem ser determinadas por:

$$F_{jt} = \frac{d \ln x_j}{d \ln w_t} = S_j (\sigma_{jt} + \eta), \quad j, \ell = L, M, E, \quad (\text{VI.10})$$

onde

$$\eta = \frac{dq}{dp} \cdot \frac{p}{q} \quad (\text{VI.11})$$

é a elasticidade-preço da demanda por energia eléctrica.

VI.2. ESPECIFICAÇÃO ESTOCÁSTICA DO MODELO DE CRESCIMENTO

VI.2.1. A Construção do Modelo

Uma implementação empírica necessita que o modelo desenvolvido no capítulo anterior seja inserido em uma estrutura estocástica. Considerando-se apenas um produto q (quantidade de electricidade), os insumos variáveis mão-de-obra L , materiais M e energia E e o insumo fixo de capital K , a partir das equações (V.50), (V.51), (V.52), (V.53) e (V.54) temos:

$$S_{Lt} = \alpha_L + \alpha_{LL} \ln w_{Lt} + \alpha_{LM} \ln w_{Mt} + \alpha_{LE} \ln w_{Et} + \epsilon_{qL} \ln q_t + \phi_{KL} \ln K_t + \xi_{0L} t + v_{Lt}, \quad (\text{VI.12})$$

$$S_{Mt} = \alpha_M + \alpha_{ML} \ln w_{Lt} + \alpha_{MM} \ln w_{Mt} + \alpha_{ME} \ln w_{Et} + \epsilon_{qM} \ln q_t + \phi_{KM} \ln K_t + \xi_{0M} t + v_{Mt}, \quad (\text{VI.13})$$

$$S_{Lt} + S_{Mt} + S_{Et} = 1, \quad (\text{VI.14.})$$

$$V_{qt} = \beta_q + \beta_{qq} \ln w_t + \varepsilon_{qL} \ln w_{Lt} + \varepsilon_{qM} \ln w_{Mt} + \varepsilon_{qE} \ln w_{Et} + \gamma_{qK} \ln K_t + \rho_{0q} t + v_{qt}, \quad (\text{VI.15})$$

$$\text{e } g_{Kt} = \gamma_K + \gamma_{KK} \ln K_t + \gamma_{qK} \ln q_t + \phi_{KL} \ln w_L + \phi_{KM} \ln w_{Mt} + \phi_{KE} \ln w_{Et} + \xi_{0K} t + v_{Kt}, \quad (\text{VI.16})$$

onde,

$$\alpha_L + \alpha_M + \alpha_E = 1, \quad \alpha_{LL} + \alpha_{LM} + \alpha_{LE} = 0,$$

$$\alpha_{ML} + \alpha_{MM} + \alpha_{ME} = 0, \quad \alpha_{EL} + \alpha_{EM} + \alpha_{EE} = 0,$$

$$\varepsilon_{qL} + \varepsilon_{qM} + \varepsilon_{qE} = 0, \quad \phi_{KL} + \phi_{KM} + \phi_{KE} = 0,$$

$$\xi_{0L} + \xi_{0M} + \xi_{0E} = 0, \quad \alpha_{j\ell} = \alpha_{j\ell}, \quad j, \ell = L, M, E.$$

De agora em diante, chamaremos o modelo expresso pelas equações (VI.12) a (VI.16) de modelo básico, para distingui-lo das formas alternativas analisadas ao longo deste capítulo.

Neste modelo nota-se a ausência da equação da participação do insumo energia no custo variável. De fato, como a soma das participações dos insumos no custo é sempre unitária, a soma das perturbações aleatórias v_{Lt} , v_{Mt} e v_{Et} é sempre nula para cada observação temporal das empresas geradoras de eletricidade aqui estudadas. Isto implica que a matriz de covariância das perturbações v_{Lt} , v_{Mt} e v_{Et} seja singular e não-diagonal, o que resulta que a função de verossimilhança seja não definida. Este problema é contornado trabalhando-se apenas com duas das três equações das participações dos insumos e incluindo a identidade (VI.14) no modelo básico.

Dois pontos adicionais devem ser levados em consideração:

i) A correlação serial das perturbações: Por causa de possíveis variações cíclicas potenciais nas participações dos insumos nos custos de produção, os dados de séries temporais usados neste trabalho, apresentam provavelmente correlações seriais.

ii) A defasagem potencial na resposta das empresas a variações nos preços dos insumos: O comportamento defasado no ajustamento das empresas pode ser causado por várias razões, tais como, obrigações contraídas com condições definidas a fortiori, informação imperfeita, capital comprometido com um modo específico de equipamento e a cultura da empresa. Para se obter estimativas consistentes dos parâmetros do modelo, no equilíbrio de longo prazo, esta característica dinâmica do ajustamento defasado deve ser levada em consideração (Nadiri e Rosen, 1973).

Uma outra característica importante, de cunho mais tecnológico, é a participação da geração térmica na produção total de eletricidade de cada empresa. No modelo estimado neste trabalho, incluímos esta variável, porque, a depender do seu valor, a estrutura das participações dos insumos no custo muda completamente.

Observou-se também que a partir de 1990 houve uma mudança na política de pessoal das empresas, notando-se uma redução do número de empregados, invertendo uma tendência que se mantinha de 1978 a 1989, o que foi levado em consideração através de uma variável dummy(D_L).

Finalmente, levando-se em consideração apenas as características de ajustamento defasado, o aspecto tecnológico da geração térmica, na mudança da política de pessoal a partir de 1990 e incluindo variáveis para captar atributos fixos de cada região de atuação das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL, propomos o seguinte modelo:

$$S_{Lt} = \alpha_L + \alpha_{LL} \ln w_{Lt} + \alpha_{LD} D_L \ln w_{Lt} + \alpha_{LM} \ln w_{Mt} + \alpha_{LE} \ln w_{Et} \\ + \varepsilon_{qL} \ln q_t + \phi_{KL} \ln K_t + \xi_{0L} t + \xi_{TL} TE + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \alpha_4 D_4 + \alpha S_{L,t-1} + v_{Lt}, \quad (VI.17)$$

$$S_{Mt} = \alpha_M + \alpha_{ML} \ln w_{Lt} + \alpha_{MD} D_L \ln w_{Lt} + \alpha_{MM} \ln w_{Mt} + \alpha_{ME} \ln w_{Et} \\ + \varepsilon_{qM} \ln w_t + \phi_{KM} \ln K_t + \xi_{0M} t + \xi_{TM} TE + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 D_4 + \beta S_{M,t-1} + v_{Mt}, \quad (VI.18)$$

$$S_{Lt} + S_{Mt} + S_{Et} = 1, \quad (VI.19)$$

$$V_{qt} = \beta_q + \beta_{qq} \ln q_t + \varepsilon_{qL} \ln w_{Lt} + \varepsilon_{qD} D_L \ln w_{Lt} + \varepsilon_{qM} \ln w_{Mt} + \varepsilon_{qE} \ln w_{Et} \\ + \gamma_{qK} \ln K_t + \rho_{0q} t + \rho_{Tq} TE + \gamma_2 D_2 + \gamma_3 D_3 + \gamma_4 D_4 + \gamma V_{q,t-1} + v_{qt} \quad (VI.20)$$

$$\begin{aligned}
e \quad g_{Kt} = & \gamma_K + \gamma_{KK} \ln K_t + \gamma_{qK} \ln q_t + \phi_{KL} \ln w_{L_t} + \phi_{KD} D_L \ln w_{L_t} + \phi_{KM} \ln w_{M_t} \\
& + \phi_{KE} \ln w_{E_t} + \xi_{OK} t + \xi_{TK} TE + \delta_2 D_2 + \delta_3 D_3 + \delta_4 D_4 + \delta g_{K,t-1} + v_{Kt}, \quad (VI.21)
\end{aligned}$$

onde D_L é uma variável dummy que capta a mudança na política de pessoal, TE é a participação da geração térmica, D_2, D_3 e D_4 são as dummies regionais, e valem todas as restrições anteriores sobre os parâmetros da função de custo.

VI.2.2. A Construção dos Dados

Os dados necessários para estimação do modelo de crescimento do setor de geração de energia elétrica no Brasil foram obtidos basicamente a partir dos relatórios anuais e balanços anuais das empresas regionais subsidiárias da ELETROBRAS: ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL. Além disso, consultamos vários relatórios internos da própria ELETROBRÁS e tivemos inúmeras entrevistas com vários técnicos do setor. Apesar de muito esforço, conseguimos recuperar dados anuais apenas de 1978 a 1992.

As variáveis utilizadas no modelo foram assim construídas:

- Custo variável C : Soma dos valores nominais dos gastos com mão-de-obra, materiais intermediários e energia (combustível e eletricidade) deflacionados pelo IGP-DI.

- Participações dos insumos S_L, S_M e S_E : Valores nominais das despesas com mão-de-obra, materiais intermediários e energia deflacionadas pelo IGP-DI e divididas pelo custo variável C de cada empresa.
- Preço do insumo mão-de-obra w_L : Despesa com mão-de-obra deflacionada pelo IGP-DI e dividida pelo número de empregados de cada empresa.
- Preço do insumo material w_M : Índice de preço de material elétrico publicado pela revista Conjuntura Econômica/FGV dividido pelo IGP-DI.
- Preço do insumo energia w_E : Resultou da agregação pelo índice de Divisia dos preços de combustível (óleo diesel e óleo combustível) e energia elétrica deflacionados pelo IGP-DI e publicados no Balanço Energético Nacional/MME.
- Preço de venda de energia elétrica p_E : Resultou de numa média geométrica ponderada pelas participações na receita total das vendas às empresas distribuidoras de energia elétrica e as vendas diretas às grandes indústrias.
- Quantidade de energia elétrica vendida q : Resultou da divisão das receitas totais das empresas (deflacionadas pelo IGP-DI) pelos preços de venda de energia elétrica p_E . No caso específico de FURNAS, adicionou-se uma parcela de energia vendida equivalente

a uma receita de transporte, obtida pela divisão desta receita (deflacionada pelo IGP-DI) pelo preço de venda da energia elétrica correspondente.

- **Estoque de capital K:** Investimento remunerável autorizado pelo DNAEE, para cada empresa, e deflacionado pelo IGP-DI.
- **Participação da geração térmica TE:** Produção de origem térmica dividida pela produção total de energia elétrica para cada empresa.
- **Variável de tempo para captar o progresso tecnológico t:** Adotou-se $t = 1$ para 1978, $t = 2$ para 1979 e, assim por diante, até $t = 15$ para 1992.
- **Variável dummy D_L :** Adotou-se $D_L = 0$ no período 1978/1989 e $D_L = 1$ no período 1990/1992, para captar a nova orientação quanto a política de pessoal a partir de 1990.
- **Variáveis dummies regionais D_2, D_3 e D_4 :** Adotou-se D_2 para a CHESF, D_3 para FURNAS e D_4 para ELETROSUL.
- **Taxa de juros real competitiva r:** Taxa de juros anual composta a partir de taxas de juros reais trimestrais fornecidas pelo IPEA / RJ.

VI.3. ESTIMAÇÃO ECONOMÉTRICA

VI.3.1. A Escolha do Método

Os modelos de custo translog resultam em sistemas de equações simultâneas, portanto, os métodos de estimação de equação única conduzem a estimativas consistentes, porém assintoticamente não-eficientes. Esta falta de eficiência assintótica é decorrente da não consideração da correlação das perturbações estocásticas entre as equações.

Este problema é equivalente à situação na qual uma equação de regressão, pertencente a um conjunto de regressões aparentemente não relacionadas, é estimada pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Caso não seja considerada a correlação entre as perturbações aleatórias das diferentes equações, nem toda informação disponível sobre o sistema de equações está sendo utilizada e, portanto, não é possível alcançar a eficiência assintótica. Esta deficiência é superada estimando-se as equações do modelo simultaneamente através dos "métodos sistêmicos", como mínimos quadrados de três estágios e máxima verossimilhança de informação completa.

A estimação de mínimo quadrados de três estágios é o método sistêmico mais simples, o qual envolve uma aplicação da estimação generalizada de Aitken para o sistema de equações estruturais (Theil, 1971). Quando existem identidades no modelo, as mesmas são omitidas do sistema.

Os resíduos das equações de mínimos quadrados estimadas por três estágios podem ser utilizados para obtenção de novas estimativas das variâncias e covariâncias das perturbações estruturais. Esta nova matriz de variância e covariância das perturbações pode substituir as estimativas anteriores no cálculo dos mínimos quadrados de três estágios, conduzindo a

novas estimativas dos coeficientes estruturais estimados. O processo é repetido até que não ocorra mais variação nos coeficientes estruturais estimados. Desse modo, obtemos o "método de mínimos quadrados de três estágios iterativo", que possui as mesmas propriedades assintóticas das estimativas de mínimos quadrados de três estágios ordinários.

A estimação de máxima verossimilhança de informação completa (FIML) envolve a aplicação do princípio da máxima verossimilhança, de forma simultânea, a todas as equações estocásticas independentes do sistema. Assim, considere o sistema geral completo.

$$\tilde{B} y_t + \tilde{\Gamma} x_t = \varepsilon_t \quad (\text{VI.22})$$

e a matriz de variância-covariância correspondente

$$\tilde{\Phi} = E(\varepsilon_t \varepsilon_t'), \quad (\text{VI.23})$$

onde

$$y_t = \begin{bmatrix} y_{1t} \\ \vdots \\ y_{Mt} \end{bmatrix}$$

é o vetor das variáveis endógenas,

$$x_t = \begin{bmatrix} x_{1t} \\ \vdots \\ x_{Nt} \end{bmatrix}$$

é o vetor das variáveis exógenas

$$e \quad \varepsilon_t = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{Mt} \end{bmatrix}$$

é o vetor das perturbações estocásticas, com

$$\underset{\sim}{B} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \cdots & \beta_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{M1} & \cdots & \beta_{MM} \end{bmatrix}, \quad \underset{\sim}{\Gamma} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \cdots & \gamma_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \cdots & \gamma_{NN} \end{bmatrix},$$

$$\varepsilon_{kt} \sim N(0, \delta_{kk}), \quad k = 1, \dots, M.$$

$$e \quad E(\varepsilon_{kt} \varepsilon_{ks}) = 0, \quad t, s = 1, \dots, T, \quad t \neq s.$$

Portanto, cada perturbação estocástica satisfaz os pressupostos da regressão linear clássica. Além disso, não é eliminada a possibilidade das perturbações estarem correlacionadas entre as equações, ou melhor,

$$E(\varepsilon_{kt} \varepsilon_{\ell t}) = \delta_{k\ell}, \quad k, \ell = 1, \dots, M.$$

Em notação matricial estes pressupostos tornam-se:

$$\varepsilon_t \sim N(0, \underset{\sim}{\Phi}), \quad (VI.24)$$

$$e \quad E(\varepsilon_t \varepsilon'_s) = 0, \quad t \neq s,$$

onde

$$\underset{\sim}{\Phi} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \cdots & \delta_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{M1} & \cdots & \delta_{MM} \end{bmatrix}.$$

A matriz $\underset{\sim}{\Phi}$ é denominada matriz de variância-covariância das perturbações estruturais. Caso haja alguma identidade no modelo, $\underset{\sim}{\Phi}$ refere-se apenas às equações que não são identidades, com sua dimensão sendo de forma apropriada.

A função de distribuição conjunta dos elementos de ε é definida como:

$$f(\varepsilon_t) = (2\pi)^{-(M/2)} \left| \underset{\sim}{\Phi} \right|^{-(1/2)} e^{-(\varepsilon_t' \underset{\sim}{\Phi}^{-1} \varepsilon_t)/2}. \quad (\text{VI.25})$$

A transformação da probabilidade do vetor ε não observável para a probabilidade do vetor y observável é dada por:

$$f(y_t|x_t) = f(\varepsilon_t) \left| \frac{\partial \varepsilon_t}{\partial y_t} \right| = f(\varepsilon_t) \left| \frac{\partial (\underset{\sim}{B} y_t + \underset{\sim}{\Gamma} x_t)}{\partial y_t} \right| = f(\varepsilon_t) \left| \underset{\sim}{B} \right|, \quad (\text{VI.26})$$

onde $\left| \underset{\sim}{B} \right|$ é o jacobiano, fornecido pelo valor absoluto do determinante da matriz $\underset{\sim}{B}$. A função de verossimilhança logarítmica para as T observações sobre y_t , condicionada aos valores de x_t , é dada por;

$$\mathcal{L} = -\frac{M\Gamma}{2} \ln(2\pi) - \frac{\Gamma}{2} \ln|\phi| + \Gamma \ln|B| - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (B y_t + \Gamma x_t) \Phi(B y_t + \Gamma x_t) \quad (\text{VI.27})$$

Os estimadores de máxima verossimilhança de B, Γ e Φ são obtidos pela maximização de (VI.27) em relação aos parâmetros considerados.

Estes estimadores de FIML são consistentes, assintoticamente eficientes, com distribuição assintótica normal, o que implica em possuírem as mesmas propriedades assintóticas dos estimadores de mínimos quadrados de três estágios.

Os estimadores de máxima verossimilhança de informação completa (FIML) são equivalentes aos "estimadores de mínima variância residual generalizada" obtidos pela minimização do determinante da matriz de variância-covariância dos resíduos da forma reduzida (Goldberger, 1964).

Neste trabalho, estimamos o modelo de custo translog para geração elétrica regional no Brasil através do método de mínimos quadrados de três estágios iterativos. Como este tipo de estimação opera sobre o sistema de equações como um todo, o modelo deve estar completo, ou seja, tantas equações quantas forem as variáveis endógenas. Na operacionalização do processo de estimação utilizamos o "pacote" computacional "EViews" da Quantitative Micro Software-QMS, Irvine, Califórnia, 1994.

O "output" do programa computacional EViews para estimação pelo método dos mínimos quadrados de três estágios iterativos fornece as estatísticas t para cada parâmetro estimado e Durbin-Watson para os resíduos de cada equação do modelo. Convém salientar que a interpretação destas estatísticas diferem um pouco em relação a estimação pelo método dos mínimos quadrados para equação única.

No caso das estimativas dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados de três estágios, elas são assintoticamente mais eficientes que as dos mínimos quadrados de dois estágios e dos mínimos quadrados ordinários, porque levam em consideração o fato de que as equações estruturais podem ter distúrbios correlacionados e usam a matriz de variância e covariância dos distúrbios entre as equações na estrutura do modelo de regressão com distúrbios aparentemente não correlacionados.

