

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUARIAIS E CONTABILIDADE
CURSO DE ECONOMIA

OS DETERMINANTES DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA
NO ESTADO DO CEARÁ. PERÍODO DE 1973 A 1992.

LUZIMAR LUIZ VELOSO

Euripedys Ewbank Rocha
Orientador

Fortaleza
Fevereiro de 1995.

OS DETERMINANTES DA DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA
NO ESTADO DO CEARÁ. PERÍODO DE 1973 A 1992.

LUZIMAR LUIZ VELOSO
Bacharelado

MONOGRAFIA APROVADA EM 08 / 02 / 95

Prof. Euripedys Ewbank Rocha

Prof. Erivaldo Moreira Gadelha

Prof. Roberto Smith

Agradecimentos

À Deus, por sua força imensa e invisível, que age sem sentirmos.

À minha esposa Vitória Márcia, que com sua mente brilhante e sua grandiosa força interior, muito está contribuindo não só para a minha formação acadêmica, mas também a minha formação pessoal.

Aos meus pais e minha irmã, pelo muito que me apoiaram e incentivaram durante estes longos anos de estudo.

Ao meu orientador e amigo Euripedys, onde não conseguirei lembrar do Curso de Economia, sem antes ter que lembrá-lo.

Aos professores Erivaldo Gadelha e Roberto Smith, pelos ensinamentos que me transmitiram e pela colaboração em compor a banca examinadora.

Colaboradores:

Profa. Marlene Casela

Prof. Assuero Ferreira

Economista Jorge Lutif (Coelce)

Bibliotecária Celeste (Coelce)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2: ANÁLISE EMPÍRICA	08
2.1. Análise da Correlação entre as variáveis	14
2.2. O Modelo de Regressão Linear Múltipla	17
2.2.1. Teste de Hipótese	20
2.2.2. Coeficiente de Explicação	23
CAPÍTULO 3: ANÁLISE DE RESULTADOS	24
APÊNDICE	26
BIBLIOGRAFIA	29

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a energia elétrica vem se destacando como a principal forma de energia na estrutura de consumo dos mais importantes agentes econômicos. A partir de 1984, despontou como a mais expressiva forma de energia no consumo final da economia brasileira, assumindo a liderança até então mantida pelos derivados de petróleo em geral. No período 1973-93, a energia elétrica elevou sua participação na estrutura de mercado de 19,6% para 38,2%, contra uma queda nos derivados de petróleo de 43,5% para 32,9%.

Note-se abaixo o crescente papel do setor elétrico para a energia no Brasil, avaliado pelo coeficiente: Utilização de Energia elétrica / Utilização Total de Energia, entre os anos de 1973 e 1993:

Setor da Economia	Utilização de Energia Elétrica / Utilização Total de Energia	
	1973	1993
Industrial	31,8%	49,5%
Comercial	77,8%	90,3%
Residencial	16,3%	52,8%
Agropecuário	3,9%	29,3%

Fontes: BRASIL. Balanço Energético Nacional de 1984.
BRASIL. Balanço Energético Nacional de 1993.

O consumo de energia elétrica no Estado do Ceará cresceu acentuadamente nos últimos anos. De fato, o consumo total de energia elétrica no estado passou de 523.172 MWh, em 1973, para 3.317.460 MWh, em 1992. Isso representou um incremento de 534% no período, significando uma taxa média anual de 10%. É importante examinar como se comportou o consumo em cada um dos setores, a fim de compreender melhor este incremento de 534%.

O consumo residencial no Ceará passou de 149.430 MWh, em 1973, para 1.034.866, em 1992, com um incremento de 592%. A participação deste consumo no total se elevou de 28,6% para 31,2% no período. A taxa média anual deste crescimento foi de 10,7%, enquanto que o número de consumidores expandiu de 171.904 unidades de consumo para 873.809, evoluindo a uma taxa média de 8,9% a.a.. A combinação destes desempenhos resultou numa elevação do consumo residencial/unidade de consumo, que passou de 869 kWh/consumidor residencial/ano, em 1973, para 1.184 kWh/consumidor residencial/ano, em 1992; com um aumento de 36% no período.

No tocante ao consumo residencial temos que, em 1992, a faixa de consumo até 100 kWh/mês, que abriga a maior parte dos consumidores de baixa renda, respondeu por 66% do total de consumidores que absorveram 29% do total de energia fornecida a esta classe. A faixa de consumo superior a 100 kWh/mês, que abriga o restante dos 34% dos consumidores, absorveu 71% do total do consumo residencial, evidenciando, assim, a má distribuição de renda no Estado e, de um modo geral, em todo o país.

O consumo de energia elétrica do setor industrial passou de 165.317 MWh, em 1973, para 1.098.606 MWh, em 1992, aumentando em 564% no período, ou seja, a uma taxa média anual de 10,5% e a participação deste consumo na estrutura de mercado se elevou de 31,6% para 33,1% no período. O consumo por gênero das principais indústrias apresentou, em 1992, a liderança do setor Têxtil com 43% do consumo industrial, seguido dos setores de Metalurgia (16%), Produto Alimentar (12%) e Mineral Não Metálico (9%), sendo que em 1991, a Metalurgia superou os setores Mineral Não Metálico e Produto Alimentar, pela implantação da indústria LIBRA (Ligas do Brasil S/A).

O consumo de energia elétrica do setor comercial passou de 95.218 MWh, em 1973, para 536.357 MWh, em 1992, aumentando em 463% no período, com uma taxa média anual de 9,5%, porém a participação deste consumo no total caiu de 18,2% para 16,1% no período.