A matriz de variância e covariância assintótica dos estimadores de mínimos quadrados de três estágios é idêntica a dos estimadores de máxima verossimilhança de informação completa(FIML). Como para grandes amostras a matriz de variância e covariância dos distúrbios do FIML tem valores iguais aos limites de Cramér-Rao, então os estimadores de mínimos quadrados de três estágios são também assintoticamente eficientes.

As observações acima resultam em que as variâncias assintóticas das estimativas dos parâmetros obtidas pelo método dos mínimos quadrados de três estágios são menores que as dos métodos mínimos quadrados de dois estágios e ordinários, o que implica que as estatísticas t deverão estar superestimadas nos resultados da estimação do modelo de custo tipo translog.

Uma outra questão que deve ser chamada a atenção é interpretação das estatísticas R^2 e Durbin-Watson que, devido ao processo de estimação simultânea das equações do modelo, seus valores devem ser um pouco diferentes daqueles obtidos pelos métodos de estimação que não consideram a simultaneidade.

VI.3.2 - Resultados da Estimação

A construção da variável endógena V_q do modelo de custo depende do mark-up m que é obtido a partir da estimação da demanda por energia elétrica. Adotando-se a forma funcional dada pela equação (V.31) e utilizando-se o método dos mínimos quadrados, chegamos aos seguintes resultados:

$$\ln q_{Et} = 9,4492 - 1,3913 \ln P_{Et} + 1,0487 D_2 + 2,0894 D_3 + 0,8981 D_4 + 0,1210 t + \varepsilon_{Et}, \quad (VI.28)$$

(0,6221) (0,3559) (0,2778) (0,2428) (0,2375) (0,0210)

$$R^2 = 0,7997$$

$$D-W = 1,7563$$

$$\bar{R}^2 = 0,7812$$

$$F = 43,1277,$$

onde q_{Et} é a quantidade de eletricidade vendida para cada empresa, P_{Et} é o correspondente preço de venda de eletricidade e D_2 , D_3 e D_4 são as respectivas variáveis dummies regionais.

Analisando-se as estatísticas t dos parâmetros, verificamos que todos passam no teste com 5% de significância e não existem grandes problemas nos resíduos, tendo em vista que o valor da estatística Durbin-Watson está dentro da região aceitável.

Os mark-up's correspondentes, como já foi visto, são dados por

$$m_{Et} = 0,71875 \cdot P_{Et}, \quad (VI.29)$$

de modo que V_q é expresso por

$$V_{qt} = 0,28125 \frac{P_{Et} \cdot q_{Et}}{C_t}, \quad (VI.30)$$

onde C_t é o custo variável no instante t .

Utilizando-se o método de mínimos quadrados de três estágios iterativo, através do pacote econométrico EVIEWS, e trabalhando-se com dados de seções transversais das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL ao longo do período 1978/1992, realizamos várias estimações dos parâmetros das equações (VI.17), (VI.18), (VI.20) e (VI.21), optando-se pela alternativa:

$$S_{Li} = \alpha_L + \alpha_{LL} \ln w_{Li} + \alpha_{LD} D_L \ln w_{Li} + \alpha_{LM} \ln w_{Mi} + \alpha_{LE} \ln w_{Ei} + \varepsilon_{qL} \ln q_i + \phi_{KL} \ln K_i \\ + \xi_{0L} t + \xi_{TL} TE_i + \alpha_2 D_2 + \alpha_3 D_3 + \alpha_4 D_4 + v_{Li}, \quad (\text{VI.17a})$$

$$S_{Mi} = \alpha_M + \alpha_{ML} \ln w_{Li} + \alpha_{MD} D_L \ln w_{Li} + \alpha_{MM} \ln w_{Mi} + \alpha_{ME} \ln w_{Ei} + \varepsilon_{qM} \ln q_i + \phi_{KM} \ln K_i \\ + \xi_{0M} t + \xi_{TM} TE_i + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 D_4 + \beta S_{M,i-1} + v_{Mi}, \quad (\text{VI.18a})$$

$$S_{Li} + S_{Mi} + S_{Ei} = 1, \quad (\text{VI.19})$$

$$V_{qi} = \beta_q + \beta_{qq} \ln q_i + \varepsilon_{qL} \ln w_{Li} + \varepsilon_{qD} D_L \ln w_{Li} + \varepsilon_{qM} \ln w_{Mi} + \varepsilon_{qE} \ln w_{Ei} + \gamma_{qK} \ln K_i \\ + \xi_{0q} t + \xi_{Tq} TE_i + \gamma_2 D_2 + \gamma_3 D_3 + \gamma_4 D_4 + \gamma V_{q,i-1} + v_{qi} \quad (\text{VI.20a})$$

$$e \quad \mathcal{G}_{Ki} = \gamma_K + \gamma_{KK} \ln K_i + \gamma_{qK} \ln q_i + \phi_{KL} \ln w_{Li} + \phi_{KD} D_L \ln w_{Li} + \phi_{KM} \ln w_{Mi} + \phi_{KE} \ln w_{Ei} \\ + \xi_{0K} t + \xi_{TK} TE_i + \delta_2 D_2 + \delta_3 D_3 + \delta_4 D_4 + \alpha_J DJ + \delta \mathcal{G}_{K,i-1} + v_{Ki}, \quad (\text{VI.21a})$$

onde DJ é uma dummy que representa o efeito sobre a taxa de juros quando a política monetária é apertada ou folgada.

Desse modo, o sistema formado pelas equações (VI.17a), (VI.18a), (VI.20a) e (VI.21) possui como variáveis endógenas S_{Li} , S_{Mi} , V_{qi} e \mathcal{G}_{Ki} e como variáveis exógenas $\ln w_{Li}$, $\ln w_{Ei}$, $\ln q_i$, $\ln K_i$, t , TE_i , D_2 , D_3 , D_4 , S_{Li} , S_{Mi} , $V_{q,i-1}$, DJ , $\mathcal{G}_{K,i-1}$.

Quanto à questão da identificação, podemos verificar facilmente que todas as quatro equações do sistema satisfazem à condição de ordem, na qual o número de variáveis exógenas excluídas da equação deve ser maior ou igual ao número de variáveis endógenas incluídas na mesma menos um.

Adotando-se a hipótese de que $\beta_t = 0$ na equação (V.49) (testada a partir dos dados originais), obtivemos os seguintes resultados:

TABELA VI.1 - ESTIMATIVAS DE MÍNIMOS QUADRADOS DE TRÊS ESTADOS ITERATIVOS DOS PARÂMETROS DO MODELO BÁSICO DE CUSTO

PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	ESTATÍSTICA
α_L	1,78656	0,52296	3,41626
α_M	0,20884	0,05653	3,69453
α_{LL}	0,42006	0,07538	5,57225
α_{LM}	0,02150	0,01065	2,01806
α_{MM}	-0,00844	0,01349	-0,62535
α_{LD}	0,00424	0,02279	0,18608
α_{MD}	0,00285	0,00216	1,32039
ε_{qL}	-0,18340	0,05270	-3,48002
ε_{qM}	0,00185	0,00563	0,32864
ε_{qD}	0,14268	0,04416	3,23123
ϕ_{KL}	-0,00862	0,06181	-0,13943
ϕ_{KM}	-0,01170	0,00600	-1,94853
ϕ_{KD}	-0,16175	0,35318	-0,45797
ξ_{OL}	-0,05360	-0,01060	-5,05665
ξ_{OM}	-0,00816	0,00124	-6,58042
ξ_{Oq}	-0,13508	0,02219	-6,08744
ξ_{OK}	-0,18098	0,15094	-1,19903
ξ_{TL}	-0,64965	0,14094	-4,60934
ξ_{TM}	-0,05666	0,01469	-3,85669

ξ_{Tq}	-0,82239	0,28821	-2,85341
ξ_{TK}	-1,99872	2,21595	-0,90197
β_q	-1,55827	0,94671	-1,64599
β_{qq}	0,17625	0,11638	1,51439
γ_K	6,41623	7,74693	0,82823
γ_{KK}	-0,64473	0,62344	-1,03414
γ_{qK}	0,17518	0,11785	1,48654
α_2	0,66331	0,10507	6,31331
β_2	0,00284	0,01196	0,23779
γ_2	0,19689	0,17911	1,09932
δ_2	0,63602	1,14735	0,55434
α_3	-0,03324	0,11434	-0,29069
β_3	-0,03536	0,01069	-3,30827
γ_3	-0,14486	0,24303	-0,59607
δ_3	1,01528	1,12720	0,90071
α_4	-0,08151	0,09829	-0,82928
β_4	-0,02492	0,00897	-2,77948
γ_4	-0,13508	0,02219	-6,08744
δ_4	0,62433	1,02430	0,60951
β	-0,15861	0,10511	-1,50901
γ	0,22884	0,07139	3,20538
δ	0,02404	0,12223	0,19669
α_J	3,08049	0,60646	5,07944

As estimativas dos demais parâmetros podem ser obtidas utilizando-se as condições:

$$\alpha_L + \alpha_M + \alpha_E = 1 \; , \qquad \alpha_{LD} + \alpha_{MD} + \alpha_{ED} = 0,$$

$$\alpha_{LL} + \alpha_{LM} + \alpha_{LE} = 0 \; , \qquad \varepsilon_{qL} + \varepsilon_{qM} + \varepsilon_{qE} = 0,$$

$$\alpha_{ML} + \alpha_{MM} + \alpha_{ME} = 0 \; , \qquad \phi_{KL} + \phi_{KM} + \phi_{KE} = 0,$$

$\alpha_{EL} + \alpha_{EM} + \alpha_{EE} = 0 \text{ ,} \qquad \xi_{0L} + \xi_{0M} + \xi_{0E} = 0,$

$\alpha_{j\ell} = \alpha_{ij} \text{ ,} \qquad j, \ell = L, M, E.$

Observando-se os resultados contidos na Tabela VI.1 percebemos que dos 42 parâmetros estimados com as 56 observações (14 graus de liberdade) 17 passam no teste t com nível de significância de 5% ($t_c = 2,145$), 19 passam com nível de significância de 10% ($t_c = 1,761$) e 22 passam com nível de significância de 20% ($t_c = 1,345$). Assim, levando-se em consideração o pequeno número de graus de liberdade (14) e o número de parâmetros (42), boa parte dos parâmetros demonstrou ser estatisticamente diferente de zero.

Analisando-se as equações individualmente temos os seguintes resultados:

TABELA VI.2 - ESTIMAÇÃO DE M.Q. DE TRÊS ESTÁGIOS ITERATIVOS - ANÁLISE DAS ESTATÍSTICAS t DOS PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES DO MODELO BÁSICO

EQUAÇÃO	$ t > 2,145$	$ t > 1,761$	$ t > 1,345$
S_L	6	7	7
S_M	5	7	8
V_q	5	5	9
\mathcal{G}_K	1	2	3

Nota-se que existe um certo equilíbrio quanto a qualidade dos parâmetros das equações de S_L , S_M e V_q , enquanto que dos parâmetros da equação de \mathcal{G}_K apenas 3 (três) têm significância estatística, que é exatamente a equação que leva em consideração a restrição da regulamentação do setor sobre a taxa de retorno do capital.

Quanto a qualidade geral dos resultados, destacamos que as estatísticas Durbin - Watson dos resíduos estão dentro da região aceitável, mesmo para equação da variável endógena g_K cuja variância dos resíduos é bastante alta e o R^2 ajustado baixo.

TABELA VI.3 - ESTATÍSTICAS DAS ESTIMATIVAS DE M.Q. DE TRÊS ESTÁGIOS ITERATIVOS DAS EQUAÇÕES DO MODELO BÁSICO

EQUAÇÃO	R^2	R^2 AJUSTADO	ESTATÍSTICA D-W
S_L	0,70295	0,63694	1,69901
S_M	0,71839	0,64798	2,09763
Vq	0,82106	0,77632	1,85404
g_K	0,50018	0,36070	1,67365

Os fatores de aumento para os insumos variáveis mão-de-obra (η_L), materiais elétricos (η_M) e energia (η_E) podem ser calculados a partir dos parâmetros das equações estimadas (17.a), (18.a), (20.a) e (21.a), através das seguintes relações:

$$\alpha_{LL}\eta_L + \alpha_{LM}\eta_M + \alpha_{LE}\eta_E = -\xi_{OL}, \quad (VI.22)$$

$$\alpha_{ML}\eta_L + \alpha_{MM}\eta_M + \alpha_{ME}\eta_E = -\xi_{OM} \quad (VI.23)$$

$$e \quad \alpha_L\eta_L + \alpha_M\eta_M + \alpha_E\eta_E = -\beta_O, \quad (VI.24)$$

onde β_O é um parâmetro da função de custo translog, que demonstrou não ser estatisticamente diferente de zero nas estimativas preliminares do modelo de custo. Assim, os valores obtidos para η_L , η_M e η_E foram, respectivamente, - 0,00458 , - 0,72959 e - 0,16129.

Não foi possível incluir a função de custo translog no modelo pelo fato da mesma possuir cerca de 50 parâmetros, enquanto que a amostra tem apenas 56 observações, o que implica em poucos graus de liberdade. Isto resultou na determinação indireta dos parâmetros η_L , η_M e η_E , não podendo ser realizada a comparação estatística formal entre os mesmos para verificar se houve progresso tecnológico neutro.

Aparentemente, $\eta_M \neq \eta_E \neq 0$, o que descartaria a possibilidade de progresso tecnológico Hicks neutro. Como consideramos que a técnica de produção não sofreu nenhuma mudança no período 1978/1992 e o capital é o fator fixo, tem-se que $\eta_K = 0$. Entretanto, como $\eta_M \neq \eta_E \neq 0$, temos evidência de que o progresso tecnológico também não foi Harrold neutro.

Quanto a neutralidade de Solow, o valor de η_L é muito próximo de zero, mas como $\eta_M \neq \eta_E \neq 0$, também podemos eliminar esta alternativa. Finalmente, existe possibilidade do progresso tecnológico ter sido neutro no sentido de Leontief porque a única exigência neste caso é que $\eta_L = \eta_K = 0$, tendo em vista que por pressuposto $\eta_K = 0$ e η_L é um valor que não podemos assegurar que seja estatisticamente diferente de zero.

Uma maneira de avaliar se de fato a regulamentação da taxa de retorno do capital teve efeito ativo sobre o progresso tecnológico no setor de geração de energia elétrica no Brasil é reestimar o modelo anterior desprezando-se a equação que capta o efeito do custo de capital (VI.21.a). Os resultados estão listados na Tabela VI.4.

TABELA VI.4 - ESTIMATIVAS DE MÍNIMOS QUADRADOS DE TRÊS ESTÁGIOS ITERATIVOS DOS PARÂMETROS DO MODELO DO CUSTO SEM A EQUAÇÃO DA RESTRIÇÃO DO RETORNO DO CAPITAL

PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	ESTATÍSTICA t
α_L	1,59783	0,52840	3,02394
α_M	0,21434	0,05669	3,78117
α_{LL}	0,34118	0,08772	3,88927
α_{LM}	0,02279	0,01074	2,12167
α_{MM}	-0,00853	0,01350	-0,63227
α_{LD}	0,00728	0,02252	0,32343
α_{MD}	0,00278	0,00216	1,28611
ε_{qL}	-0,22777	0,05745	-3,96497
ε_{qM}	0,00255	0,00565	0,45112
ε_{qD}	0,14331	0,04389	3,26508
ϕ_{KL}	0,04636	0,06532	0,70983
ϕ_{KM}	-0,01278	0,00603	-2,11959
ξ_{OL}	-0,04618	0,01092	-4,23053
ξ_{OM}	-0,00825	0,00124	-6,64055
ξ_{Oq}	-0,12975	0,02237	-5,80115
ξ_{TL}	-0,66472	0,13852	-4,79875
ξ_{TM}	-0,05679	0,01470	-3,86269
ξ_{Tq}	-0,12975	0,02237	-5,80116
β_q	-1,55369	0,94057	-1,65186
β_{qq}	0,15329	0,11640	1,31688
γ_{qK}	0,19589	0,11747	1,66764
α_2	0,64395	0,11191	5,75421

β_2	0,00315	0,01204	0,26167
γ_2	0,18259	0,17928	1,01848
α_3	0,04279	0,12018	0,35607
β_3	-0,03650	0,01072	-3,40371
γ_3	-0,10454	0,24258	-0,43094
α_4	0,00475	0,10360	0,04582
β_4	-0,02639	0,00900	-2,93287
γ_4	0,34338	0,19159	1,79222
β	-0,15810	0,10511	-1,50409
γ	0,22952	0,07333	3,13013

Fazendo-se a mesma análise do modelo básico, a partir da Tabela VI.4 notamos que dos 32 parâmetros estimados com as 56 observações (24 graus de liberdade) 17 passam no teste t com nível de significância de 5% ($t_c = 2,064$), 18 passam com nível de significância de 10% ($t_c = 1,711$) e 21 passam com nível de significância de 20% ($t_c = 1,318$). Nota-se agora que mais de 50% dos parâmetros são estatisticamente significantes ao nível de 5%, o que não ocorreu no caso anterior.

A análise das equações individuais indica uma boa qualidade na maioria dos parâmetros quanto à significância estatística, conforme pode ser visto na Tabela VI.5

**TABELA VI.5 - ESTIMAÇÃO DE M.Q. DE TRÊS ESTÁGIOS ITERATIVOS -
ANÁLISE DAS ESTATÍSTICAS t DO MODELO DE CUSTO SEM A
RESTRIÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO DO RETORNO DO CAPITAL**

EQUAÇÃO	$ t > 2,064$	$ t > 1,711$	$ t > 1,318$
S_L	7	7	7
S_M	7	7	8
V_q	5	6	8

As estimativas dos demais parâmetros podem ser obtidas utilizando-se as restrições citadas anteriormente e as estatísticas das equações estimadas estão apresentadas na Tabela VI.6, o que mostra que não existe alterações relevantes entre os dois modelos.

**TABELA VI.6 - ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES ESTIMADAS DO MODELO
DE CUSTO SEM A RESTRIÇÃO DO RETORNO DO CAPITAL**

EQUAÇÃO	R^2	R^2 AJUSTADO	ESTATÍSTICA D-W
S_L	0,71373	0,65011	1,76239
S_M	0,71784	0,64730	2,07361
V_q	0,82332	0,77915	1,87614

Impondo-se as restrições (VI.22), (VI.23) e (VI.24) aos parâmetros estimados, nesta nova situação, encontra-se os valores 0,00870, - 0,67482 e - 0,16098, respectivamente, para os fatores de aumento da mão-de-obra (η_L), dos materiais elétricos (η_M) e de energia (η_E), o

que aparentemente não dá indícios de progresso tecnológico neutro. A Tabela VI.7 mostra que existe muito pouca diferença entre os valores estimados para os fatores de aumento quando se inclui ou não a restrição do retorno de capital no modelo. Neste caso, em princípio, não houve efeito ativo da regulamentação da taxa de retorno do capital (máximo de 12% ao ano) sobre o progresso tecnológico do setor.

TABELA VI.7 - ESTIMATIVAS DOS FATORES DE AUMENTO PARA OS INSUMOS DOS DOIS MODELOS ALTERNATIVOS

INSUMO DE PRODUÇÃO	MODELO BÁSICO	MODELO DE CUSTO SEM A RESTRIÇÃO DO RETORNO DE CAPITAL
Mão-de-obra	-0,00458	0,00870
Materiais elétricos	-0,72959	-0,67482
Energia	-0,16129	-0,16098

Utilizando-se o modelo básico dado pelas equações (VI.17a), (VI.18a), (VI.19), (VI.20a) e (VI.21a), determinamos as estimativas do aumento na produtividade total e as contribuições dos fatores variáveis mão-de-obra (L), materiais elétricos (M) e energia (E), cujos resultados estão nas Tabelas VI.8, VI.9, VI.10 e VI.11.

**TABELA VI.8 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DA
CONTRIBUIÇÃO DO INSUMO MÃO-DE-OBRA PARA O AUMENTO NA
PRODUTIVIDADE TOTAL**

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	0,40	0,51	0,33	0,32
1980	0,21	0,49	0,30	0,35
1981	0,07	0,45	0,25	0,34
1982	0,13	0,45	0,23	0,32
1983	0,10	0,42	0,21	0,32
1984	0,14	0,36	0,17	0,27
1985	0,22	0,36	0,17	0,23
1986	0,24	0,38	0,17	0,18
1987	0,25	0,38	0,12	0,16
1988	0,26	0,34	0,10	0,18
1989	0,30	0,34	0,12	0,19
1990	0,29	0,32	0,09	0,16
1991	0,26	0,33	0,09	0,14
1992	0,26	0,36	0,14	0,17

Analisando-se os dados da Tabela VI.8, notamos que a contribuição da mão-de-obra para o aumento da produtividade total, ao longo do período 1979/1992, foi bastante pequena, com uma média geral de 0,26% ao ano, sendo que o maior desempenho desse fator ocorreu na CHESF.

TABELA VI.9 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DA CONTRIBUIÇÃO DO INSUMO MATERIAIS ELÉTRICOS PARA O AUMENTO NA PRODUTIVIDADE TOTAL

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	4,49	5,76	4,75	4,62
1980	3,60	5,45	4,50	4,95
1981	2,96	4,94	3,80	4,66
1982	2,96	4,87	3,15	3,78
1983	2,10	4,32	2,58	3,32
1984	2,71	3,56	1,94	2,98
1985	2,95	3,36	1,67	2,39
1986	2,77	3,35	1,57	1,83
1987	3,14	3,11	1,05	1,66
1988	2,38	2,20	0,49	1,38
1989	2,29	1,57	0,15	1,03
1990	2,62	1,58	0,06	1,27
1991	2,26	1,50	-0,03	0,98
1992	1,46	1,07	-0,31	0,51

Os dados da Tabela VI.9, mostram que o fator materiais elétricos contribuiu de forma razoável para o aumento na produtividade total no período 1979/1992. Sua média geral foi de 2,61% ao ano, sendo que o melhor desempenho também ocorreu na CHESF. Um fato que chamou atenção foram as contribuições negativas, embora pequenas, em FURNAS para os anos de 1991 e 1992.

**TABELA VI.10 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DA
CONTRIBUIÇÃO DO INSUMO ENERGIA PARA O AUMENTO NA
PRODUTIVIDADE TOTAL**

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	1,00	-3,11	3,55	3,73
1980	8,93	-1,14	5,52	3,86
1981	13,60	0,39	7,30	4,35
1982	11,45	0,11	8,00	4,94
1983	12,60	1,33	8,80	5,01
1984	10,92	3,55	10,23	6,55
1985	8,49	3,54	10,15	8,29
1986	7,62	2,72	10,12	9,87
1987	7,26	2,94	12,01	10,60
1988	6,95	4,25	12,64	9,97
1989	5,54	4,13	11,83	9,59
1990	5,85	4,97	12,80	10,57
1991	7,03	4,66	13,13	11,51
1992	7,15	3,43	11,27	10,00

Observando-se os dados da Tabela VI.10, notamos que o insumo de energia foi o que mais contribuiu para o aumento na produtividade total, no período 1979/1992, com uma média geral de 7,01% ao ano. Convém ressaltar que o maior desempenho foi o de FURNAS, seguido da ELETROSUL, principalmente, a partir do ano de 1984 quando ambas começaram a comprar bastante energia elétrica de ITAIPU. Um fato que chama atenção é a contribuição negativa do insumo energia na CHESF nos anos de 1979 e 1980, exatamente quando a mesma operava algumas usinas térmicas.

TABELA VI.11 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DO AUMENTO NA PRODUTIVIDADE TOTAL

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	5,90	3,16	8,62	8,68
1980	12,74	4,80	10,32	9,16
1981	16,63	5,78	11,35	9,34
1982	14,54	5,44	11,39	9,04
1983	14,80	6,07	11,59	8,65
1984	13,77	7,46	12,34	9,80
1985	11,67	7,25	11,99	10,90
1986	10,62	6,46	11,86	11,88
1987	10,66	6,43	13,17	12,41
1988	9,58	6,79	13,23	11,52
1989	8,13	6,04	12,10	10,80
1990	8,76	6,87	12,95	11,99
1991	9,55	6,49	13,19	12,62
1992	8,87	4,87	11,10	10,68

Os dados da Tabela VI.11, mostram um grande crescimento do aumento na produtividade total das empresas do sistema ELETROBRÁS, no período de 1979/1992, com uma média geral de 9,87% ao ano. O maior desempenho foi o de FURNAS, quase sempre acima de 10% ao ano.

Estes resultados aparentemente são bons, entretanto, ao analisarmos a contribuição individual de cada fator, notamos que a grande contribuição é da energia elétrica que em sua maioria é comprada diretamente de ITAIPU ou no intercâmbio entre as empresas do setor, o que foge um pouco do objetivo do setor em análise, que é o de gerar energia elétrica.

Uma questão importante é termos uma idéia de como se modificam as produtividades total e dos fatores mão-de-obra, materiais elétricos e energia quando retiramos do processo de produção a utilização da própria energia elétrica como um dos insumos. Inicialmente temos que construir novamente a variável V_q que depende da estimação da demanda pelo produto das empresas em estudo.

A obtenção dos novos valores da variável endógena V_q do modelo de custo sem o intercâmbio de eletricidade depende do mark-up m que é obtido a partir da estimação da nova demanda enfrentada pelas empresas em estudo. Assim, adotando-se a mesma forma funcional do caso anterior, dada pela equação (VI.31), e utilizando-se o método dos mínimos quadrados ordinários, chegamos aos seguintes resultados:

$$\ln q_E = 6,9425 - 1,4767 \ln P_E + 0,6839 \ln P_C + 1,5564 D_2 + 1,3788 D_3 + 0,3262 D_4 + 0,1344 t + \varepsilon_E$$

$$(1,9153) \quad (0,4578) \quad (0,4346) \quad (0,3689) \quad (0,4906) \quad (0,4618) \quad (0,0294) \quad ,$$

$$\begin{aligned} R^2 &= 0,7019 & D-W &= 1,9901 \\ \bar{R}^2 &= 0,6682 & F &= 20,8023 , \end{aligned} \quad (VI.25)$$

onde q_E é a quantidade de eletricidade vendida por cada empresa, P_E é o correspondente preço de venda de eletricidade, P_C é o preço do combustível concorrente da energia elétrica e D_2 , D_3 e D_4 são as respectivas dummies regionais.

Analizando-se as estatísticas t , verificamos que apenas os parâmetros referentes às variáveis $\ln P_C$ e D_4 não passam no teste com 5% de significância e não existe problemas com resíduos tendo em vista que o valor da estatística Durbin-Watson está dentro da região aceitável.

Agora os mark-up's correspondentes são dados por

$$m_{Et} = 0,67719 \cdot P_{Et}, \quad (VI.26)$$

de modo que V_q é expresso por

$$V_{qt} = 0,32281 \frac{P_{Et} \cdot q_{Et}}{C_t}, \quad (VI.27)$$

onde C_t é o custo variável no instante t .

Obtidos os novos valores para as variáveis endógenas S_L , S_M , V_q e g_K , procedemos a estimação dos parâmetros do modelo pelo método dos mínimos quadrados de três estágios iterativos, cujos os resultados estão na tabela a seguir:

**TABELA VI.12 - ESTIMATIVAS DE MÍNIMOS QUADRADOS DE TRÊS
ESTÁGIOS ITERATIVOS DOS PARÂMETROS DO MODELO DE CUSTO SEM O
INTERCÂMBIO DE ENERGIA ELÉTRICA COM AS EMPRESAS DO SETOR**

PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	ESTATÍSTICA t
α_L	1,23983	0,36647	3,38319
α_M	0,35230	0,08632	4,08120
α_{LL}	0,13169	0,04286	3,07214
α_{LM}	0,03787	0,01172	3,23085
α_{MM}	-0,02266	0,01823	-1,24276
α_{LD}	0,01398	0,01441	0,97035
α_{MD}	0,00274	0,00252	1,08906
ε_{qL}	-0,05597	0,02205	-2,53795
ε_{qM}	-0,01203	0,00409	-2,93870
ε_{qD}	0,16057	0,05067	3,16899
ϕ_{KL}	-0,01602	0,03169	-0,50551
ϕ_{KM}	-0,00861	0,00695	-1,23876
ϕ_{KD}	-1,35784	0,65713	-2,06632
ξ_{OL}	-0,01626	0,00727	-2,23764
ξ_{OM}	-0,00963	0,00148	-6,49009
ξ_{Oq}	-0,10253	0,02194	-4,67343
ξ_{OK}	-0,33481	0,27972	-1,19697
ξ_{TL}	-0,54759	0,09647	-5,67657
ξ_{TM}	-0,08238	0,01867	-4,41368
ξ_{Tq}	-0,57251	0,35005	-1,63552
ξ_{TK}	-4,99975	4,12534	-1,21196
β_q	-0,74403	1,06973	-0,69553
β_{qq}	0,26750	0,08332	3,21030
γ_K	15,80759	14,49340	1,09068
γ_{KK}	-1,29391	1,13742	-1,13758
γ_{qK}	0,00792	0,10165	0,07787
α_2	0,22738	0,05894	3,85783

β_2	0,01850	0,00997	1,85496
γ_2	0,63207	0,21215	2,97934
δ_2	1,03716	2,13187	0,48650
α_3	0,19448	0,05884	3,30544
β_3	0,01475	0,00936	1,57548
γ_3	0,08000	0,20099	0,39805
δ_3	2,11405	2,07302	1,01979
α_4	0,20605	0,05569	3,69964
β_4	0,01180	0,00949	1,24395
γ_4	-0,05191	0,17463	-0,29728
δ_4	1,44734	1,88871	0,76631
α	0,39807	0,09016	4,41539
β	-0,18339	0,09349	-1,96151
γ	0,19640	0,08416	2,33361
δ	0,01211	0,14357	0,08436
α_j	6,73474	1,23080	5,47183

Observando-se a Tabela VI.12, notamos que dos 43 parâmetros estimados com as 56 observações (13 graus de liberdade) 20 passam no teste t com nível de significância de 5% ($t_c = 2,160$), 23 passam com nível de significância de 10% ($t_c = 1,771$) e 25 passam com nível de significância de 20% ($t_c = 1,350$). Considerando-se o pequeno número de graus de liberdade (13) e o número de parâmetros (43), boa parte das estimativas dos parâmetros das equações demonstrou ser estatisticamente diferente de zero.

Quando se analisa individualmente as equações estimadas do modelo, temos os seguintes resultados:

TABELA VI.13 - ESTIMAÇÃO DE M. Q. DE TRÊS ESTÁGIOS ITERATIVOS - ANÁLISE DAS ESTATÍSTICAS t DO MODELO DE CUSTO SEM O INTERCÂMBIO DE ENERGIA ELÉTRICA COM AS EMPRESAS DO SETOR

EQUAÇÃO	$ t > 2,160$	$ t > 1,771$	$ t > 1,350$
S_L	10	10	10
S_M	5	7	8
V_q	7	7	8
ϑ_K	1	2	2

Percebemos que a equação S_L tem uma melhor qualidade nos parâmetros, seguida pelas equações V_q e S_M , enquanto que dos parâmetros da equação ϑ_K apenas dois têm significância estatística, que é exatamente a equação da taxa de retorno do capital.

Observando-se a qualidade geral dos resultados, destacamos que apenas a equação ϑ_K apresenta estatística Durbin-Watson abaixo do limite crítico e o R^2 ajustado da equação S_M está relativamente baixo, conforme podemos verificar na Tabela VI.14:

TABELA VI.14 - ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES ESTIMADAS DO MODELO SEM O INTERCÂMBIO DE ENERGIA ELÉTRICA COM AS EMPRESAS DO SETOR

EQUAÇÃO	R^2	R^2 AJUSTADO	ESTATÍSTICA D-W
S_L	0,81712	0,77140	1,74752
S_M	0,58324	0,47905	2,18799
V_q	0,83543	0,79429	1,69920
ϑ_K	0,61738	0,51061	1,44240

Os fatores de aumento para os insumos variáveis mão-de-obra (η_L), materiais elétricos (η_M) e energia (η_E) podem ser calculados a partir dos parâmetros das equações estimadas, através das relações (VI.22), (VI.23) e (VI.24), para os quais obteve-se agora os seguintes resultados: $\eta_L = 0,01222$, $\eta_M = -0,30137$ e $\eta_E = -0,15371$.

Através da Tabela VI.15, podemos comparar os fatores de aumento dos insumos variáveis mão-de-obra, materiais elétricos e energia do modelo de custo básico e do novo modelo alternativo que não considera o intercâmbio de eletricidade das empresas subsidiárias da ELETROBRÁS em estudo com as demais empresas do setor elétrico:

TABELA VI.15 - ESTIMATIVAS DOS FATORES DE AUMENTO PARA OS INSUMOS DO MODELO BÁSICO E DO MODELO SEM O INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE COM AS EMPRESAS DO SETOR

INSUMO DE PRODUÇÃO	MODELO BÁSICO	MODELO DE CUSTO SEM O INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE
MÃO-DE-OBRA(η_L)	- 0,00458	0,01222
MATERIAIS ELÉTRICOS(η_M)	-0,72959	- 0,30137
ENERGIA(η_E)	-0,16129	- 0,15371

Notamos que houve a inversão do sinal do fator de aumento do insumo mão-de-obra (η_L) que agora é positivo, o que nos fornece indícios de que houve uma queda no valor médio da produtividade deste insumo ao longo do período 1979/1992. Contudo, tanto o valor estimado para o modelo quanto para essa nova alternativa sem o intercâmbio de eletricidade com as

demais empresas do setor são bastante próximos de zero, o que podemos imaginar que a produtividade da mão-de-obra nas empresas em estudo esteve mais ou menos estagnada no período em análise, ou melhor, não houve aumento na produtividade deste fator ($\eta_L \cong 0$).

Já o fator de aumento do insumo materiais elétricos (η_M) diminuiu bastante, porém conservou o mesmo sinal, enquanto que o insumo energia (η_E) também conservou o sinal, porém diminuiu muito pouco de valor em relação ao correspondente no modelo básico.

Essas alterações nos valores dos fatores de aumento eram esperadas pelas seguintes razões:

i) para vários anos e algumas empresas, o volume de compra do insumo energia elétrica foi relativamente alto;

ii) não foi possível separar o capital imobilizado utilizado no intercâmbio de energia elétrica entre as empresas subsidiárias da ELETROBRÁS em estudo e as demais empresas do setor;

iii) não conseguimos também separar as despesas com mão-de-obra e materiais elétricos específicas desse intercâmbio; e

iv) o insumo energia passa a ter características completamente diferentes daquelas referentes ao modelo básico, pois trata-se agora de combustível utilizado na geração térmica.

Analisando-se novamente o progresso tecnológico quanto a sua estrutura, os valores obtidos para os fatores de aumento fornecem indícios de que $\eta_M \neq \eta_E \neq 0$, o que descarta a possibilidade de ter ocorrido o progresso tecnológico Hicks neutro ou o Harrod neutro.

Quanto à neutralidade de Solow, o valor de η_L é muito próximo de zero, entretanto como $\eta_M \neq \eta_E \neq 0$, também podemos eliminar de novo essa alternativa. Finalmente, existe a possibilidade do progresso tecnológico ter sido neutro no sentido de Leontief, tendo em vista que a única

exigência é $\eta_L = \eta_K = 0$ e sabemos que por hipótese do modelo $\eta_E = 0$ e η_L é muito próximo de zero.