O consumo do setor rural passou de 6.636 MWh, em 1973, para 211.109 MWh, em 1992, aumentando em 3.081% no período. A taxa média anual de crescimento foi de 19,9% e a participação deste consumo no total se elevou de 1,3% para 6,3%. Com relação ao número de consumidores no período, observa-se uma evolução de 340 para 52.934 consumidores, representando uma evolução média de 30,4% a.a.. Esses incrementos decorreram principalmente da política de ampliação de redes de distribuição rural no Estado, buscando atender aos pequenos e médios consumidores, e do suprimento aos sistemas de irrigação

No consumo de outros setores ,ou seja, o consumo dos poderes públicos, iluminação pública, serviços públicos e consumo próprio, houve um crescimento de

106.571 MWh, em 1973, para 436.522 MWh, em 1992, aumentando em 309%. A taxa média anual de crescimento foi de 7,7% e sua participação no consumo total caiu de 20,4% para 13,1% no período.

No presente trabalho o interesse será centrado no *consumo global* de energia elétrica no Estado do Ceará. Isso não significa menor valor para estudos interessados nas diversas demandas setoriais: agrícola, industrial, comercial, residencial e outros, e sim, o desejo de estabelecer previsões para a situação energética geral da demanda, até mesmo como elemento de estímulo para posteriores trabalhos de âmbito setorial.

Com relação à *oferta* de energia elétrica, sabe-se do não atendimento espacial para pequenas localidades rurais e periféricas das principais cidades do Estado. Essas carências não podem, contudo, caracterizar insuficiência de oferta, pela sua pequena expressividade de consumo quando comparada à demanda global de energia elétrica para o Estado.

No caso particular da utilização do nosso modelo de regressão para interpretar a demanda por energia elétrica no Ceará, essas demandas específicas acima citadas podem ser desprezadas, sem mudar na essência os rumos da precisão do modelo.

Há, contudo, existência de demanda reprimida observada no setor industrial, através da prática, por parte de todas as Concessionárias de Energia Elétrica do País, de tarifas diferenciadas para diferentes horários de utilização de energia elétrica. A existência dessas tarifas mostra a provável ocorrência de incapacidade de atendimento em momentos de pico. A limitação da oferta de energia elétrica e a existên-

cia de tarifas diferenciadas contribuem para a geração de um perfil de demanda por energia elétrica no Estado do Ceará.

No nosso modelo de regressão, os dados de consumo a serem utilizados assumem, portanto, características definidas a partir da estrutura discutida acima.

Como foi visto acima, a energia elétrica assumiu uma importante posição para o desenvolvimento das atividades econômicas do país, o que mostra a relevância de se estudar o consumo de energia elétrica. O objetivo deste trabalho é investigar os principais determinantes que contribuíram para que o consumo de energia elétrica no Estado do Ceará evoluísse na forma já apresentada. Para tanto, foi escolhido o período de 1973 a 1992. Pretende-se analisar os dados referentes ao estado do Ceará no tocante ao consumo total de energia elétrica, tarifa média de energia elétrica e Produto Interno Bruto. Utilizar-se-á técnicas estatísticas denominadas de correlação e regressão múltipla, como forma de verificar o grau de relação entre consumo de energia elétrica e as variáveis tarifa e PIB.

O presente estudo tem por objetivo geral estabelecer os principais determinantes do consumo de energia elétrica e, com base neles, definir um modelo que possa projetar a demanda de energia elétrica para os próximos anos no Estado do Ceará; e por objetivos específicos o de apresentar a evolução do consumo de energia elétrica, tarifa média de energia elétrica e produto interno bruto no Estado do Ceará entre 1973 e 1992.

Dada a importância da energia elétrica já discutida anteriormente, torna-se importante conhecer os fatores que determinam o crescimento do seu consumo, como forma de projetar a demanda futura e planejar os investimentos necessários para

expansão da sua oferta. A área geográfica escolhida para o estudo foi o Estado do Ceará, para termos idéia da situação energética local.

O período escolhido para análise deveria ser razoavelmente longo, a fim de evitar o estudo de uma pequena amostra que muitas vezes não reflete a realidade. O período, também, deveria respeitar a disponibilidade de dados, por isto foi escolhido vinte anos, ou seja, de 1973 a 1992.

Dentre os diversos fatores que podem causar variações no consumo de energia elétrica, foram escolhidos dois fatores que entendemos ser os mais importantes, são eles:

i) Produto Interno Bruto (PIB) - é uma medida estatística e contábil do total de bens e serviços finais produzidos numa economia, em um determinado tempo, assim, o PIB é um ótimo tradutor das políticas econômicas. Se o governo optar por políticas expansionistas, que priorizem o emprego, a renda, o consumo, etc., teremos um dinamismo em toda a economia e, conseqüentemente, a demanda por energia elétrica será maior. Se a política econômica do governo for restritiva, teremos uma diminuição do PIB e uma retração no consumo de energia elétrica.

ii) Tarifa média de energia elétrica - estudos empíricos demonstram que a demanda por um produto varia inversamente proporcional ao seu preço, assim, esta relação também se aplica a tarifa e a demanda por energia elétrica.

Estatisticamente, a escolha dessas duas variáveis, PIB e Tarifa média de energia elétrica será traduzida numa equação de regressão onde existirão dois coeficientes para o PIB e Tarifa respectivamente. *Nossa Hipótese* será a existência de um coefi-

coeficiente positivo para a variável PIB, e um coeficiente angular negativo para a variável Tarifa.