Utilizando-se dos resultados do modelo sem intercâmbio de eletricidade, determinamos as novas estimativas do aumento na produtividade total e as contribuições dos fatores variáveis mão-de-obra (L), materiais elétricos (M) e energia (E), cujos os resultados estão nas Tabelas VI.16, VI.17, VI.18 e VI.19 a seguir:

TABELA VI.16 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DA CONTRIBUIÇÃO DO INSUMO MÃO-DE-OBRA PARA O AUMENTO NA PRODUTIVIDADE TOTAL COM O MODELO SEM INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	-1,12	-1,02	-1,20	-1,09
1980	-0,16	-1,09	-1,14	-1,16
1981	0,17	-1,10	-1,12	-1,10
1982	-0,33	-1,18	-1,13	-1,15
1983	-0,75	-1,12	-1,15	-1,24
1984	-1,13	-1,11	-1,05	-1,17
1985	-0,61	-1,14	-1,07	-1,12
1986	-0,47	-1,05	-0,90	-0,95
1987	-0,44	-1,15	-1,15	-1,13
1988	-0,56	-1,24	-1,09	-1,16
1989	-0,77	-1,12	-1,19	-1,12
1990	-0,88	-1,07	-1,08	-0,86
1991	-0,96	-1,30	-1,23	-1,32
1992	-0,93	-1,26	-1,19	-1,31

TABELA VI.17 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DA CONTRIBUIÇÃO DO INSUMO MATERIAIS ELÉTRICOS PARA O AUMENTO NA PRODUTIVIDADE TOTAL COM O MODELO SEM INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	4,05	2,35	2,14	2,48
1980	-3,21	1,74	2,08	2,30
1981	-1,22	2,35	2,07	2,11
1982	2,81	1,94	1,99	2,25
1983	5,35	1,90	2,46	3,13
1984	7,04	1,69	1,64	2,49
1985	2,50	1,54	1,25	2,05
1986	0,02	-0,19	-0,30	0,19
1987	-0,69	0,51	1,47	1,13
1988	-0,38	1,64	0,79	1,37
1989	0,93	1,55	1,42	0,64
1990	-0,59	-0,06	-0,56	-0,43
1991	0,20	1,35	1,87	2,48
1992	0,46	0,95	1,17	1,67

TABELA VI.18 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DA CONTRIBUIÇÃO DO INSUMO ENERGIA PARA O AUMENTO NA PRODUTIVIDADE TOTAL COM O MODELO SEM INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	-0,73	1,39	-0,83	0,45
1980	14,95	0,71	-0,09	-0,40
1981	18,07	0,33	0,23	0,46
1982	9,78	-0,51	0,09	-0,26
1983	3,19	0,37	-0,31	-1,77
1984	-2,46	0,51	1,33	-0,61
1985	6,41	0,25	1,22	0,27
1986	9,50	2,31	4,15	3,33
1987	10,20	0,68	0,10	0,60
1988	8,51	-1,01	1,26	0,10
1989	5,25	0,53	-0,38	0,92
1990	4,55	1,98	1,52	4,71
1991	3,59	-1,61	-1,05	-2,52
1992	3,47	-0,92	-0,20	-1,94

Os resultados agora mostram uma queda média de 1,01% ao ano na produtividade da mão-de-obra e um aumento médio de 1,45% ao ano na produtividade dos materiais elétricos, valor que é um pouco inferior ao do modelo básico (2,61% ao ano).

Já o insumo energia, que é agora constituído apenas pelo combustível utilizado na geração térmica, teve sua contribuição para o aumento na produtividade total bastante reduzida, caindo de 7,01% ao ano no modelo básico para 1,96% ao ano no modelo sem intercâmbio de eletricidade entre as empresas. Convém salientar que o melhor desempenho em termos de produtividade para este insumo ocorreu na ELETRONORTE, que é a empresa que mais utiliza esse fator de produção.

TABELA VI.19 - SISTEMA ELETROBRÁS - VALORES PERCENTUAIS DO AUMENTO NA PRODUTIVIDADE TOTAL COM O MODELO SEM INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1979	2,21	2,72	0,11	1,85
1980	11,57	1,36	0,85	0,75
1981	17,02	1,58	1,18	1,47
1982	12,26	0,24	0,95	0,84
1983	7,79	1,16	1,00	0,12
1984	3,45	1,09	1,93	0,71
1985	8,30	0,65	1,39	1,21
1986	9,05	1,08	2,95	2,57
1987	9,06	0,04	0,42	0,60
1988	7,58	-0,60	0,96	0,31
1989	5,41	0,96	-0,15	0,44
1990	3,07	0,85	1,01	3,42
1991	2,86	-1,56	-0,41	-1,36
1992	3,01	-1,23	-0,22	-1,58

Quando se analisa a produtividade total dos fatores, também notamos pela Tabela VI.19 que ela caiu bastante em relação ao modelo básico, passando em média de 9,87% ao ano para 2,40% ao ano. A única empresa que teve um bom desempenho no período estudado foi a ELETRONORTE, com valores acima de 10% ao ano no período 1980/1982, provavelmente devido a uma utilização mais eficiente do combustível nos seus sistemas térmicos que tem uma alta participação em seus custos de produção.

TABELA VI.20 - SISTEMA ELETROBRÁS - COMPARAÇÃO DOS VALORES PERCENTUAIS DO AUMENTO NA PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES PARA OS MODELOS BÁSICO(MB) E SEM INTERCÂMBIO DE ELETRICIDADE(MSI)

ANO	ELETRONORTE		CHESF		FURNAS		ELETROSUL	
	MB	MSI	MB	MSI	MB	MSI	MB	MSI
1979	5,90	2,21	3,16	2,72	8,62	0,11	8,68	1,85
1980	12,74	11,57	4,80	1,36	10,32	0,85	9,16	0,75
1981	16,63	17,02	5,78	1,58	11,35	1,18	9,34	1,47
1982	14,54	12,26	5,44	0,24	11,39	0,95	9,04	0,84
1983	14,80	7,79	6,07	1,16	11,59	1,00	8,65	0,12
1984	13,77	3,45	7,46	1,09	12,34	1,93	9,80	0,71
1985	11,67	8,30	7,25	0,65	11,99	1,39	10,90	1,21
1986	10,62	9,05	6,46	1,08	11,86	2,95	11,88	2,57
1987	10,66	9,06	6,43	0,04	13,17	0,42	12,41	0,60
1988	9,58	7,58	6,79	-0,60	13,23	0,96	11,52	0,31
1989	8,13	5,41	6,04	0,96	12,10	-0,15	10,80	0,44
1990	8,76	3,07	6,87	0,85	12,95	1,01	11,99	3,42
1991	9,55	2,86	6,49	-1,56	13,19	-0,41	12,62	-1,36
1992	8,87	3,01	4,87	-1,23	11,10	-0,22	10,68	-1,58
MÉDIA	11,16	7,33	5,99	0,60	11,80	0,86	10,53	0,81

A Tabela VI.20 acima nos fornece uma visão melhor do que acontece com as produtividades totais dos fatores quando passamos do modelo básico para o modelo sem o intercâmbio do insumo energia elétrica com as empresas do setor. As médias das produtividades totais dos fatores caem bastante ao longo do período 1979/1992, principalmente as de FURNAS e

ELETROSUL, enquanto que a média da ELETRONORTE diminui relativamente pouco (de 11,16% para 7,33% ao ano), fazendo com que a média do grupo não caia para valores abaixo de 1% ao ano, como aconteceu com a CHESF (0,60% ao ano), FURNAS (0,86% ao ano) e ELETROSUL (0,81% ao ano).

Quanto ao insumo fixo (no curto prazo) capital, tentamos inferir algumas estatísticas que mensuram seu desempenho no processo de aumento de produtividade no setor de geração de energia elétrica no Brasil, todas elas considerando o intercâmbio de eletricidade entre as empresas. A variável ϑ_K mede exatamente a elasticidade do custo variável em relação ao estoque de capital utilizado no processo de produção e o ideal é que ela seja negativa. As estimativas dos valores desta elasticidade para as empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL estão na Tabela VI.21, cuja média geral é - 0,224.

TABELA VI.21 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA ELASTICIDADE DO CUSTO VARIÁVEL EM RELAÇÃO AO ESTOQUE DE CAPITAL

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	2,07	18,73	8,83	4,55
1979	3,21	3,06	3,29	2,73
1980	1,43	3,14	3,31	2,91
1981	0,86	2,85	3,20	2,40
1982	-2,65	-0,69	-0,24	-1,03
1983	0,09	2,06	2,47	1,91
1984	-1,73	-1,06	-0,74	-1,14
1985	-2,84	-1,38	-1,05	-1,50
1986	-2,63	-1,30	-1,06	-1,53
1987	0,13	1,50	1,54	1,39
1988	-0,02	0,96	1,38	1,18
1989	-3,50	-2,49	-2,07	-2,10
1990	-0,55	0,67	0,96	1,13
1991	-4,47	-3,41	-3,01	-3,12
1992	-4,88	-3,52	-3,34	-3,27

Notamos um fato interessante que de 1978 a 1981 essa estatística assumiu sistematicamente valores positivos enquanto, que a partir de 1984 ela passou assumir valores negativos para quase todas as empresas, mantendo coerência com um processo de progresso tecnológico.

Uma outra maneira de avaliar a contribuição do capital para o progresso tecnológico é através da medida da produtividade média, cujas estimativas estão na Tabela VI.22. Notamos que as maiores produtividades do período 1978/1992, geralmente, estão associadas a FURNAS e as mais baixas sempre estão associadas a ELETRONORTE, com uma média geral de 0,98 MWh/mil Cr\$, a preços médios de 1992.

TABELA VI.22 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE MÉDIA DE CAPITAL

UNIDADE: MW / mil CR\$ de 1992

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	0,22	0,81	1,07	1,14
1979	0,22	0,77	1,02	0,82
1980	0,89	1,00	1,23	1,09
1981	0,39	0,82	1,25	0,76
1982	0,34	0,76	1,19	0,64
1983	0,34	0,84	1,06	0,59
1984	0,41	0,89	1,32	0,88
1985	0,14	0,87	1,28	1,03
1986	0,39	1,39	2,00	1,90
1987	0,38	1,01	1,66	1,38
1988	0,32	0,57	1,64	1,10
1989	0,22	0,48	1,39	1,16
1990	0,67	1,34	3,79	3,75
1991	0,25	0,41	1,37	0,99
1992	0,21	0,50	1,25	1,10

Finalmente, analisando-se os custos variáveis médios descritos na Tabela VI.23, notamos que até 1986 os maiores valores são sempre da ELETRONORTE. A partir de 1987, os maiores valores são de FURNAS e ELETROSUL o que coincide exatamente com a época na qual elas passaram a comprar bastante energia elétrica de ITAIPU. A CHESF, que sempre comprou pouca eletricidade de outras concessionárias no período, manteve um nível de custo médio variável bem abaixo das demais. A média geral do custo variável médio no período foi de Cr\$ 105,73 por megawatt-hora. Portanto, nos últimos anos a CHESF e a ELETRONORTE tiveram custos variáveis bem abaixo da média.

TABELA VI.23 - SISTEMA ELETROBRÁS - EVOLUÇÃO DO CUSTO VARIÁVEL MÉDIO - PREÇOS DE 1992

UNIDADE: CR\$ / MW

ANO	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL
1978	203,94	18,10	33,06	61,04
1979	445,55	22,10	41,73	94,02
1980	362,55	26,71	29,85	69,60
1981	720,04	24,71	31,40	63,19
1982	531,79	35,23	31,94	73,27
1983	450,19	19,16	25,23	50,56
1984	334,83	21,03	23,48	31,27
1985	183,14	26,00	52,00	44,79
1986	108,80	32,57	56,13	45,77
1987	89,57	53,80	95,27	81,29
1988	82,14	62,48	84,22	93,88
1989	93,49	58,27	94,57	104,97
1990	61,83	34,77	98,79	84,30
1991	55,47	39,53	119,64	123,65
1992	48,67	35,93	117,10	105,43

VII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

VII.1. PERSPECTIVAS PARA O SETOR ELÉTRICO NO BRASIL

A configuração institucional do funcionamento do setor elétrico brasileiro, assim como suas interligações, podem ser representadas conforme o diagrama da Figura VII.1.

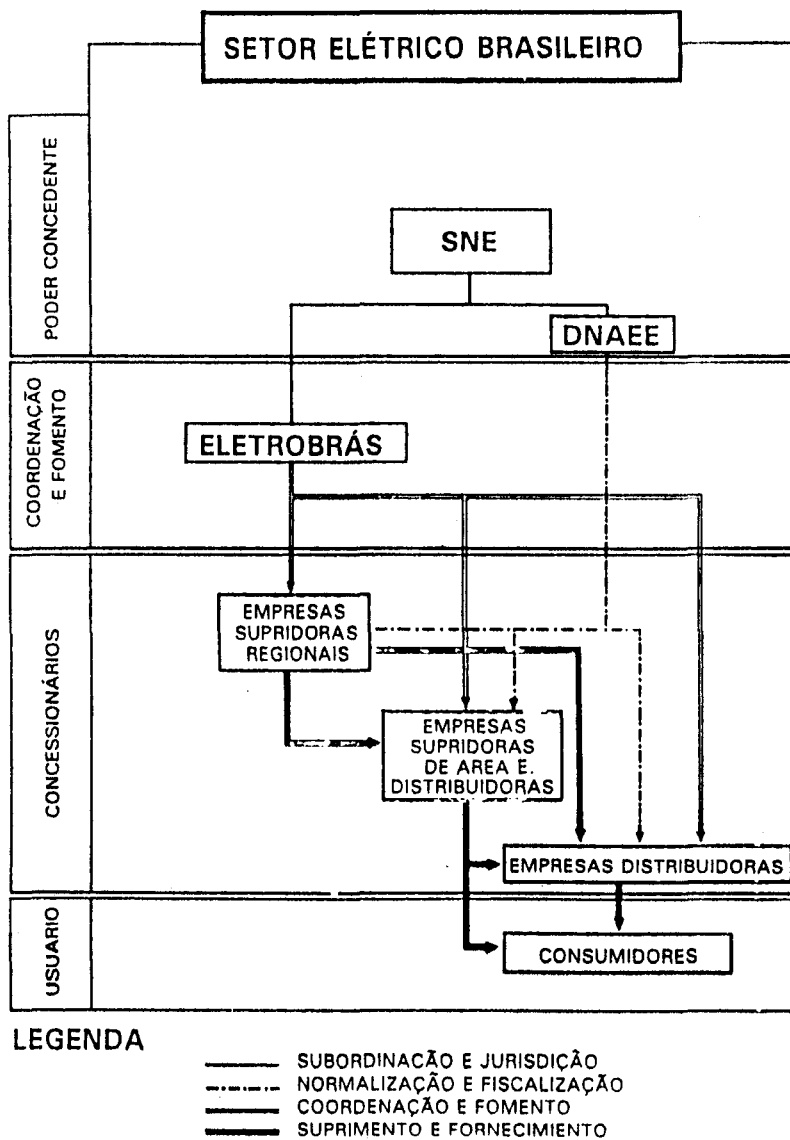


FIGURA VII.1 - Configuração Institucional do Setor Elétrico do Brasil

A Secretaria Nacional de Energia-SNE tem a função de formular a política energética nacional, acompanhar e coordenar a sua execução, atuando também na supervisão, controle e fiscalização do aproveitamento de recursos hídricos e dos demais energéticos.

O Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica-DNAEE é o órgão encarregado da supervisão do setor elétrico, exercendo a função normativa e fiscalizadora dos serviços de energia elétrica, tendo também como responsabilidade a outorga de concessão dos serviços e a definição dos níveis e estruturas tarifários.

As Centrais Elétricas Brasileiras S.A.-ELETROBRÁS é uma sociedade de economia mista com participação majoritária da União, que funciona como holding e executa a política de energia elétrica no país. Além de sua estrutura organizacional interna, ela conta com uma estrutura colegiada sob sua coordenação e integrada pelas concessionárias do setor, formada pelo grupo de Coordenação do Planejamento do Sistema-GCPS, o Grupo de Coordenação de Operação Interligada-GCOI e o Comitê Coordenador de Operação Norte-Nordeste-CCON.

As concessionárias podem ser agrupadas em quatro categorias:

- i) Empresas supridoras regionais - atuam basicamente na geração(subsidiárias da ELETROBRÁS): ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL;
- ii) Empresas supridoras de área - atuam na geração e distribuição: CFMIG, CESP, COPEL e CEEE;
- iii) Empresas concessionárias estaduais - atuam basicamente na distribuição: demais empresas estaduais; e
- iv) Demais empresas concessionárias: demais empresas concessionárias que não se enquadram nas categorias anteriores, incluindo LIGHT e ESCELSA.

Paralelamente a este esquema existe ITAIPU Binacional que é uma empresa geradora controlada em partes iguais pela ELETROBRÁS e pela Administração Nacional de Eletricidade-ANDE do Paraguai.

As participações atuais nos mercados de geração e distribuição dessas empresas estão ilustradas na Tabela VII.1. Essas diferenças nas participações mostram que as empresas de eletricidade possuem, muitas vezes, naturezas tecnológica e operacional bastante diferentes, daí quando da realização de estudos é sempre conveniente separá-las pela sua maior atividade (geração ou distribuição).

TABELA VII.1- BRASIL - PARTICIPAÇÃO DAS CONCESSIONÁRIAS NOS MERCADOS DE GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Valores em %

EMPRESAS	GERAÇÃO	DISTRIBUIÇÃO
- Subsidiárias da ELETROBRÁS e ITAIPU	61,9	17,8
- Concessionárias Estaduais	37,8	78,7
- Demais Concessionárias	0,3	3,5
TOTAL	100,0	100,0

FONTE: ELETROBRÁS/1993

Em termos de tamanho de mercado, no Brasil o consumo médio é cerca de 1.400 KWh (quilowatt-hora) por habitante-ano, o que corresponde ao simples consumo de um apartamento tipo quarto e sala, com apenas uma pequena geladeira. Considerando-se 150 milhões de habitantes, temos o consumo global no país de 210 milhões de MWh (megawatt-hora) por ano, onde cerca da metade deste valor é destinado ao consumo industrial.

Fazendo-se comparações internacionais, o consumo médio hoje nos Estados Unidos é da ordem de 14.000 KWh por habitante, ou seja dez vezes mais que o do Brasil. Em alguns

países da Europa e no Japão o consumo per capita é quatro vezes o do Brasil e Portugal e Espanha já consomem energia elétrica por habitante três vezes mais que o nosso país.

Quanto à questão tarifária, a média de preços atual no Brasil é de US\$ 47,00 por MWh (sem impostos). Considerando-se o consumo 210 milhões de MWh, temos uma receita anual aproximada de US\$ 9.870 milhões. Em termos de comparações internacionais, hoje na Argentina a tarifa média é de US\$ 90 por MWh e no Chile cerca de US\$ 110 por MWh, que são países que recentemente reestruturaram ou privatizaram suas indústrias de energia elétrica. Nos Estados Unidos a tarifa de eletricidade está entre US\$ 65 e 70 por MWh e na Europa e Japão entre US\$ 120 e 150 por MWh.

Houve um progresso institucional recente no Brasil com a Lei nº 8631/93, que permitiu a desqualização das tarifas entre empresas e o encontro de contas entre as mesmas e a União. Um outro avanço recente foi o Decreto Federal n. 915 que disciplina o consórcio de autoprodutores, permitindo uma maior flexibilidade na composição dessas organizações e na implantação de novas usinas geradoras.