Para atingir os objetivos da pesquisa, serão utilizadas técnicas estatísticas denominadas de correlação e regressão múltipla.

O estudo da correlação múltipla tem por objetivo medir e avaliar o grau de relação existente entre três ou mais variáveis. No caso em questão será medido o grau de relação entre a variável dependente, o consumo, e as variáveis independentes; tarifa e PIB. Verificaremos, também, a correlação parcial, ou seja, mediremos a relação particular entre consumo e tarifa, mantendo PIB constante e, de forma alternada, a relação entre consumo e PIB, mantendo tarifa constante. Com base nesses resultados, buscar-se-á interpretá-los.

A análise de regressão múltipla tem por objetivo descrever, através de um modelo matemático, a relação existente entre três ou mais variáveis, a partir de n observações dessas variáveis. Assim, tomando:

Consumo= Y

Tarifa= X_1

PIB= X_2

temos que a variável Y (dependente) sofrerá influência das variáveis: X_1 , X_2 (independentes) e de uma variável aleatória U que irá captar todas as influências sobre Y não ocasionadas por X_1 , X_2 , obtendo o seguinte modelo de Regressão:

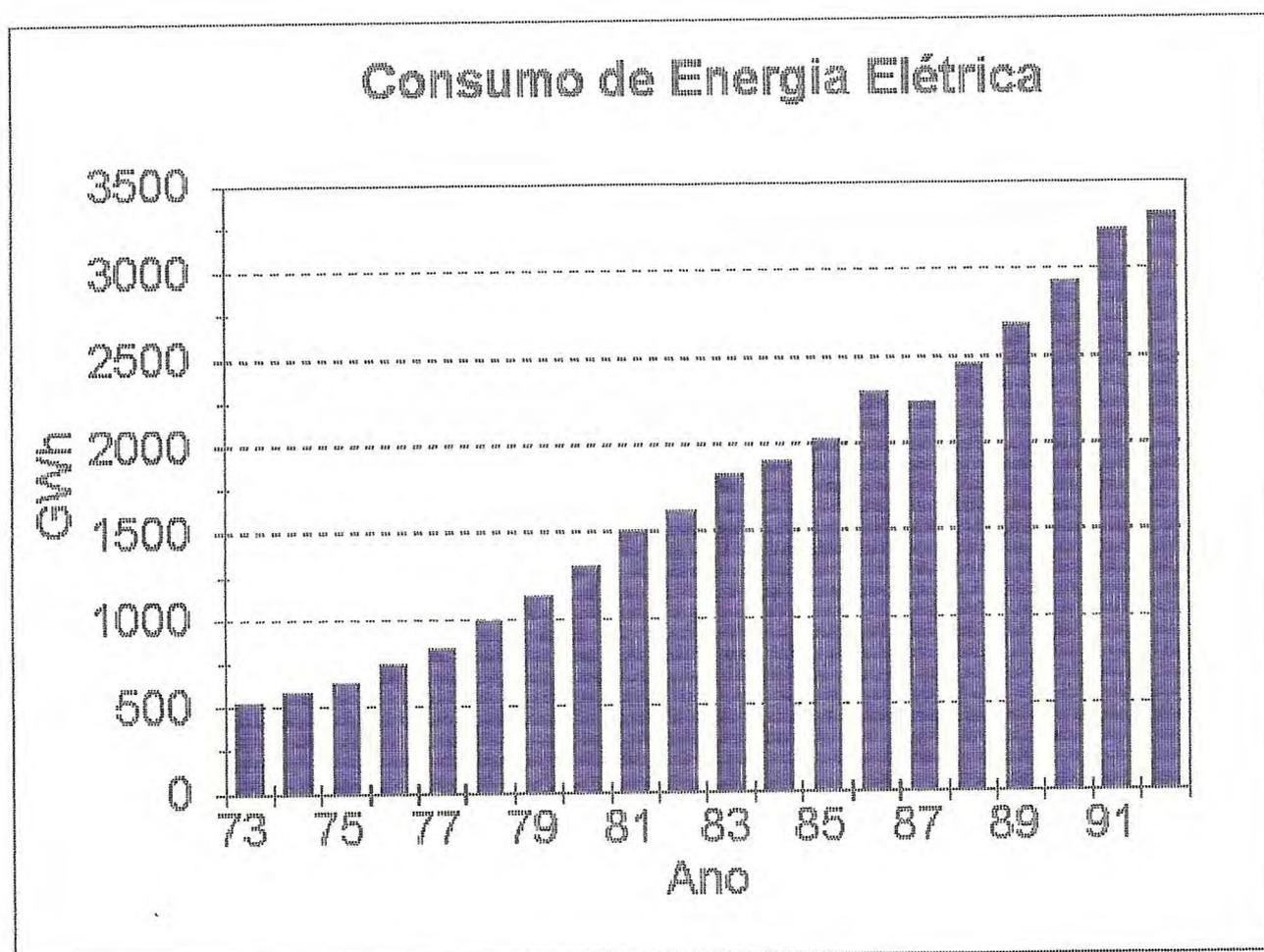
$$Y = f(X_1, X_2) + U, \quad \text{onde}$$

$f(X_1, X_2)$ será a componente funcional do modelo e U a parte aleatória.

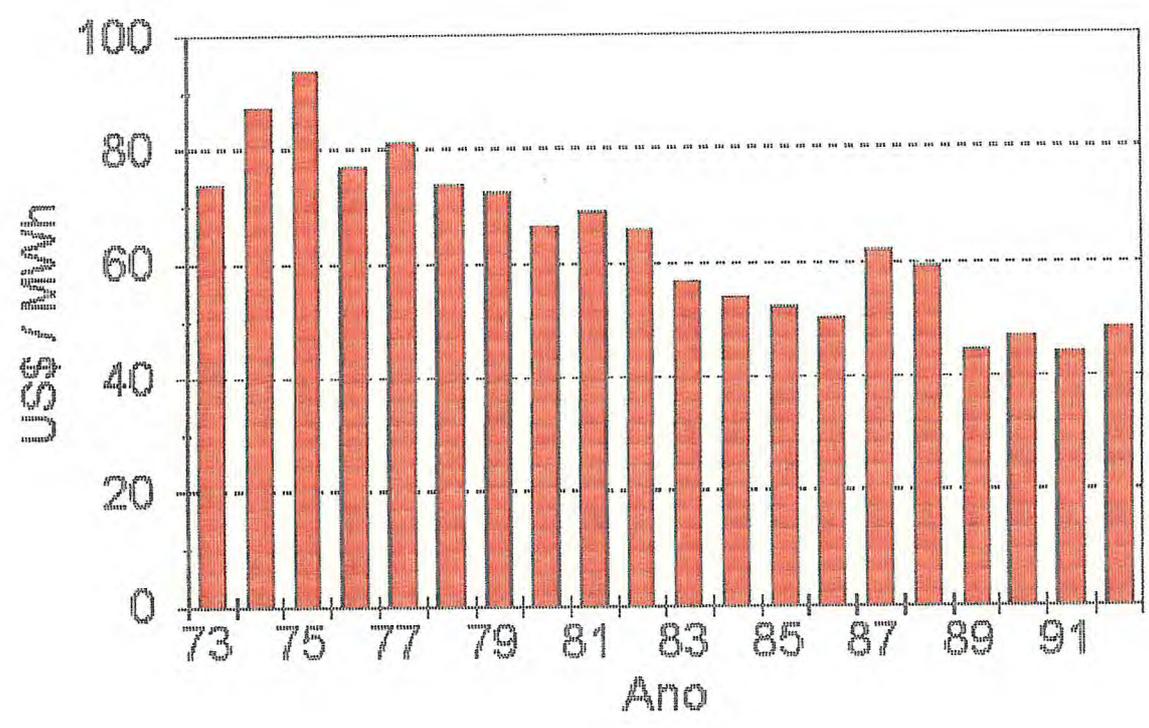
Capítulo 2

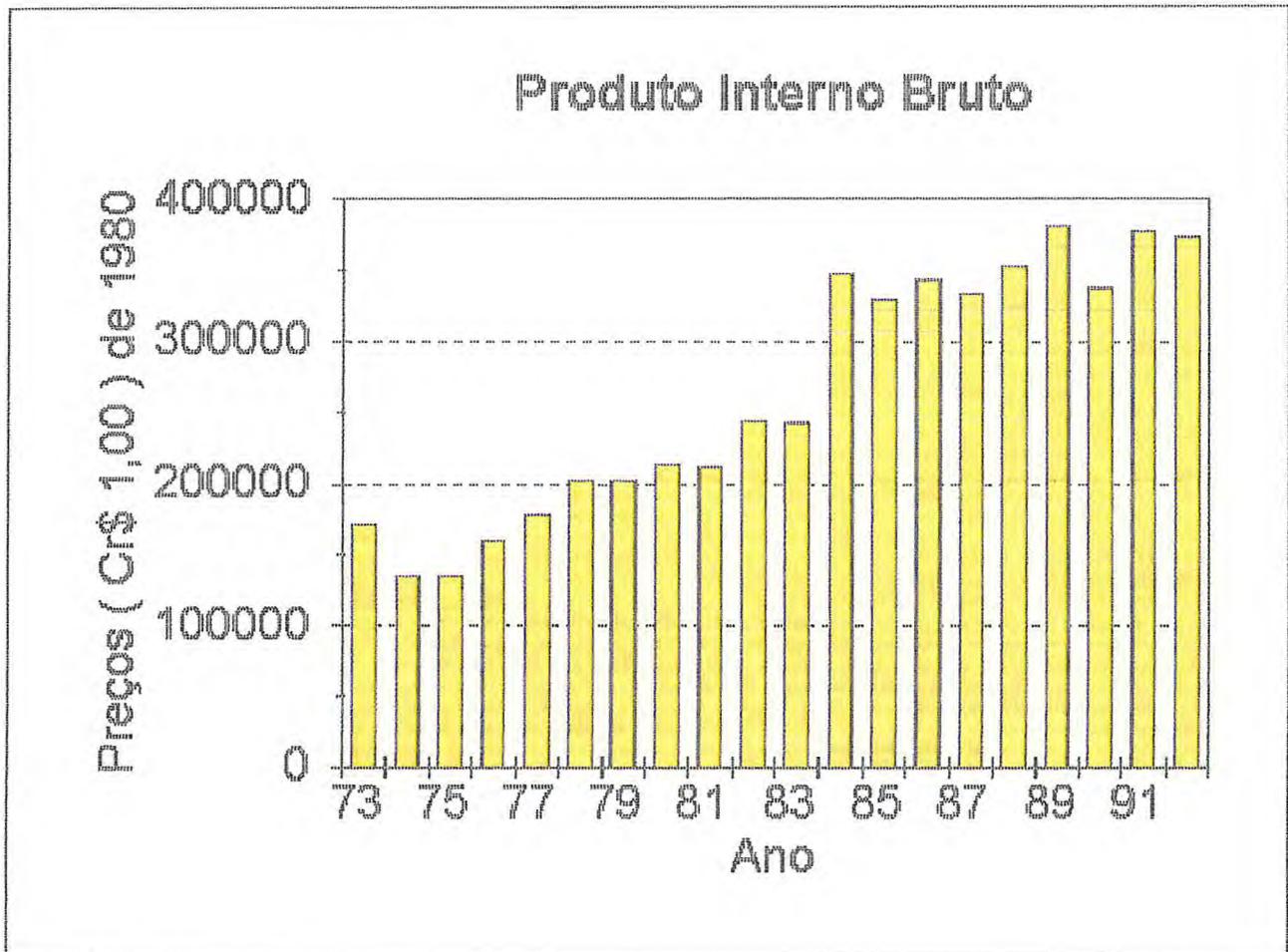
ANÁLISE EMPÍRICA

Para se ter uma visão global de como se comportou no Estado do Ceará, o consumo e a tarifa de energia elétrica, assim como o PIB, será oportuno recorrer aos seguintes gráficos:



Tarifa de Energia Elétrica





O quadro abaixo fornece os dados do Estado do Ceará relativos à evolução do Consumo, Tarifa Média de Energia Elétrica e PIB, no período de 1973 a 1992.

Onde: Y = Consumo de Energia Elétrica;
 Xt = Tarifa Média de Energia Elétrica;
 Xp = Produto Interno Bruto.

Ano	Y (GWh *)	Xt (US\$ / MWh **)	Xp(Cr\$ 1,00 de 1980)	Xp (1985=100)
1973	523,172	73,97	170662	51,95
1974	576,987	87,59	135463	41,23
1975	639,514	93,8	134823	41,03
1976	740,844	76,96	159569	48,57
1977	823,424	81	177916	54,2
1978	984,927	74,01	202235	61,56
1979	1135,617	72,36	201808	61,43
1980	1305,574	66,62	213328	64,94
1981	1506,803	68,85	211835	64,48
1982	1614,764	65,84	244260	74,35
1983	1819,689	56,66	242554	73,83
1984	1896,144	54,08	346658	105,52
1985	2027,747	52,12	328525	100
1986	2298,514	50,02	342818	104,35
1987	2239,071	61,88	332365	101,17
1988	2446,285	59,19	352204	107,21
1989	2672,116	44,57	380790	115,91
1990	2918,335	46,94	337485	102,73
1991	3210,925	44,07	377164	114,86
1992	3317,46	48,38	372897	113,51

Fontes: Consumo (Y) e Tarifa de Energia Elétrica (Xt); COELCE
 Produto Interno Bruto (Xp); SUDENE

* : GWh = 1 000 000 000 x Energia consumida

** : MWh = 1 000 000 x Energia consumida

Construímos uma tabela auxiliar para cálculos estatísticos posteriores:

Y	Xt	Xp	Y x Y
523,172	73,97	51,95	273708,94
576,987	87,59	41,23	332914
639,514	93,8	41,03	408978,16
740,844	76,96	48,57	548849,83
823,424	81	54,2	678027,08
984,927	74,01	61,56	970081,2
1135,617	72,36	61,43	1289626
1305,574	66,62	64,94	1704523,5
1506,803	68,85	64,48	2270455,3
1614,764	65,84	74,35	2607462,8
1819,689	56,66	73,83	3311268,1