O Decreto Federal n. 1009 permitiu a abertura da rede de transmissão, através do Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica-SINTREL, que já está implantado com todos os critérios de utilização e de tarifação bem definidos para transporte de eletricidade. Esta abertura da transmissão é um problema complexo, porque impõe restrições sobre o direito supostamente adquirido das concessionárias, que dá a elas monopólios sobre algo que nem sempre é um monopólio natural. Normalmente, tem-se o caso de monopólio natural na distribuição, mas isto não é verdade na geração. Ao se abrir o acesso à transmissão, quebra-se o monopólio na geração de eletricidade.

O SINTREL poderá vir a ser um valioso instrumento para viabilizar a competição na geração, facilitando a entrada de produtores independentes. Entretanto, cada região do país tem características de mercado bastante heterogêneas, o que significa que nem sempre a desverticalização imposta pelo esquema SINTREL será a melhor solução para a sociedade.

Espera-se que a nova lei das tarifas, aliada com a regulamentação do Artigo n. 175 da Constituição e a legislação consolidada do setor de energia elétrica, permitam às concessionárias uma atuação mais autônoma, com seus custos e padrão de gestão diferenciados, de acordo com as características locais. A abertura do capital e a privatização passam a ter papel importante no sentido de permitir às empresas implementarem seus programas de crescimento.

VII.2 - RESULTADOS E PERSPECTIVAS DE OUTROS ESTUDOS

Neste trabalho realizamos um estudo sobre medidas de produtividade no setor de geração de energia elétrica no Brasil, utilizando-se dados das subsidiárias da ELETROBRÁS que atuam regionalmente: ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL. A abordagem empregada foi a da estimação econométrica da função de custo, utilizando um modelo no qual a firma minimiza o custo variável, sujeito a níveis pré-determinados de fatores fixos, no caso o capital.

Os insumos variáveis considerados foram mão-de-obra(L), materiais elétricos(M) e energia(E), que é uma composição de vários combustíveis e energia elétrica. Os dados do único insumo fixo, o capital, correspondem aos valores do investimento remunerável autorizado pelo DNAEE para cada uma das empresas.

O modelo básico utilizado foi construído a partir de uma função de custo variável translog, sendo composto de quatro equações e uma identidade. As duas primeiras equações representam as participações relativas dos insumos mão-de-obra(L) e materiais elétricos(M). A terceira equação faz a ligação entre os mercados insumos e de produto utilizando um termo de mark-up obtido a partir da função de demanda pelo produto das empresas.

Já a quarta equação tenta captar o efeito da regulamentação do retorno máximo do capital (12% ao ano) sobre o progresso tecnológico e utiliza uma taxa de juros real (obtida junto ao IPEA) para o cálculo do custo de capital. O fechamento do modelo é através de uma identidade com a soma das participações relativas no custo variável dos insumos mão-de-obra(L), materiais elétricos(M) e energia(E).

As variáveis endógenas do modelo são as participações relativas no custo variável dos insumos mão-de-obra(S_L), materiais elétricos(S_M) e energia(S_E), além das variáveis construídas V_q e v_K que representam, respectivamente, o custo social de produção de eletricidade e o custo do capital utilizado.

As principais variáveis exógenas são os preços da mão-de-obra(w_L), materiais elétricos(w_M) e energia(w_E), além da quantidade de energia elétrica vendida(q), investimento remunerável (K) e a tendência (t).

Durante as primeiras tentativas de estimação descobrimos que eram também importantes para explicação do progresso tecnológico na geração de energia elétrica no Brasil as seguintes variáveis: (i) a participação da geração térmica na geração total de eletricidade de cada empresa(TE); (ii) uma variável dummy(D_L) que capta o efeito da mudança na política de pessoal após 1989; (iii) variáveis dummies(D_2 , D_3 e D_4) para captar características regionais; (iv) uma outra variável dummy que capta o efeito da política monetária(D_I); e (v) as variáveis endógenas defasadas ($S_{M,t-1}$, $V_{q,t-1}$, e $v_{K,t-1}$).

Os dados básicos foram obtidos junto a ELETROBRÁS, através de consulta a relatórios técnicos e entrevistas com técnicos daquela entidade. Assim, conseguimos recuperar séries históricas das variáveis citadas acima do período 1978 a 1992.

Os resultados da estimação de mínimos quadrados de três estágios iterativos, utilizando-se o pacote econométrico EVIEWS, com dados das empresas ELETRONORTE, CHESF, FURNAS e ELETROSUL, para o modelo básico composto pelas equações (VI.17a), (VI.18a), (VI.19), (VI.20a) e (VI.21a), mostram que dos 42 parâmetros estimados 17

passam no teste t com nível de significância de 5%. Os R^2 ajustados das equações (VI.17a), (VI.18a) e (VI.20a) têm valores acima de 0,60 e as estatísticas Durbin-Watson estão todas dentro dos limites estatisticamente aceitáveis. A única equação que não possui um bom grau de explicação é a da restrição do retorno do capital (VI.21a) cujo R^2 ajustado é de apenas 0,36.

Estimamos também um modelo de custo alternativo, sem a equação da restrição do retorno do capital, composto pelas equações (VI.17a), (VI.18a), (VI.19) e (VI.20a), cujos resultados mudaram muito pouco em relação aos do modelo básico, tanto quanto ao grau de explicação das equações quanto às estatísticas Durbin-Watson.

Utilizando-se os resultados da estimação do modelo básico e impondo-se as restrições sobre os parâmetros dadas por (VI.22), (VI.23) e (VI.24), chegamos aos valores para os fatores de aumento dos insumos: mão-de-obra $\eta_L = -0,00458$, materiais elétricos $\eta_M = -0,72959$ e energia $\eta_E = -0,16128$. Considerando-se que não houve mudança na técnica de produção ao longo do período 1978/92 e que o capital é o insumo fixo que entra no modelo na forma de estoque, podemos admitir que $\eta_K = 0$.

Observando-se que o valor de η_L é muito pequeno em relação aos valores de η_M e η_E e próximo de zero, não podemos eliminar a possibilidade de que estatisticamente η_L seja zero. Neste caminho, o progresso tecnológico mais provável que tenha ocorrido é o neutro de Leontief que exige apenas as seguintes condições: $\eta_L = 0$ e $\eta_K = 0$.

Utilizando-se os resultados da estimação do modelo básico e os correspondentes valores dos fatores de crescimento, calculamos o aumento nas produtividades para cada empresa ao longo do período 1978/92. Em termos de produtividade total, os valores são surpreendentes, pois a média geral no período foi em torno de 9,9% ao ano e o maior desempenho foi o de FURNAS, com valores quase sempre acima de 10% ao ano.

Considerando-se agora os fatores individuais, percebemos, como era esperado, que a contribuição do insumo mão-de-obra para o aumento na produtividade total foi muito baixa no período de análise, com uma média geral de aproximadamente 0,3% ao ano. Convém salientar que o maior desempenho desse fator ocorreu na CHESF.

O insumo materiais elétricos, apesar de possuir um elevado fator de aumento, teve uma contribuição média geral de cerca de 2,6% ao ano, porque sua participação relativa no custo variável geralmente é muito baixa. Salientamos também que o maior desempenho desse fator no período analisado ocorreu na CHESF.

O insumo energia foi o que mais contribuiu para o aumento na produtividade total no modelo básico, com uma média geral aproximada de 7,0% ao ano. O maior desempenho aconteceu em FURNAS, porém esse resultado é muito influenciado pela compra em grande escala de energia elétrica de ITAIPU, o que aconteceu também com a ELETROSUL.

A fim de verificar se de fato o intercâmbio em termos de utilização do insumo energia elétrica no processo produtivo distorcia ou não os valores dos aumentos nas produtividades, reestimamos o modelo básico nestas condições.

Utilizando-se os resultados desta estimação e tomando-se as restrições sobre os parâmetros dadas por (VI.22), (VI.23) e (VI.24), determinamos os novos valores para os fatores de aumento: $\eta_L = 0,01222$, $\eta_M = -0,30137$ e $\eta_F = -0,15371$.

Observando-se o valor de η_L , notamos que houve uma inversão de sinal em relação ao modelo básico, mas não podemos eliminar a possibilidade de que η_L seja estatisticamente igual a zero. Assim, é provável que tenha ocorrido o progresso tecnológico neutro, no sentido de Leontief, tendo em vista que ele exige apenas que $\eta_L = 0$ e $\eta_K = 0$.

Utilizando-se novamente os resultados da estimação do modelo de custo sem considerar o intercâmbio de eletricidade e os correspondentes valores dos fatores de crescimento, calculamos os valores dos aumentos nas produtividades para cada empresa ao longo do período 1979/1992. Os valores do aumento nas produtividades totais caíram bastante no período, passando de cerca de 9,9% ao ano para 2,4% ao ano, onde o melhor desempenho agora foi na ELETRONORTE, com uma média de 7,3% ao ano.

Quanto aos fatores individuais, o insumo mão-de-obra agora teve uma contribuição negativa, com uma média de -1,0% ao ano, enquanto que o insumo materiais elétricos manteve uma contribuição de cerca de 1,5% ao ano no período.

Já a contribuição do insumo energia, agora representado apenas pelo combustível utilizado na geração térmica, teve uma queda em relação ao modelo básico de cerca de 7,0% ao ano para aproximadamente 2,0% ao ano. O maior desempenho ocorreu na ELETRONORTE (6,7%), devido a uma melhor utilização deste insumo no processo de geração de eletricidade.

Quanto ao insumo fixo capital, tentamos mensurar seu efeito sobre o desempenho das empresas em estudo estimando a elasticidade do custo variável em relação ao estoque de capital, cujo valor médio geral foi cerca de -0,22, o que é coerente com um processo de aumento de produtividade. Uma outra medida que estimamos ao longo do período foi a produtividade média do capital, que permaneceu relativamente estável no período 1978/92, com uma média geral 0,98 MWh para cada mil cruzeiros de 1992 em termos de capital investido.

Uma variável importante para verificação da eficiência operacional das empresas é o custo variável médio. Existem dois fatores que aumentam bastante seu valor: (i) uma maior participação da geração térmica, como ocorreu na ELETRONORTE no período 1979/83; e (ii) uma maior participação no volume de eletricidade comprada de outras concessionárias, como vem acontecendo com FURNAS e ELETROSUL a partir de 1984.

Finalmente, a nível de novos estudos passíveis de serem realizados a partir do arcabouço teórico e dos dados utilizados neste trabalho, podemos chamar a atenção sobre a verificação a nível regional da existência do monopólio natural na geração de eletricidade. Isto pode ser obtido ao longo do período 1978/92, analisando-se a função de custo variável médio e verificando se a escala ótima de produção é compatível como o nível da demanda por energia elétrica.

A verificação da existência de monopólio natural poderá servir para nortear a regulamentação do setor, que deveria ser dinâmica quanto a esta questão, tendo em vista que hoje um determinado mercado pode ter características de monopólio natural e daqui a alguns anos poderá deixar de ser.

A experiência tem demonstrado que regular monopólios através de concessão nem sempre é algo que se aproxime da concorrência perfeita. De fato, se tivermos um mercado de geração de eletricidade dinâmico e em franco crescimento, a eliminação da regulamentação de preço e entrada pode resultar em uma estrutura oligopolizada. Entretanto, uma mera observação de economias de escala, escopo e de coordenação, como é o caso do setor elétrico, ou que duas ou mais firmas podem suprir o mercado de forma eficiente, não necessariamente implicará que um mercado não regulamentado tenha uma melhor performance que um mercado regulamentado. Mas, de qualquer modo, a verificação da existência do monopólio natural a nível regional é algo fundamental para decisões de regulamentação.

Um outro problema que pode ser estudado é o do tamanho ótimo da empresa de geração de eletricidade no Brasil que depende bastante da técnica utilizada, que podemos agrupar em dois tipos principais, de acordo com a origem: hidráulica e térmica. Os trabalhos nessa linha tentam analisar as economias de escala a nível de firma. No estudo específico de Christensen e Greene (1976), concluiu-se que o tamanho ótimo das empresas de geração de eletricidade nos Estados Unidos era 4.000 megawatt de capacidade, o que se justifica

porque 80% das firmas do setor naquele país tinham capacidade inferior a este limite. Provavelmente no Brasil, cuja principal característica é a geração hidráulica, este limite seja bem maior.

Finalmente, um assunto ainda a ser explorado em pesquisa econômica é a existência de economias de integração vertical entre a distribuição, transmissão e geração elétrica. Também podem existir economias de coordenação, tendo em vista que, devido ao sistema elétrico quase sempre ser interligado, as empresas se engajam, na maioria dos países, em atividades cooperativas como: (i) propriedade conjunta de plantas de geração e sistemas de transmissão; (ii) interconecção entre outras áreas de controle independente; e (iii) atividades de "pooling" de potência, que no Brasil são comandadas pela própria ELETROBRÁS.

O trabalho de Kaserman e Mayo (1991) mostra que para os Estados Unidos as empresas mais eficientes são aquelas distribuidoras que também geram, pelo menos parte da eletricidade por elas vendida. Este tipo de estudo pode ser realizado a nível de Brasil para verificar nas várias regiões se a desverticalização do setor via SINTREL de fato irá ter efeito positivo sobre a sociedade.

APÊNDICE A

A. LISTA DE SÍMBOLOS

MW - megawatt, unidade de potência ou carga elétrica, vale mil kW

MWh - megawatt-hora, unidade de energia elétrica, vale mil kWh

kV - quilovolt, unidade de tensão elétrica, vale mil V

TEP - tonelada equivalente de petróleo, unidade universal de energia

L, K, M, E - quantidades dos insumos mão-de-obra, capital, material elétrico e energia

B - viés tecnológico

x_1, x_2, \dots, x_n - quantidades de insumos

w_1, w_2, \dots, w_n - preços de insumos

TFP - produtividade total dos fatores

σ - elasticidade-substituição de fatores

w_L, w_K, w_M, w_E - preços dos fatores mão-de-obra, capital, material elétrico e energia

q_1, q_2, \dots, q_m - quantidades de produtos

p_1, p_2, \dots, p_m - preços de produtos

q - quantidade de eletricidade vendida

S_1, S_2, \dots, S_n - participações relativas dos insumos no custo variável

S_L, S_M, S_E - participações relativas dos insumos mão-de-obra, material elétrico e energia no custo variável.

C - custo variável de produção

v_T - taxa de progresso tecnológico

r_1, r_2, \dots, r_I - taxas de juros de concorrência perfeita

λ - multiplicador de Lagrange

k_1, k_2, \dots, k_j - quantidades dos insumos de capital.

m - mark-up

p_E, p_C, p_B - preços de energia elétrica, óleo combustível e biomassa

y - produto interno bruto regional

t - tempo

e_1, e_2, \dots, e_j - taxas de lucros excedentes para a firma regulamentada

v_1, v_2, \dots, v_M - variáveis que representam o custo social de produção dos bens

u_t - variável que representa o custo de uso do insumo capital.

$\eta_L, \eta_K, \eta_M, \eta_E$ - fatores de aumento dos insumos mão-de-obra, capital, material elétrico e energia.

D_2, D_3, D_4 - variáveis dummies que captam efeitos regionais

D_L - variável dummy que capta o efeito da mudança de política de pessoal a partir de 1990

TE - participação da geração térmica na geração elétrica total para cada empresa

r - taxa de juros real competitiva.

APÊNDICE B

B. LISTAGEM DOS DADOS

Participação Relativa da Mão-de-obra

Last updated: 07/01/95 - 09:17				
1978:1	0.764706	0.714932	0.630495	0.509073
1979:1	0.921875	0.846465	0.510924	0.393525
1980:1	0.136122	0.849926	0.678315	0.654283
1981:1	0.155093	0.945100	0.669556	0.869613
1982:1	0.306749	0.930873	0.714286	0.829733
1983:1	0.229553	0.943063	0.653869	0.803592
1984:1	0.221760	0.956000	0.640139	0.806452
1985:1	0.369000	0.932400	0.310115	0.554371
1986:1	0.363203	0.944928	0.236063	0.457498
1987:1	0.449895	0.708818	0.144308	0.350569
1988:1	0.493430	0.552000	0.175548	0.345840
1989:1	0.808955	0.743381	0.194584	0.340072
1990:1	0.733280	0.744704	0.120960	0.261595
1991:1	0.697834	0.885732	0.098155	0.187637
1992:1	0.809159	0.820493	0.122539	0.228658

Participação Relativa de Materiais Elétricos

Last updated: 07/01/95 - 09:17				
1978:1	0.176471	0.085973	0.048414	0.075605
1979:1	0.062500	0.119192	0.037255	0.052440
1980:1	0.023453	0.077637	0.056709	0.051012
1981:1	0.026256	0.054542	0.048110	0.063554
1982:1	0.043806	0.069008	0.035890	0.050580
1983:1	0.038243	0.053747	0.034114	0.038871
1984:1	0.093247	0.043838	0.031534	0.053763
1985:1	4.55E-05	0.047803	0.022351	0.036247
1986:1	0.050524	0.047101	0.014625	0.033863
1987:1	0.059524	0.028211	0.007999	0.028701
1988:1	0.004145	0.016461	0.006395	0.015745
1989:1	0.028856	0.008147	0.005023	0.010830
1990:1	0.026632	0.012675	0.004531	0.007776
1991:1	0.019112	0.011020	0.004102	0.004672
1992:1	0.030833	0.016223	0.003983	0.009651

Participação Relativa da Energia

Last updated: 07/01/95 - 09:17

1978:1	0.058824	0.199095	0.321091	0.415323
1979:1	0.015625	0.034343	0.451821	0.554036
1980:1	0.840426	0.072437	0.264976	0.294705
1981:1	0.818651	0.000358	0.282334	0.066833
1982:1	0.649445	0.000119	0.249825	0.119687
1983:1	0.732204	0.003190	0.312017	0.157537
1984:1	0.684993	0.000162	0.328327	0.139785
1985:1	0.630954	0.019797	0.667534	0.409382
1986:1	0.586273	0.007971	0.749312	0.508639
1987:1	0.490581	0.262971	0.847692	0.620730
1988:1	0.502425	0.431539	0.818058	0.638416
1989:1	0.162189	0.248473	0.800393	0.649098
1990:1	0.240088	0.242621	0.874509	0.730630
1991:1	0.283055	0.103248	0.897743	0.807691
1992:1	0.160007	0.163284	0.873478	0.761692

Variável Referente ao Custo Social de Produção

Last updated: 07/01/95 - 09:17

1978:1	0.564691	2.145624	1.923652	1.141456
1979:1	0.254645	2.886014	1.592392	0.839656
1980:1	0.278199	2.262687	2.358390	0.969253
1981:1	0.228071	2.658719	2.342809	1.393535
1982:1	0.318195	1.795352	2.068633	1.194550
1983:1	0.274098	2.556859	2.373156	1.386241
1984:1	0.281731	2.334036	2.306954	1.579343
1985:1	0.439628	1.978845	1.056560	1.237812
1986:1	0.506303	1.420711	0.908749	1.195398
1987:1	0.697145	1.064536	0.644682	0.820209
1988:1	0.876425	0.957444	0.713760	0.736384
1989:1	0.558458	0.782512	0.499156	0.516779
1990:1	0.811053	1.318051	0.533839	0.614521
1991:1	0.787771	1.077397	0.575589	0.595583
1992:1	1.041825	1.366445	0.512897	0.693581

Variável Referente ao Custo do Capital Remunerável

Last updated: 07/01/95 - 09:17

1978:1	0.228760	1.465884	0.663726	0.377935
1979:1	1.141044	7.058945	2.955645	1.728805
1980:1	0.322776	9.022017	6.141145	3.872565
1981:1	0.041939	1.133093	0.538055	0.516693
1982:1	-0.324807	-2.694249	-1.664576	-1.592216
1983:1	0.179809	2.066222	1.058570	1.175848
1984:1	-0.461635	-3.839129	-2.013629	-2.940849
1985:1	-2.013456	-4.119606	-1.114280	-2.307829
1986:1	-0.810133	-1.100482	-0.301907	-0.655041
1987:1	3.874139	3.133979	0.817606	1.591335
1988:1	1.180050	0.859123	0.230903	0.460057
1989:1	-3.847696	-3.114221	-0.645568	-0.877178
1990:1	1.155027	0.849242	0.118825	0.158277
1991:1	-2.152550	-1.254008	-0.144791	-0.205095
1992:1	-15.84853	-7.608665	-1.332337	-0.966485

Logaritmo das Vendas Físicas de Eletricidade

Last updated: 07/01/95 - 09:17

1978:1	4.330733	9.347396	10.14749	8.940236
1979:1	4.465908	9.522957	10.17019	8.870522
1980:1	7.461065	9.639646	10.14929	8.974618
1981:1	7.504873	9.707039	10.19171	8.903815
1982:1	7.560176	9.785477	10.18667	8.975883
1983:1	7.926962	10.06078	10.30511	9.105313
1984:1	8.260720	10.08942	10.46327	9.513404
1985:1	8.677776	10.04369	10.72652	9.591854
1986:1	9.317640	10.10471	10.99838	9.811920
1987:1	9.627151	10.05657	11.15596	9.842675
1988:1	9.707394	10.13303	11.25643	9.792053
1989:1	9.749830	10.19940	11.25484	9.954703
1990:1	9.810188	10.23699	11.21074	9.992230
1991:1	9.959129	10.29078	11.36397	9.873080
1992:1	9.916143	10.34274	11.38163	10.05182

Logaritmo do Preço Relativo da Mão-de obra

Last updated: 07/01/95 - 09.17				
1978:1	0.000000	0.936582	2.467843	2.465344
1979:1	0.828555	1.511713	2.503106	2.497882
1980:1	1.188636	1.505661	2.358255	2.756395
1981:1	1.749745	1.401587	2.253529	2.682018
1982:1	2.127706	1.895260	2.407334	2.921407
1983:1	1.969032	1.514719	2.344381	2.800627
1984:1	1.938360	1.608564	2.425101	2.738459
1985:1	2.333217	1.771044	2.791680	2.822322
1986:1	2.759943	2.086385	2.870622	2.866916
1987:1	3.110034	2.014796	2.830090	2.957979
1988:1	3.237790	2.038311	3.099526	3.132810
1989:1	3.658620	2.365921	3.377796	3.281615
1990:1	3.300665	2.000714	3.037945	2.974569
1991:1	3.650834	2.725912	3.529634	3.301611
1992:1	3.645242	2.687734	3.873775	3.698624

Logaritmo do Preço Relativo dos Materiais Elétricos

Last updated: 07/01/95 - 09.17				
1978:1	1.19E-07	1.19E-07	1.19E-07	1.19E-07
1979:1	-0.070526	0.029329	0.029329	0.029329
1980:1	-0.400189	-0.298720	0.014233	0.014233
1981:1	-0.572848	-0.448321	-0.110639	-0.110639
1982:1	-0.467984	-0.344703	-0.002661	-0.002661
1983:1	-0.566850	-0.520416	0.037979	0.037979
1984:1	-0.681146	-0.651983	-0.037116	-0.036982
1985:1	-0.540517	-0.598574	0.011669	0.008094
1986:1	-0.321376	-0.659394	-0.078486	-0.082821
1987:1	-0.378161	-0.982693	-0.401217	-0.406928
1988:1	-0.201980	-0.806512	-0.178677	-0.183548
1989:1	-0.075367	-0.708363	-0.085714	-0.083809
1990:1	-0.006636	-0.612408	0.010227	0.012618
1991:1	-0.123913	-0.694742	-0.072345	-0.069411
1992:1	-0.138457	-0.708974	-0.086672	-0.083642

Logaritmo do Investimento Remunerável

Last updated: 07/01/95 - 09:17

1978:1	9.062914	12.78019	13.30853	12.03814
1979:1	9.205714	13.00567	13.38198	12.29285
1980:1	10.80958	12.86229	13.16743	12.11863
1981:1	11.67940	13.13313	13.19242	12.41033
1982:1	11.86814	13.28923	13.23697	12.64897
1983:1	12.22659	13.46508	13.47606	12.86075
1984:1	12.38022	13.43259	13.41247	12.86923
1985:1	13.84715	13.40720	13.70344	12.79119
1986:1	13.48869	13.00508	13.52993	12.39761
1987:1	13.83137	13.26915	13.87624	12.74536
1988:1	14.06560	13.92787	13.99109	12.92791
1989:1	14.48219	14.16641	14.15370	13.03036
1990:1	13.44151	13.17132	13.10473	11.89873
1991:1	14.58066	14.41549	14.27851	13.11047
1992:1	14.71648	14.25408	14.38608	13.18393

Variável que capta a mudança da política salarial

Last updated: 07/01/95 - 09:17

1978:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1979:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1980:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1981:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1982:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1983:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1984:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1985:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1986:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1987:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1988:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1989:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1990:1	3.300665	2.000714	3.037945	2.974569
1991:1	3.650834	2.725912	3.529634	3.301611
1992:1	3.645242	2.687734	3.873775	3.698624

Participação da Geração Térmica

Last updated: 07/01/95 - 09:17				
1978:1	0.400000	0.004106	0.018193	0.438275
1979:1	0.386792	0.008584	0.004324	0.323013
1980:1	0.944532	0.000539	0.001399	0.222486
1981:1	0.850167	5.61E-05	0.000453	0.314249
1982:1	0.911197	4.85E-05	0.002368	0.285077
1983:1	0.904906	4.33E-05	0.006563	0.183986
1984:1	0.168214	3.88E-05	0.046497	0.141818
1985:1	0.187381	0.000000	0.002355	0.215061
1986:1	0.141392	0.000000	0.007175	0.296710
1987:1	0.142231	0.000000	0.069300	0.195248
1988:1	0.114974	0.020948	0.043319	0.170807
1989:1	0.055613	0.013931	0.076691	0.146539
1990:1	0.048536	0.000433	0.090736	0.093894
1991:1	0.052624	0.000135	0.047962	0.175025
1992:1	0.082162	6.15E-05	0.056874	0.113000

Variável de Tendência

Last updated: 07/01/95 - 09:17				
1978:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1979:1	2.000000	2.000000	2.000000	2.000000
1980:1	3.000000	3.000000	3.000000	3.000000
1981:1	4.000000	4.000000	4.000000	4.000000
1982:1	5.000000	5.000000	5.000000	5.000000
1983:1	6.000000	6.000000	6.000000	6.000000
1984:1	7.000000	7.000000	7.000000	7.000000
1985:1	8.000000	8.000000	8.000000	8.000000
1986:1	9.000000	9.000000	9.000000	9.000000
1987:1	10.00000	10.00000	10.00000	10.00000
1988:1	11.00000	11.00000	11.00000	11.00000
1989:1	12.00000	12.00000	12.00000	12.00000
1990:1	13.00000	13.00000	13.00000	13.00000
1991:1	14.00000	14.00000	14.00000	14.00000
1992:1	15.00000	15.00000	15.00000	15.00000

Variavel que capta o efeito da política monetária

Last updated: 07/01/95 - 09:17				
1978:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1979:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1980:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1981:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1982:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1983:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1984:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1985:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1986:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1987:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1988:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1989:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1990:1	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
1991:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1992:1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Taxa de Juros Fornecida pelo IPEA

Last updated: 07/01/95 - 10:10					
1975			0.028375	0.034722	-0.205709
1980	-0.305493	-0.028883	0.084285	-0.039634	0.084023
1985	0.098696	0.034325	-0.148277	-0.049246	0.165494
1990	-0.047893	0.067355	0.301312	NA	NA

APÊNDICE C

C. LISTAGENS DOS RESULTADOS DAS ESTIMAÇÕES ECONÔMETRICAS

System: MODELO3				
Estimation Method: Iterative Three-Stage Least Squares				
Instruments: C LD LE ME LQ LK TP TE D2 D3 D4 SL4 SM4 VQ4 UK4				
DJA				
Sample: 1978:1 1992:4				
Convergence achieved after 7 iterations				
Date: 05/22/95 Time: 07:41				
	Coefficient	Std. Error	T-Statistic	Prob.
C(1)	1.786557	0.522957	3.416259	0.0008
C(2)	0.420063	0.075385	5.572247	0.0000
C(3)	0.004241	0.022788	0.186082	0.8526
C(4)	0.021496	0.010652	2.018060	0.0451
C(5)	-0.183397	0.052700	-3.480025	0.0006
C(6)	-0.008618	0.061810	-0.139434	0.8893
C(7)	-0.053598	0.010600	-5.056651	0.0000
C(8)	-0.649647	0.140941	-4.609340	0.0000
C(9)	0.663313	0.105066	6.313310	0.0000
C(10)	-0.033238	0.114341	-0.290690	0.7716
C(11)	-0.081510	0.098290	-0.829275	0.4080
C(13)	0.208843	0.056528	3.694527	0.0003
C(14)	0.002850	0.002159	1.320395	0.1884
C(15)	-0.008435	0.013488	-0.625346	0.5325
C(16)	0.001849	0.005628	0.328638	0.7428
C(17)	-0.011699	0.006004	-1.948531	0.0529
C(18)	-0.008156	0.001239	-6.580423	0.0000
C(19)	-0.056660	0.014691	-3.856686	0.0002
C(20)	0.002843	0.011958	0.237788	0.8123
C(21)	-0.035355	0.010687	-3.308274	0.0011
C(22)	-0.024923	0.008967	-2.779475	0.0060
C(23)	-0.158605	0.105105	-1.509010	0.1330
C(24)	-1.558274	0.946707	-1.645994	0.1015
C(25)	0.176246	0.116381	1.514386	0.1317
C(26)	0.142682	0.044157	3.231233	0.0015
C(27)	0.175181	0.117845	1.486535	0.1389
C(28)	-0.135083	0.022190	-6.087444	0.0000
C(29)	-0.822386	0.288212	-2.853405	0.0048
C(30)	0.196893	0.179105	1.099318	0.2731
C(31)	-0.144861	0.243028	-0.596068	0.5519
C(32)	0.172121	0.195479	0.880507	0.3797
C(33)	0.228844	0.071394	3.205375	0.0016
C(34)	6.416226	7.746926	0.828229	0.4086
C(35)	-0.644725	0.623443	-1.034136	0.3024
C(36)	-0.161746	0.353183	-0.457967	0.6475
C(37)	-0.180983	0.150941	-1.199028	0.2321
C(38)	-1.998717	2.215950	-0.901968	0.3683
C(39)	0.636015	1.147348	0.554335	0.5800
C(40)	1.015284	1.127202	0.900712	0.3689
C(41)	0.624326	1.024304	0.609512	0.5429
C(42)	3.080491	0.606463	5.079437	0.0000
C(43)	0.024040	0.122226	0.196685	0.8443

Determinant residual covariance		6.30E-07	
Equation: $SL=C(1)+C(2)*LE+C(3)*LD+C(4)*ME+C(5)*LQ+C(6)*LK+C(7)*TP+C(8)*TE+C(9)*D2+C(10)*D3+C(11)*D4$			
Observations: 56			
R-squared	0.702954	Mean dependent var	0.550939
Adjusted R-squared	0.636943	S.D. dependent var	0.283698
S.E. of regression	0.170940	Sum squared resid	1.314919
Durbin-Watson stat	1.690011		
Equation: $SM=C(13)+C(4)*LE+C(14)*LD+C(15)*ME+C(16)*LQ+C(17)*LK+C(18)*TP+C(19)*TE+C(20)*D2+C(21)*D3+C(22)*D4+C(23)*SM4$			
Observations: 56			
R-squared	0.718386	Mean dependent var	0.033627
Adjusted R-squared	0.647983	S.D. dependent var	0.024595
S.E. of regression	0.014593	Sum squared resid	0.009370
Durbin-Watson stat	2.097630		
Equation: $VQ=C(24)+C(25)*LQ+C(5)*LE+C(26)*LD+C(16)*ME+C(27)*LK+C(28)*TP+C(29)*TE+C(30)*D2+C(31)*D3+C(32)*D4+C(33)*VQ4$			
Observations: 56			
R-squared	0.821058	Mean dependent var	1.144171
Adjusted R-squared	0.776322	S.D. dependent var	0.719943
S.E. of regression	0.340494	Sum squared resid	5.101198
Durbin-Watson stat	1.854039		
Equation: $UK=C(34)+C(35)*LK+C(27)*LQ+C(6)*LE+C(36)*LD+C(17)*ME+C(37)*TP+C(38)*TE+C(39)*D2+C(40)*D3+C(41)*D4+C(42)*DJA+C(43)*UK4$			
Observations: 56			
R-squared	0.500184	Mean dependent var	-0.224450
Adjusted R-squared	0.360700	S.D. dependent var	3.436318
S.E. of regression	2.747551	Sum squared resid	324.6085
Durbin-Watson stat	1.673507		

System: MODELO3

Estimation Method: Iterative Three-Stage Least Squares

Instruments: C LD LE ME LQ LK TP TE D2 D3 D4 SL4 SM4 VQ4 UK4
DJA

Sample: 1978:1 1992:4

Convergence achieved after 7 iterations

Date: 05/22/95 Time: 07:53

	Coefficient	Std. Error	T-Statistic	Prob
C(1)	1.597833	0.528395	3.023935	0.0030
C(2)	0.341182	0.087724	3.889269	0.0002
C(3)	0.007283	0.022518	0.323433	0.7469
C(4)	0.022792	0.010742	2.121667	0.0357
C(5)	-0.227772	0.057446	-3.964970	0.0001
C(6)	0.046364	0.065318	0.709829	0.4790
C(7)	-0.046182	0.010916	-4.230530	0.0000
C(8)	-0.664717	0.138519	-4.798749	0.0000
C(9)	0.643952	0.111910	5.754213	0.0000
C(10)	0.042791	0.120175	0.356073	0.7223
C(11)	0.004747	0.103603	0.045818	0.9635
C(13)	0.214336	0.056685	3.781174	0.0002
C(14)	0.002780	0.002161	1.286111	0.2006
C(15)	-0.008534	0.013497	-0.632268	0.5283
C(16)	0.002549	0.005650	0.451122	0.6526
C(17)	-0.012780	0.006029	-2.119586	0.0359
C(18)	-0.008249	0.001242	-6.640549	0.0000
C(19)	-0.056789	0.014702	-3.862694	0.0002
C(20)	0.003150	0.012039	0.261666	0.7940
C(21)	-0.036500	0.010724	-3.403705	0.0009
C(22)	-0.026387	0.008997	-2.932868	0.0039
C(23)	-0.158099	0.105113	-1.504089	0.1349
C(24)	-1.553692	0.940572	-1.651858	0.1009
C(25)	0.153285	0.116400	1.316884	0.1901
C(26)	0.143312	0.043892	3.265080	0.0014
C(27)	0.195889	0.117465	1.667642	0.0977
C(28)	-0.129751	0.022366	-5.801153	0.0000
C(29)	-0.845987	0.287345	-2.944153	0.0038
C(30)	0.182594	0.179281	1.018480	0.3103
C(31)	-0.104539	0.242583	-0.430941	0.6672
C(32)	0.213626	0.195305	1.093806	0.2760
C(33)	0.229522	0.073327	3.130132	0.0021

Determinant residual covariance 1.56E-07

Equation: $SL = C(1) + C(2)*LE + C(3)*LD + C(4)*ME + C(5)*LQ + C(6)*LK$
 $+ C(7)*TP + C(8)*TE + C(9)*D2 + C(10)*D3 + C(11)*D4$

Observations: 56

R-squared	0.713729	Mean dependent var	0.550939
Adjusted R-squared	0.650114	S.D. dependent var	0.283698
S.E. of regression	0.167811	Sum squared resid	1.267219

Durbin-Watson stat		1.762392	
Equation: $SM=C(13)+C(4)*LE+C(14)*LD+C(15)*ME+C(16)*LQ+C(17)*LK$ $+C(18)*TP+C(19)*TE+C(20)*D2+C(21)*D3+C(22)*D4+C(23)*SM4$			
Observations: 56			
R-squared	0.717841	Mean dependent var	0.033627
Adjusted R-squared	0.647301	S.D. dependent var	0.024595
S.E. of regression	0.014607	Sum squared resid	0.009388
Durbin-Watson stat		2.073605	
Equation: $VQ=C(24)+C(25)*LQ+C(5)*LE+C(26)*LD+C(16)*ME+C(27)*LK$ $+C(28)*TP+C(29)*TE+C(30)*D2+C(31)*D3+C(32)*D4+C(33)*VQ4$			
Observations: 56			
R-squared	0.823320	Mean dependent var	1.144171
Adjusted R-squared	0.779150	S.D. dependent var	0.719943
S.E. of regression	0.338335	Sum squared resid	5.036706
Durbin-Watson stat		1.876141	