1896,144	54,08	105,52	3595362,1
2027,747	52,12	100	4111757,9
2298,514	50,02	104,35	5283166,6
2239,071	61,88	101,17	5013438,9
2446,285	59,19	107,21	5984310,3
2672,116	44,57	115,91	7140203,9
2918,335	46,94	102,73	8516679,2
3210,925	44,07	114,86	10310039
3317,46	48,38	113,51	11005541
34697,912	1278,91	1602,83	75356393,81

$Y \times X_t$	$Y \times X_p$	$X_t \times X_p$	$X_t \times X_t$	$X_p \times X_p$
38699,03	27178,785	3842,7415	5471,56	2698,8
50538,29	23789,174	3611,3357	7672	1699,91
59986,41	26239,259	3848,614	8798,44	1683,46
57015,35	35982,793	3737,9472	5922,84	2359,04
66697,34	44629,581	4390,2	6561	2937,64
72894,44	60632,106	4556,0556	5477,48	3789,63
82173,24	69760,952	4445,0748	5235,96	3773,64
86977,34	84783,976	4326,3028	4438,22	4217,2
103743,39	97158,657	4439,448	4740,32	4157,67
106316,06	120057,7	4895,204	4334,9	5527,92
103103,58	134347,64	4183,2078	3210,35	5450,86
102543,47	200081,11	5706,5216	2924,64	11134,47
105686,17	202774,7	5212	2716,49	10000
114971,67	239849,93	5219,587	2502	10888,92
138553,71	226526,81	6260,399	3829,13	10235,37
144795,61	262266,21	6345,76	3503,45	11493,98
119096,21	309724,96	5166,109	1986,48	13435,13
136986,64	299800,55	4822,146	2203,36	10553,45
141505,46	368806,84	5061,88	1942,16	13192,82
160498,71	376564,88	5491,614	2340,62	12884,52
1992782,2	3210955,8	95562,144	85811,4	142114,43

2.1 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

O coeficiente de correlação r , calculado a partir de uma amostra de n pares de observações de X e de Y , mede a quantidade de dispersão em torno da equação linear ajustada através do método dos mínimos quadrados, ou o grau de relação das variáveis, na amostra. O valor de sua medida se situa no intervalo compreendido pelos valores -1 e $+1$, e não havendo relação linear alguma entre X e Y , $r = 0$. O coeficiente de correlação r será definido como a razão entre a covariação e a raiz quadrada do produto das variações de X e de Y .

Em certas situações podemos estar interessados não no grau de relação existente entre apenas duas variáveis. Nestas circunstâncias, o estudo deverá envolver o cálculo sobre o grau de relação existente entre três ou mais variáveis, o qual será medido por uma estatística denominada *correlação múltipla*. O coeficiente de correlação linear múltipla indica que um certo grau da variação total de uma das variáveis (Y , no caso) pode ser explicado por todas as outras variáveis (X_t e X_p , consideradas independentes), atuando conjuntamente.

Por outro lado, nossa preocupação pode recair na correlação entre duas variáveis em particular, o que implica, em última análise, considerar constantes as demais variáveis envolvidas no estudo. Esse é um caso típico de determinação do coeficiente de *correlação parcial*. Através de um procedimento adequado, obteremos o grau de relação entre a variável Y , e qualquer das outras variáveis, X_t ou X_p , e controlando uma delas. Evidentemente, o procedimento pode ser generalizado para mais de uma variável controlada. Por exemplo, a correlação entre Y e X_t , com con-

trole sobre X_p , será simbolizada por $\Gamma_{yt,p}$ ou $\Pi_{y,p}$. Ressalta-se que a ordem dos números que aparecem como índices de r não desempenha papel algum. O número de variáveis de controle representa a ordem da correlação. Assim, uma primeira ordem parcial terá um controle; uma correlação de ordem zero é uma correlação sem controles, a qual é denominada correlação total.

i) Cálculo dos Coeficientes de Correlação de ordem zero:

$$\Gamma_{yt} = \frac{\sum X_y X_t - (\sum X_y)(\sum X_t) / n}{\sqrt{(\sum X_y^2 - (\sum X_y)^2/n)(\sum X_t^2 - (\sum X_t)^2/n)}}$$

$$\Gamma_{yt} = \frac{1.992.782,2 - (34.697,91)(1278,91)/20}{\sqrt{(75.356.394 - 1.203.945.100/20)(85.811,4 - 1.635.610,8/20)}}$$

$$\Gamma_{yt} = -0,914 \quad \therefore \quad \Gamma^2_{yt} = 0,835$$

$$\Gamma_{yp} = \frac{\sum X_y X_p - (\sum X_y)(\sum X_p) / n}{\sqrt{(\sum X_y^2 - (\sum X_y)^2/n)(\sum X_p^2 - (\sum X_p)^2/n)}}$$

$$\Gamma_{yp} = \frac{3.210.955,8 - (34.697,91)(1602,83) / 20}{\sqrt{(75.356.394 - 1.203.945.100/20)(142.114,43 - 2.569.064/20)}}$$

$$\Gamma_{yp} = 0,945 \quad \therefore \quad \Gamma^2_{yp} = 0,893$$

$$r_{tp} = \frac{\sum X_t X_p - (\sum X_t)(\sum X_p) / n}{\sqrt{(\sum X_t - (\sum X_t)^2/n)(\sum X_p - (\sum X_p)^2/n)}}$$

$$r_{tp} = \frac{95.562,144 - (1278,91)(1602,83) / 20}{\sqrt{(85.811,4 - 1.635.610,8/20)(142.114,43 - 2.569.064/20)}}$$

$$\underline{r_{tp} = -0,934} \quad \therefore \quad \underline{r^2_{tp} = 0,872}$$

ii) Cálculo dos Coeficientes de Correlação Parcial:

* Entre Y e X_t, controlando X_p:

$$r_{yt,p} = \frac{r_{yt} - (r_{yp})(r_{tp})}{\sqrt{(1 - r^2_{yp})(1 - r^2_{tp})}} = \frac{-0,914 - (0,945)(-0,934)}{\sqrt{(1 - 0,893)(1 - 0,872)}} = \frac{-0,03137}{0,11703}$$

$$\underline{r_{yt,p} = -0,268}$$

* Entre Y e X_p, controlando X_t:

$$r_{yp,t} = \frac{r_{yp} - (r_{yt})(r_{tp})}{\sqrt{(1 - r^2_{yt})(1 - r^2_{tp})}} = \frac{0,945 - (-0,914)(-0,934)}{\sqrt{(1 - 0,835)(1 - 0,872)}} = \frac{0,09132}{0,14532}$$

$$\underline{r_{yp,t} = 0,643}$$

* Entre X_t e X_p , controlando Y :

$$r_{tp,y} = \frac{r_{tp} - (r_{ty})(r_{py})}{\sqrt{(1 - r_{ty}^2)(1 - r_{py}^2)}} = \frac{-0,934 - (-0,914)(0,945)}{\sqrt{(1 - 0,835)(1 - 0,893)}} = \frac{-0,07027}{0,13287}$$

$$\underline{r_{tp,y} = -0,529}$$

iii) *Cálculo do coeficiente de Correlação Múltipla:*

$$R^2_{y,tp} = r^2_{yt} + r^2_{yp,t}(1 - r^2_{yt})$$

$$r^2_{yt} = 0,835$$

$$r_{yp,t} = 0,643 \Rightarrow r^2_{yp,t} = 0,413$$

$$R^2_{y,tp} = 0,835 + 0,413(1 - 0,835) \Rightarrow R_{y,tp} = \sqrt{0,903} \Rightarrow \underline{R_{y,tp} = 0,950}$$

2.2 O MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A Análise de Regressão, se constitui num conjunto de métodos e técnicas para o estabelecimento de fórmulas empíricas que interpretem a relação funcional entre variáveis com boa aproximação.