System: Untitled

Estimation Method: Iterative Three-Stage Least Squares

Instruments: C LD LEL MEL LQL LK TP TE D2 D3 D4 SLL4 SML4
VQL4 VKL4 DJA

Sample: 1978:1 1993:4

Convergence achieved after 9 iterations

Date: 11/06/95 Time: 15:05

	Coefficient	Std. Error	T-Statistic	Prob.
C(1)	1.239832	0.366468	3.383193	0.0009
C(2)	0.131685	0.042864	3.072135	0.0025
C(3)	0.013978	0.014405	0.970351	0.3332
C(4)	0.037870	0.011721	3.230848	0.0015
C(5)	-0.055971	0.022053	-2.537948	0.0120
C(6)	-0.016021	0.031693	-0.505512	0.6138
C(7)	-0.016257	0.007265	-2.237642	0.0265
C(8)	-0.547590	0.096465	-5.676570	0.0000
C(9)	0.227375	0.058939	3.857829	0.0002
C(10)	0.194484	0.058837	3.305439	0.0011
C(11)	0.206047	0.055694	3.699643	0.0003
C(12)	0.398069	0.090155	4.415390	0.0000
C(13)	0.352303	0.086324	4.081195	0.0001
C(14)	0.002739	0.002515	1.089056	0.2776
C(15)	-0.022658	0.018232	-1.242760	0.2156
C(16)	-0.012030	0.004094	-2.938701	0.0037
C(17)	-0.008606	0.006948	-1.238760	0.2170
C(18)	-0.009629	0.001484	-6.490091	0.0000
C(19)	-0.082383	0.018665	-4.413681	0.0000
C(20)	0.018501	0.009974	1.854964	0.0652
C(21)	0.014753	0.009364	1.575483	0.1169
C(22)	0.011799	0.009485	1.243953	0.2151
C(23)	-0.183389	0.093493	-1.961514	0.0514
C(24)	-0.744031	1.069726	-0.695534	0.4876
C(25)	0.267495	0.083324	3.210297	0.0016
C(26)	0.160569	0.050669	3.168988	0.0018
C(27)	0.007916	0.101648	0.077872	0.9380
C(28)	-0.102533	0.021940	-4.673427	0.0000
C(29)	-0.572507	0.350047	-1.635515	0.1037
C(30)	0.632065	0.212149	2.979340	0.0033
C(31)	0.080003	0.200990	0.398046	0.6911
C(32)	-0.051914	0.174630	-0.297277	0.7666
C(33)	0.196403	0.084163	2.333610	0.0207
C(34)	15.80759	14.49340	1.090675	0.2769
C(35)	-1.293906	1.137418	-1.137582	0.2568
C(36)	-1.357836	0.657129	-2.066316	0.0402
C(37)	-0.334813	0.279717	-1.196972	0.2329
C(38)	-4.999749	4.125342	-1.211960	0.2271
C(39)	1.037155	2.131869	0.486500	0.6272
C(40)	2.114048	2.073016	1.019793	0.3092
C(41)	1.447342	1.888713	0.766312	0.4445
C(42)	6.734737	1.230801	5.471832	0.0000

C(43)	0.012111	0.143569	0.084359	0.9329
Determinant residual covariance		3.06E-06		
Equation: $SLL=C(1)+C(2)*LEL+C(3)*LD+C(4)*MEL+C(5)*LQL+C(6)*LK+C(7)*TP+C(8)*TE+C(9)*D2+C(10)*D3+C(11)*D4+C(12)*SLL4$				
Observations: 56				
R-squared	0.817119	Mean dependent var	0.824538	
Adjusted R-squared	0.771399	S.D. dependent var	0.228200	
S.E. of regression	0.109107	Sum squared resid	0.523796	
Durbin-Watson stat	1.747520			
Equation: $SML=C(13)+C(4)*LEL+C(14)*LD+C(15)*MEL+C(16)*LQL+C(17)*LK+C(18)*TP+C(19)*TE+C(20)*D2+C(21)*D3+C(22)*D4+C(23)*SML4$				
Observations: 56				
R-squared	0.583243	Mean dependent var	0.047981	
Adjusted R-squared	0.479054	S.D. dependent var	0.025962	
S.E. of regression	0.018738	Sum squared resid	0.015449	
Durbin-Watson stat	2.187991			
Equation: $VQL=C(24)+C(25)*LQL+C(5)*LEL+C(26)*LD+C(16)*MEL+C(27)*LK+C(28)*TP+C(29)*TE+C(30)*D2+C(31)*D3+C(32)*D4+C(33)*VQL4$				
Observations: 56				
R-squared	0.835434	Mean dependent var	1.443565	
Adjusted R-squared	0.794292	S.D. dependent var	0.862856	
S.E. of regression	0.391349	Sum squared resid	6.738762	
Durbin-Watson stat	1.699202			
Equation: $VKL=C(34)+C(35)*LK+C(27)*LQL+C(6)*LEL+C(36)*LD+C(17)*MEL+C(37)*TP+C(38)*TE+C(39)*D2+C(40)*D3+C(41)*D4+C(42)*DJA+C(43)*VKL4$				
Observations: 56				
R-squared	0.617383	Mean dependent var	-1.172925	
Adjusted R-squared	0.510606	S.D. dependent var	7.313706	
S.E. of regression	5.116425	Sum squared resid	1125.646	
Durbin-Watson stat	1.442400			

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFRIAT, S. N. - Efficiency Estimation of Production Functions, *International Economic Review*, vol. 13, 1972.
- ALGNER, D. J., and CHU, S.F. - On Estimating the Industry Production Function, *American Economic Review*, 1968, vol. 58, pp. 826-839.
- ALVES, P. S. M. - The Measurement and Sources of Technical Efficiency in the Manufacturing Industry: A Case Study for Brazil, *Revista de Economia*, vol. , 1988, pp. 297-315.
- ATKINSON, S. E. and CORNWELL, C. - Measuring Technical Efficiency with Panel Data, *Journal of Econometrics*, vol. 59, 1993, pp. 257-261.
- ATKINSON, S. E. and CORNEWELL, C. - Parametric Estimation of Technical and Allocative Inefficiency with Panel Data, *International Economic Review*, vol. 35, nº 1, 1994, pp 231-243.
- ATKINSON, S. E., and HALVORSEN, R. - Parametric Efficiency Tests, Economies of Scale, and Input Demand in V.S. Electric Power Generation, *International Economic Review*, vol. 25, 1984.
- AVERCH, H., and JOHNSON, L. - Behavior of the Firm under Regulatory Constraint, *American Economic Review*, vol. 52, 1962.
- BAILEY, E. E. - *Economic Theory of Regulatory Constraint*, Health Lexington, Massachussetes, 1973.
- BAILEY, E. E. and PANZAR, J.C. - The Contestability of Airline Markets During the Transition to Deregulation, *Law and Contemporary Problems*, vol. 44, 1981, pp. 125-145.

- BAILEY, E. E., GRAHAM, D. R. and KAPLAN, D. P. - *Deregulating the Airlines*, Cambridge, MIT Press, 1985.
- BAUMOL, W. J., and KLEVORICK, A. R. - Input Choices and Rate-Return Regulation: An Overview of the Discussion, *Bell Journal Economics and Management Science*, vol. 1, 1970.
- BAUMOL, W. J., PANZAR, J. C. and WILLIG, R. D. - *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, New York, Harcourt Brace Jovanovitch, 1982.
- BAUMOL, W. J., and WOLFF, E. N. - On Interindustry Differences in Absolute Productivity, *Journal of Political Economy*, 1984, vol. 92, pp. 1017-1034.
- BECKER, G. S. - A Theory of Competition Among Pressure Groups for Political Influence, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 98, 1983, pp. 371-400.
- BERG, S. A., FORSUND, T. R. and JANSEN, E. S. - Malmquist Indices of Productivity Growth during the Deregulation of Norwegian Banking, 1980-89, *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 94, supplement, 1992, pp. 211-228.
- BERNDT, E. R. and HANSSON, B. - Measuring the Contribution of Public Infraestructure Capital in Sweden, *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 94, supplement, 1992, pp 151-158.
- BERNDT, E. R., and KHALED, M. S. - Parametric Productivity Measurement and Choice Among Flexible Functional Forms, *Journal Political Economy*, vol. 87, 1979.
- BINSWANGER, H. P. - A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Substitution, *American Journal of Agriculture Economics*, vol 56, 1974a.

- BINSWANGER, H. P. - A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Substitution, *American Economic Review*, 1974, vol. 56, pp. 377-386.
- BINSWANGER, H. P. - The Measurement of Technical Change Biases with Many Factors of Production, *American Economic Review*, 1974, vol. 64, pp. 964-976.
- BINSWANGER, H. P., and RUTTAN, V. W. - *Induced Innovation: Technology, Institutions, and Development*, John Hopkins University Press, Baltimore, 1978.
- BOITEUX, M. - La Tarification au Coût Marginal et les Demands Aléatoires, *Cahiers du Séminaire d'Econométrie*, n° 1, 1951, pp. 56-69.
- BOITEUX, M. - Peak-Load Pricing, *Journal of Business*, vol. 33, n° 2, 1960, pp. 157-179.
- BONELLI, R. - Crescimento e Produtividade na Indústria Brasileira: Impactos da Orientação Comercial, *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, vol. 21, n° 3, 1991, pp. 533-558.
- BOYER, K. D. - Minimum Rate Regulation, Modal Split Sensitivities and the Railroad Problem, *Journal of Political Economy*, vol. 85, 1977, pp. 493-512.
- BRAUETIGAM, R. R. - Optimal Policies for Natural Monopolies, in *Handbook of Industrial Organization*, vol. 2, eds. Richard Schmalensee and Robert D. Willig, Amsterdam, North-Holland, 1989, pp. 1289-1345.
- BRAGA, H. C. e ROSSI, J. W. - Produtividade Total dos Fatores de Produção na Indústria Brasileira: Mensuração e Decomposição de sua Taxa de Crescimento, *Textos para Discussão Interna*, n° 157, IPEA, 1988.
- CALABI, A. S. et alli. - *A Energia e a Economia Brasileira*, FIPE, São Paulo, 1983.
- CARVALHO, J. L. - Regulamentação e Desregulamentação Econômica: O Papel do Estado Regulador, *Universidade Santa Úrsula*, Rio de Janeiro, 1990, mimeo.

- CAVES, D. W., CHRISTENSEN, L. R. and TRETHERWAY, M. W. - Economies of Density versus Economies of Scale: Why Trunk and Local Service Airline Cost Differ, RAND Journal of Economics, vol. 15, n° 4, 1984, pp. 471-489.
- CAVES, R. - Air Transport and Its Regulators: An Industry Study, Cambridge, Harvard University Press, 1962.
- CHAMBERLIN, E. - The Theory of Monopolistic Competition. Harvard University Press, Cambridge, 1962.
- CHIESF, Relatório Anual, Recife, vários volumes.
- CHRISTENSEN, L. R., CUMMINGS, D., and JORGENSEN, D. W. - Economic Growth, 1947-1973: An International Comparison, in New Developments in Productivity Measurement and Analysis (J. W. Kendrick and B. N. Vaccara, eds.), Studies in Income and Wealth, National Bureau of Economics Research, Univ. of Chicago Press, Chicago, Illinois, 1980.
- CHRISTENSEN, L. R., JORGENSEN, D. W., and LAU, L. J. - Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Function, Econometrica, vol.39, 1971, pp 255-256.
- CHRISTENSEN, L. R., JORGENSEN, D. W., and LAU, L. J. - Transcendental Logarithmic Frontiers, Review Economics and Statistics, 1973, vol. 55, pp. 28-45.
- CHRISTENSEN, L. R., and GREENE, W. H. - Economies of Scale in V.S. Electric Power Generation, Journal Political Economy, vol 84, 1976.
- COBB, C. W., and DOUGLAS, P. H. - A Theory of Production, American Economic Review, 1928, vol. 18, p.. 139-165.
- COLWELL, R. J. and DAVIS, E. P. - Output and Productivity in Banking, Scandinavian Journal of Economics, vol. 94, supplement, 1992, pp. 11-129.

- CONSIDINE, T. J. - Separability, Functional Form and Regulatory Policy in Models of Interfuel Substitution, *Energy Economics*, 1989, pp. 82-94.
- CRAIG, C. E., and HARRIS, R. C. - Total Productivity Measurement at the Firm Level, *Sloan Management Review*, 1973, vol. 14, pp. 13-29.
- DAS, S. - On the Effect of Rate of Return Regulation under Uncertainty - *American Economic Review*, vol. 70, n° 3, 1980, pp. 456-460.
- DAVID, P. A., and KLUNDERT, T. V. - Biased Efficiency Growth and Capital - Labor Substitution in the U.S., 1889-1960, *American Economic Review*, 1965, vol. 55, pp. 357-394.
- DEBERTIN, D. L., TAGOULATOS, A. and AOUN, A. - Impacts of Technological Change on Factor Substitution between Energy and other Inputs within U.S. Agriculture, 1950-79, *Energy Economics*, 1990, pp. 2-10.
- DEMSETZ, H. - Why Regulate Utilities?, *Journal of Law and Economics*, vol. 11, n° 1, 1968, pp-55-65.
- DENISON, E. F. - The Sources of Economic Growth in the U.S. and the Alternatives Before Us, *Supple, Paper n° 13, Committee for Economic Development*, New York, 1962.
- DENISON, E. F. - Why Growth Rates Differ, *The Brookings Institution*, Whashington, 1967.
- DENISON, E. F. - Some Major Issues in Productivity Analysis: An Examination of Estimates by Jorgenson and Griliches, *Survey of Current Business* 49, n. 5, 1969, pp. 1-27.
- DENISON, E. F. - Final Comments, *Survey of Current Business* 52, n. 5, 1972, pp. 95-110.

- DENISON, E. F. - Accounting for United States Economic Growth 1929-1969, The Brookings Institution, Washington, 1974.
- DIAMOND, P. A. - Disembodied Technical Change in a Two-Sector Model, *Review Economic Studies*, 1965, vol. 32, pp. 161-168.
- DIVISIA, F. - L'Indice Monetaire et la Theorie de la Monnaie, Societe Anonyme de Recueil Sirey, Paris, 1926.
- DIEWERT, W. E. - Functional Forms for Profit and Transformation Functions, *Journal of Economic Theory*, vol. 6, 1973.
- DIEWERT, W. E. - Application of Duality Theory, in *Frontiers of Quantitative Economics* (M. D. Intriligator and D. A. Kendrick, eds), Vol. II, North-Holland Publ., Amsterdam, 1974.
- DIEWERT, W. E. - Exact and Superlative Index Numbers, *Journal of Econometrics*, vol. 4, 1976.
- DIEWERT, W. E. - Duality Approaches to Microeconomic Theory, IMSSS Technical Report, n° 281, Stanford University, California, 1978.
- DIEWERT, W. E. - Duality Approaches to Microeconomic Theory, IMSSS Technical Report, 281, Stanford University, Stanford, California, 1978b.
- DIEWERT, W. E., and PARKAN, C. - Linear Programming Test of Regularity Conditions for Production Functions, Discussion Paper, 79-01, Department of Economics, Univ. of British Columbia, Vancouver, 1979.
- DIEWERT, W. E. - Aggregation Problems in the Measurement of Capital, in *The Measurement of Capital* (Dan Usher, ed), *Studies in Income and Wealth*, Vol. 45, University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 1980.

DIEWERT, W. E. - The Measurement of Productivity, *Bulletin of Economic Research*, vol. 44, nº 3, 1992, pp 163-198.

DIEWERT, W. E. and WALES, T. J. - Quadratic Spline Models for Producer's Supply and Demand Functions, *International Economic Review*, vol. 33, nº 3, 1992, pp. 705-722.

DNAEE/ELETROBRÁS, *Legislação Básica da Recuperação e Modernização do Setor de Energia Elétrica*, 1993.

DUNCOMBE, W. and YINGER, J. - An Analysis of Returns to Scale in Public Production, with an Application to Fire Protection, *Journal of Public Economics*, vol. 52, 1993, pp. 49-72.

EFTCHYMOGLOU, T. G. and VLACHOU, A. S. - Productivity in the Vertically Integrated System of the Greek Electricity Utility, 1970-85, *Energy Economics*, 1989, pp 119-126.

ELETRONORTE, *Relatório Anual*, Brasília, vários volumes.

ELETROSUL, *Relatório Anual*, Florianópolis, vários volumes.

FARBER, S. C. - The Dependence of Parametric Efficiency Test on Measures of The Price of Capital and Capital Stock Utilities, *The Journal of Industrial Economics*, vol. XXXVIII, nº 2, 1989, pp-199-213.

FABRICANT, S. - Basic Facts on Productivity Change, Occasional Paper 63, National Bureau of Economic Research, New York, 1959.

FÄRE, R., GROSSKOPF, S., NORRIS, M. and LANG, F. - Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries, *The American Economic Review*, vol. 84, nº 1, 1994, pp. 66-83.

FARRELL, M. J. - The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of Royal Statistics Society, Serie A*, vol. 120, 1957.

- FEL, J. C. H., and RANIS, G. Innovational Intensity and Factor Bias in the Theory of Growth, *International Economic Review*, 1965, vol, pp. 182-198
- FERGUSON, C. E. - The Neoclassical Theory of Production and Distribution, At. The University Press, Cambridge, 1971.
- FERREIRA, P. C. - Infraestrutura Pública, Produtividade e Crescimento, *Ensaio Econômicos/EPGE*, nº 246, 1994, mimeo.
- FIXLER, D. J. - Measuring Financial Service Output and Prices in Commercial Banking, *Applied Economics*, vol. 25, 1993, pp.983-993.
- FLAIG, G. and STEINER, V. - Searching for the "Productivity Slowdown": Some Surprising Findings from West German Manufacturing, *The Review of Economics and Statistics*, vol. , 1993, pp. 57-65.
- FOURNIER, G. M. and MITCHELL, J. M. - Hospital Cost and Competition for Services: A Multiproduct Analysis, *The Review of Economics and Statistics*, vol. XXIX, nº 4, 1992, pp. 627-634.
- FRAUMENI, B. M., and JORGENSON, D. W. - The Role of Capital in U.S. Economic Growth, 1948-1976, in *Capital Efficiency and Growth*, ed. George von Furstenberg, Cambridge, Massassussets, 1980.
- FREEBAIRN, J. and PRACE, K. - Efficient Railway Freight Rates: Australian Coal - Economic Analysis and Policy, vol. 22, nº 1, 1992, pp. 23-38.
- FULLER, D. A. - Compliance, Avoidance, and Evasion: Emissions Control under Imperfect Enforcement in Steam, Elettric Generation, *RAND Journal of Economies*, vol. 18, nº 1, 1987, pp. 124-137.
- FURNAS, Relatório Anual, Rio de Janeiro, vários volumes.

- GARCIA, S. A. e TELXEIRA, E. C. - Investimento e Mudança Tecnológica na Economia Brasileira, *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, vol. 45, nº 4, 1991, pp 565-591.
- GOETZ, S. J. - Economies of Scope and the Cash Crop, Food Crop Debate in Senegal, *World Development*, vol. 20, nº 5, 1992, pp. 727-734.
- GOLD, B. - Improving Industrious Productivity, and Technological Capabilities: Needs, Problems, and Suggested Policies, in *Productivity, Analysis: A Range of Perspectives*, ed. by A. Dogramaci, Martinus Nijhoff, Boston, 1981.
- GOLDBERG, V. - Regulation and Administered Contracts, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 7, 1976, pp. 250-261.
- GOLLOP, T. M., and JORGENSON, D.W. - United States Productivity Growth by Industry, 1947-1973, in *New Developments in Productivity Measurement and Analysis* (J. W. Kendrick and B. N. Vaccara, eds.), *Studies in Income and Wealth*, National Bureau of Economic Research, University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 1980.
- GOLLOP, F. M., and ROBERTS, M. J. - Imported Intermediate Input: Its Impact on Several Productivity in U.S. Manufacturing, in *Aggregate and Industry - Level Productivity Analysis*, ed. by A. Dogramaci and N.E. Adam, Martinus Nijhoff, Boston, 1981.
- GOLLOP, T. M., and ROBERTS, M. J. - Environmental Regulations and Productivity Growth: The Case of Fossil-fueled Electric Power Generation, *Journal Political Economy*, vol. 91, 1983.
- GORDON, R. J. - End of Expansion Phenomenon in Short-Run Productivity Behavior, *Brookings Papers on Economic Activity*, vol. 3, 1979, pp. 447-460.
- GORMAN, W. M. - Measurement the Quantities of Fixed Factors, in *Value, Capital and Growth: Papers in Honor of Sir John Hicks* (J. N. Wolfe, ed.), Aldine Publishing Company, Chicago, Illinois, 1968.

- GRILICHES, Z. - Measuring Inputs in Agriculture: A Critical Survey, *Journal of Farm Economics*, 1960, vol. 42, pp. 1411-1427.
- GRILICHES, Z., and JORGENSON, D. W. - Sources of Measured Productivity Change: Capital Input, *American Economic Review*, 1966, vol. 56, pp. 50-61.
- GRILICHES, Z., and RINGSTAD, V. - *Economics of Scale and the Form of the Production Function*, North-Holland, Amsterdam, 1981.
- GUASCH, J. L. and SPILLER, P. T. - *Regulation and Private Sector Development in Latin American*, World Bank, 1994, mimeo.
- HANOCH, G. and ROTHCHILD, M. - Testing the Assumptions of Production Theory: A Non-Parametric Approach, *Journal Political Economy*, vol. 80, 1972.
- HARROD, R. F. - *Toward a Dynamic Economics*, McMillan, London, 1948.
- HAZILLA, M. and KOPP, R. J. - Social Cost of Environmental Quality Regulations: A General Equilibrium Analysis, *Journal of Political Economy*, vol. 98, n° 4, 1990, pp. 853-873.
- HICKS, J. H. - *Theory of Wages*, McMillan, London, 1932.
- HOUTHAKKER, H. S. - Electricity Tariffs in Theory and Practice, *Economic Journal*, vol. 61, n° 1, 1957, pp. 1-25.
- HUETTNER, D. A., and LANDON, J. H. - Electric Utilities: Scale Economies and Diseconomies, *Southern Economic Journal*, vol. 44, 1978, pp. 883-912.
- HULTEN, C. R. - Divisia Index Numbers, *Econometrica*, vol. 41, 1973.
- HULTEN, C. R. - Growth Accounting with Intermediate Inputs, *Review Economics Studies*, vol. 45, 1978.

- INTRILIGATOR, M. - Productivity and the Embodiment of Technical Progress, *The Scandinavian Journal of Economics*, vol. 94, supplement, 1992, pp. 75-88.
- JHA, R., MURTY, M. N., PAUL, S. and RAO, B. B. - An Analysis of Technological Change, Factor Substitution and Economies of Scale in Manufacturing Industries in India, *Applied Economics*, vol. 25, 1993, pp. 1.337-1.343.
- JORGENSEN, D. W., and GRILICHES, Z. - The Explanation of Productivity Change, *Review Economics Studies*, 1967, vol. 34, pp. 249-283.
- JOSKOW, P. L. - Pricing Decisions of Regulated Firms: A Behavioral Approach, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 4, 1973a, pp. 118-140.
- JOSKOW, P. L. - Cartels, Competition and Regulation in the Property and Liability Insurance Industry, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 4, 1973b, pp. 375-427.
- JOSKOW, P. L. and NOLL, R. G. - Regulation in Theory and Practice: An Overview, in *Studies in Public Regulation*, Ed. Gary Fromm, Cambridge, MIT Press, 1981, pp 1-65.
- KASERMAN, D. L., and MAYO, J. W. - The Measurement of Vertical Economics and the Efficient Structure of the Electric Utility Industry, *Journal of Industrial Economics*, 1991, vol. 39.
- KASSOUF, A. L. - Função de Produção de Saúde em Diferentes Regiões e Setores do Brasil, *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, vol. 23, nº 3, 1993, pp. 547-570.
- KEELER, T. E. - Airline Regulation and Market Performance, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 3, 1971, pp. 399-424.

- KEELER, T. E. - Deregulation and Scale Economies in the U.S. Trucking Industry: An Econometric Extension of the Survivor Principle, *Journal of Law and Economics*, vol. XXXII, 1989, pp.229-253.
- KENDRICK, J. W. - Productivity Trends: Capital and Labor. *Review Economic and Statistics*, 1956, vol. 38, pp. 248-257.
- KENDRICK, J. W. - *Productivity Trends in the United States*, Princeton University Press, Princeton, 1961.
- KENDRICK, J. W. - *Postwar Productivity Trends in the United States, 1948-1969*, National Bureau of Economic Research, New York, 1973.
- KENDRICK, J. W. - Review of Edward T. Denison, *Accounting for the United States Economic Growth 1929-1969*, *Journal of Economic Literature*, vol.13, 1975, pp. 909-910.
- KENDRICK, J. W., and SATO, R. - Factor Prices, Productivity and Economic Growth, *American Economic Review*, 1963, vol. 53, pp. 974-1013.
- KIM, B. C. and LEABYS, W. C. - Application of the Translog Model of Energy Substitution to Developing Countries: The Case of Korea, *Energy Economics*, 1988, pp. 313-323.
- KLEVORICK, A. - The Optimal Fair Rate of Return, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 2, 1971, pp.122-153.
- KLEVORICK, A. - The Behavior of a Firm Subject to Stochastic Regulatory Review, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 4, 1973, pp. 57-88.
- KOOREMAN, P. - Nursing Home Care in the Netherlands: A Nonparametric Efficiency Analysis, *Journal of Health Economics*, vol. 13, 1994, pp. 301-316.

KUMBHAKAR, S. C. - The Measurement and Decomposition of Cost-Inefficiency: The Translog Cost System, *Oxford Economic Papers*, vol. 43, 1991, pp 667-688.

LAFFONT, J. - Privatization and Incentives, *The Journal of Law, Economics, and Organization*, vol. 7, 1991, pp. 84-105.

LAU, L. J. - Comments on Applications of Duality Theory, in *Frontiers of Quantitative Economics* (M. D. Intriligator and D. A. Kendrick, eds), vol II. North-Holland Publ., Amsterdam, 1974.

LAU, L. J. - A Characterization of the Normalized Restricted Profit Function, *Journal Economic Theory*, vol. 12, 1976.

LAU, L. J. - On Exact Index Numbers, *Review Economics and Statistics*, vol. 61, 1979a.

LAURENCEL, L. da C. - Dualidade, Números Índices e Medidas de Produtividade, Tese de Mestrado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1986.

LEVIN, R. C. - Allocation in Surface Freight Transportation: Does Rate Regulation Matter?, *The Bell Journal of Economics and Management Science*, vol.9, nº 1, 1978, pp. 18-45.

LIMA, J. L. - Estado e Energia no Brasil, IPE, São Paulo, 1984.

MAcAVOY, P. - The Regulation-Induced Shortage of Natural Gas, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 4, 1973, pp. 454-498.

MAcAVOY, P. and NOLL, R.G. - Relative Prices on Regulated Transactions of the Natural Gas Pipelines, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 4, 1973, pp. 212-234.

MAY, J., and DENNY, M. Post-War Productivity in Canadian Manufacturing, *Canadian Journal of Economics*, 1979, vol. 12, pp. 29-41.

- McFADDEN, D. - Cost, Revenue, and Profit Functions, in *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications* (M. Fuss and D. McFadden, eds), North-Holland Publ. Amsterdam, 1978.
- MEYER, J. R. et al. - *The Economics of Competition in the Transportation Industries*, Cambridge, Harvard University Press, 1959.
- MEYERS, R. A. - *Handbook of Energy Technology and Economics*, John Wiley and Sons, New York, 1983.
- MORRISON, C. J. - Unraveling the Productivity Growth Slowdown in the United States, Canada and Japan: The Effects of Subequilibrium Scale Economies and Markups, *Review of Economics and Statistics*, vol. LXXIV, n° 3, 1992, pp. 381-393.
- MORONEY, J. - *The Structure of Production in the American Manufacturing*, University of North Carolina Press, Chapel Hill, 1972.
- NADIRI, M. J. - Some Approaches to the Theory and Measurement of Total Factor Productivity: A Survey, *Journal of Economic Literature*, vol. 8, 1970.
- NELSON, R. A. - The CES Production Function and Economic Growth Projections, *Review Economic and Statistics*, 1965, vol. 47, pp. 326-328.
- NELSON, R. A. - Capital Vintage, Time Trends, and Technical Change in the Electric Power Industry, *Southern Economic Journal*, 1980.
- NELSON, R. A. - On The Measurement of Capacity Utilization, *The Journal of Industrial Economics*, vol XXXVIII, n° 3, 1989, pp. 272-286.
- NELSON, R. A. - Regulation, Capital Vintage, and Technical Change in the Electric Utility Industry, *Review Economics and Statistics*, vol. 66, 1984.

- NEMOTO, J., NAKANISHI, Y. and MADONO, S. - Scale Economies, and Capitalization in Japanese Electric Utilities, *International Economic Review*, vol. 34, n° 2, 1993, pp. 431-440.
- NERLOVE, M. - Returns to Scale in Electricity Supply, in *Measurement in Economics: Studies in Mathematical Economics and Econometrics*, in Memory of Yehuda Grunfeld, by Carl Christ et al., Stanford, California, Stanford University Press, 1963.
- NERLOVE, M. L. - Recent Empirical Studies of the CES and Related Production Functions, in *The Theory and Empirical Analysis of Production*, ed. Murray Brown, Columbia University Press, New York, 1967.
- NOLL, R. G. - Economic Perspectives on the Politics of Regulation, in *Handbook of Industrial Organization*, vol. 2, eds. Richard Schmalensee and Robert D. Willig, Amsterdam, North-Holland, 1989a, pp. 1253-1287.
- PANSINI, R., STERNER, P. e LEJAN, M. - Uma Análise da Adaptação Tecnológica na Indústria Leiteira, *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, vol. 21, n° 2, 1991, pp. 287-304.
- PANZAR, J. and WILLIG, R. - Free Entry and Sustainability of Natural Monopoly, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 8, n° 1, 1977, pp. 1-22.
- PANZAR, J. C. - Technological Determinants of Firm and Industry Structure, in *Handbook of Industrial Economics*, vol. 1, eds. Richard Schmalensee and Robert D. Willig, Amsterdam, North-Holland, 1989, pp. 3-59.
- PELTZMAN, S. - The Economic Theory of Regulation after Decade of Deregulation, *Brookings Papers Economics Act, Microeconomics*, 1989, pp. 1-41.
- PELTZMAN, S. - Toward a More General Theory of Regulation, *Journal of Law and Economics*, vol. 19, 1976, pp. 211-240.

- PINDYCK, R. S. - The Regulatory Implications of Three Alternative Econometric Supply Models of Natural Gas, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 5, 1974, pp. 633-645.
- PINHEIRO, A. C. - O Crescimento da Produtividade Total dos Fatores e a Estratégia de Promoção de Exportações: Uma Revisão da Evidência Internacional, *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, vol. 22, nº 1, 1992, pp. 1-33.
- PINHEIRO, A. C. e MATESCO, V. - Relação Capital/Produto Incremental: Estimativas para o Período 1948/1987, *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, vol. 19, nº 3, 1989, pp.597-612.
- POSNER, R. - The Appropriate Scope of Regulation in the Cable Television Industry, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 3, nº 1, 1972, pp. 98-129.
- POSNER, R. - Theories of Economic Regulation, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 5, nº 2, 1974, pp 335-358.
- PRIEST, G. L. - The Origins of Utility Regulation and the "Theories of Regulation" Debate, *Journal of Law and Economics*, vol. XXXVI, 1993, pp. 289-323.
- REIS, S. B. dos - Produção e Custo: Formas Funcionais e a Estimação Econométrica, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1983.
- RIBEIRO, C. A. C. - A Eficiência Técnica de Empresas e o Paradoxo do Desempenho, *Estudos Econômicos*, São Paulo, vol. 33, 1993, pp. 477-493.
- RICHTER, M. K. - Invariance Axioms and Economic Indexes, *Econometrica*, vol. 34, 1966.
- SATO, R. - The Estimation of Biased Technical Progress, *International Economic Review*, 1970, vol. 11, pp. 179-207.

- SATO, R. - The Impact of Technical Change on the Homotheticity of Production Functions, *Review Economic Studies*, 1980, vol. 47, pp. 767-776.
- SEGERSON, K. and SQUIRES, D. - Capacity Utilization under Regulatory Constraints, *The Review of Economics and Statistics*, vol. 1, 1993, pp. 76-85.
- SOARES, L. T. W. - Considerações sobre o Planejamento do Setor Elétrico, *ELETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 1982.
- SOLOW, R. M. - Technical Change and the Aggregate Production Function, *Review of Economics and Statistics*, vol. 39, 1957.
- SOLOW, R. M. - Investment and Technical Progress, in Arrow, K.; Karlin, S.; Suppes, P. eds, *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press, 1960.
- SOLOW, R. M. - Technical Progress, Capital Formation and Economic Growth, *Papers and Proceedings, The American Economic Review*, vol. LII, n. 2, 1962, pp. 76-86.
- SOLOW, R. M. - Some Recent Developments in The Theory of Production, in M. Brown, ed., *The Theory and Empirical Analysis of Production*, NBER, New York, 1967, pp. 25-50.
- SQUIRES, D. - Public Regulation and the Structure of Production in Multiproduct Industries: An Application to the New England Other Travel Industry - *RAND Journal of Economics*, vol. 18, n° 2, 1987, pp. 232-247.
- SQUIRES, D. - Productivity Measurement in Common Property Resource Industries: An Application to the Pacific Coast Travel Fishery, *RAND Journal of Economics*, vol. 23, n. 2, 1992, pp. 221-236.
- STIGLER, G. J. - The Economics of Information, *Journal of Political Economy*, 1961, vol. 69, pp. 213-225.

- STIGLER, G. J. - The Economic Theory of Regulation, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 2, 1971, pp.3-21.
- STIGLER, G. J. and FRIEDLAND, C. - What Can Regulators Regulate? The Case of Electricity, *Journal of Law and Economics*, vol. 5, 1962, pp. 1-16.
- SUDIT, E. F., and FINGER, N. - Methodological Issues in Aggregate Productivity Analysis, in *Aggregate and Industry Level Productivity Analysis*, ed. by A. Dogramaci and N. R. Adam, Martinus Nijhoff, Boston, 1981.
- TINBERGEN, J. - Zur Theorie der Langfristigen Wirtschaftsentwicklung, *Weltwirtsch. Arch.*, 1942, vol. 55, pp. 511-549.
- TIXLER, D. J. - Measuring Financial Service Output and Prices in Commercial Banking, *Applied Economics*, vol. 25, 1993, pp. 983-993.
- TURVEY, R. - Marginal Cost, *Economic Journal*, vol. 79, 1969, pp. 282-299.
- TURVEY, R. - *Optimal Pricing and Investment in Electricity Supply*, Cambridge, MIT Press, 1968.
- WILLIAMSON, O. E. - Franchise Bidding for Natural Monopolies - in General and with Respect to CATV, *Bell Journal of Economics and Management Science*, vol. 7, 1976, pp 73-104.
- WILLIAMSON, O. E. - Transaction-Cost Economics: The Governance of Contractual Relations, *Journal of Law and Economics*, vol. 22, 1979, pp. 233-262.
- WILLIAMSON, O. E. - Vertical Integration and Related Variations on a Transaction Cost Economics Theme, Discussion Paper n° 129, Center for the Study of Organizational Innovation, University Pennsylvania, 1982.
- WILLIG, E. D. - Consumer's Surplus without Apology, *American Economic Review*, vol. 66, 1976, pp. 589-597.

YEE, J., HAUVER, J. H. and BALL, V. E. - Fixed Factor Models of Agricultural Productivity Growth, *Applied Economics*, vol. 25, 1993, pp. 1187-1196.

ZAJAC, E. E. - A Geometric Treatment of Averch-Johnson's Behavior of the Firm Model, *American Economic Review*, vol. 60, 1970.

ZAJAC, E. E. - Lagrange Multiplier Values at Constrained Optima, *Journal Economic Theory*, vol.4, 1972.

ZUCKERMAN, S., HADLEY, J. and IEZZONI, L. - Measuring Hospital Efficiency with Frontier Cost Functions, *Journal of Health Economics*, vol. 13, 1994, pp. 255-280.