Suponhamos que Y seja uma variável que nos interessa estudar e prever seu comportamento, e que dependa dos valores assumidos por k variáveis independentes ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$) e que essa dependência seja expressa pelo modelo:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + U_i$$

onde a componente funcional é

$$f(x) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k$$

e a variável U_i a componente aleatória.

Isto é, $f(x)$ descreve a “trajetória” média das variações de Y para uma coleção de valores das variáveis X_1, X_2, \dots, X_k , enquanto a variável aleatória U capta as variações decorrentes das medidas, bem como as influências de outras variáveis que foram omitidas no modelo.

Para o nosso caso em que a variável dependente seja postulada como função de duas variáveis explicativas: X_t e X_p . Teremos então o seguinte modelo de regressão linear múltipla: $Y_i = \alpha + \beta_t X_{ti} + \beta_p X_{pi} + U_i$

Retirada uma amostra de n observações das variáveis Y, X_t e X_p , deveremos, a partir desses dados, determinar as estimativas “ a ”, “ b_t ” e “ b_p ” dos parâmetros α, β_t e β_p e, dessa forma, obter a estimativa do modelo adotado, compondo o estimador $\hat{Y} = a + b_t X_t + b_p X_p$.

Calcula-se a, b_t e b_p pelo método dos mínimos quadrados de tal forma que os quadrados dos desvios dos valores observados em relação aos calculados para Y seja um mínimo, então, uma das maneiras para encontrarmos a, b_t e b_p será resolver o sistema

$$\begin{cases} SY_t = b_t S_{tt} + b_p S_{tp} \\ SY_p = b_t S_{tp} + b_p S_{pp} \end{cases}$$

ou utilizar as seguintes fórmulas:

$$b_p = \frac{\frac{SY_p - \frac{SY_t}{S_{pt}} S_{pt}}{S_{pp} - \frac{S_{tp}^2}{S_{tt}}}}{\frac{S_{pp} - \frac{S_{tp}^2}{S_{tt}}}} \quad b_t = \frac{SY_p - \frac{S_{pp}}{S_{pt}} b_p}{S_{pt}}$$

onde a calcula-se a partir de b_t e b_p .

Determinação do Modelo de Regressão:

$$SY_t = \frac{\sum YX_t}{n} - \frac{\sum Y \sum X_t}{n} = \frac{1.992.782,2}{20} - \frac{(34.697,91)(1278,91)}{20} \Rightarrow SY_t = -225.993$$

$$SY_p = \frac{\sum YX_p}{n} - \frac{\sum Y \sum X_p}{n} = \frac{3.210.955,8}{20} - \frac{(34.697,91)(1602,83)}{20} \Rightarrow SY_p = 430.213$$

$$Stt = \frac{\sum X_t^2}{n} - \frac{(\sum X_t)^2}{n} = \frac{85.811,4}{20} - \frac{1.635.610,8}{20} \Rightarrow Stt = 4030,86$$

$$Spt = Spt = \frac{\sum X_t X_p}{n} - \frac{\sum X_t \sum X_p}{n} = \frac{95.562,144}{20} - \frac{(1278,91)(1602,83)}{20} \Rightarrow -6931,62$$

$$Spp = \frac{\sum X_p^2}{n} - \frac{(\sum X_p)^2}{n} = \frac{142.114,43}{20} - \frac{2.569.064}{20} \Rightarrow Spp = 13.661,23$$

$$bp = \frac{\frac{SY_p - SY_t}{Spt} - \frac{Stt}{Spt}}{\frac{Spp - Spt}{Spt} - \frac{Stt}{Spt}} = \frac{\frac{430.213}{-6931,62} - \frac{-225.993}{4030,86}}{\frac{13.661,23}{-6931,62} - \frac{4030,86}{4030,86}} = \frac{-62,065289 + 56,065703}{-1,9708567 + 1,7196379}$$

$$bp = \frac{-5,999586}{-0,2512188} \Rightarrow \text{“ } bp = 23,88 \text{ ”}$$

$$bt = \frac{SY_p - Spp}{Spt} - bp = \frac{430.213}{-6931,62} - \frac{13.661,23}{-6931,62} (23,881914) =$$

$$bt = -62,065289 + 47,06783 \Rightarrow \text{“ } bt = -14,99 \text{ ”}$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b_t \frac{\sum X_t}{n} - b_p \frac{\sum X_p}{n} = \frac{34.697,91}{20} - (-14,99) \frac{(1278,91)}{20} - (23,88) \frac{(1602,83)}{20}$$

$$\Rightarrow "a = 779,66"$$

Portanto, o modelo estimado será:

$$\hat{Y} = a + b_t X_t + b_p X_p$$

$$" \hat{Y} = 779,66 - 14,99 X_t + 23,88 X_p "$$

2.2.1 Teste de hipótese:

Para testar a existência de regressão, utilizaremos o comportamento das variações totais, explicadas e residuais. Este teste é compactado no chamado Quadro de Análise de Variância (QAV), e é conhecido como Teste "F".

Temos que:

Varição Explicada - VE

$$VE = b_t SY_t + b_p SY_p = (-14,99)(-225.993) + (23,88)(430.213) \Rightarrow 13.661.121$$

Varição Total - VT

$$VT = SY^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 75.356.394 - \frac{1.203.945.100}{20} \Rightarrow 15.159.139$$

Varição Residual - VR

$$VR = VT - VE = 15.159.139 - 13.661.121 \Rightarrow 1.498.018$$

QAV - Teste "F"

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	G.L.	Quadrados Médios	F
Devido às variáveis X_1, X_2, \dots, X_k	VE	K	$\frac{VE}{K}$	
Residual	VR	$n-K-1$	S^2	$F = \frac{VE}{\frac{VR}{K}}$
Total	VT	$n-1$		S^2

QAV - Teste "F"

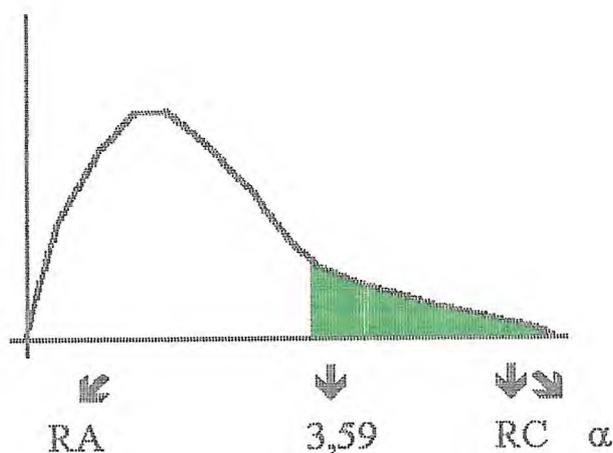
Fonte de variação	Soma de quadrados	G.L.	Quadrados Médios	F
Variáveis X_t e X_p	VE = 13.661.121	2	6.830.560,5	
Residual	VR = 1.498.018	17	$S^2 = VR / 17$	F = 77,51
Total	VT = 15.159.139	19		

D) $H_0: \beta_t = \beta_p = 0$

$H_1: \beta_t \neq 0$ e $\beta_p \neq 0$

II) Fixação do risco $\alpha = 5\%$ e escolha da variável F com 2 graus de liberdade no numerador e 17 graus de liberdade no denominador.

III) Determinação da Região Crítica (RC) e da Região de Aceitação (RA):



IV) F calculado = 77,51

V) Conclusão: Para encontrar o valor crítico da distribuição para aceitação da hipótese de ambos os coeficientes angulares serem iguais a zero, necessitamos do grau de liberdade do numerador (v_1) da distribuição F de Snedecor, igual ao número das variáveis explicativas escolhidas, $k = 2$, e do grau de liberdade do denominador (v_2), dado pela fórmula: $n - k - 1 = 20 - 2 - 1 = 17$.

Utilizando os graus de liberdade 2 e 17, encontra-se o valor 3,59 como pode ser visto abaixo na reprodução de parte da tabela da distribuição F para $\alpha = 5\%$, ou seja, 5% da distribuição F , com $v_1 = 2$ e $v_2 = 17$, acham-se à direita de 3,59, que se caracteriza por uma região de rejeição da hipótese H_0 , e como o F calculado foi superior ao F tabelado ($77,51 > 3,59$), ele então se encontra exatamente nesta região, implicando em dizer que rejeita-se H_0 e existe regressão.

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	...	∞
1	161,4	199,5	215,7	...	254,3
.
16	4,49	3,63	3,24	...	2,01
17	4,45	3,59	3,20	...	1,96
18	4,41	3,55	3,16	...	1,92
.
.
∞	3,84	3,00	2,60	...	1,00

2.2.2 Coeficiente de Determinação ou de Explicação:

Além do Teste de Hipótese, outro indicador que nos fornece elementos para a análise do modelo adotado é o coeficiente de Determinação ou de Explicação, definido por:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^k b_i SY_i}{S_{YY}} \quad \text{"no caso geral, ou"} \quad R^2 = \frac{b_t SY_t + b_p SY_p}{S_{YY}} \quad \text{para o nosso caso.}$$

Devemos ter : $0 \leq R^2 \leq 1$

No caso em que $R^2 = 1$, todos os pontos observados se situam "exatamente" sobre a reta de regressão. Diremos então que o ajuste é perfeito. As variações de Y são 100% explicadas pelas variações de X através da função especificada, não havendo desvios em torno da função estimada.

Por outro lado, se $R^2 = 0$, concluiremos que as variações de Y são exclusivamente aleatórias, e a introdução da variável X no modelo não incorporará informação alguma sobre as variações de Y.

Teremos:

$$R^2 = \frac{b_t SY_t + b_p SY_p}{S_{YY}} = \frac{VE}{VT} = \frac{13.661.121}{15.159.139} = 0,901 \Rightarrow \text{"R}^2 = 90,1\% \text{"}$$

Capítulo 3

ANÁLISE DE RESULTADOS

Faremos algumas considerações baseadas nos cálculos do capítulo anterior.

No tocante à Correlação, obtivemos os seguintes valores para a correlação de ordem zero: $r_{yt} = -0,914$, $r_{yp} = 0,945$, o que significa dizer que o consumo de energia elétrica está fortemente relacionado com tarifa e PIB, visto que o máximo valor que a correlação pode assumir é 1 (um), e ainda pode-se verificar que pelo sinal negativo relacionando consumo e tarifa, conclui-se que é uma relação inversa, ou seja, o consumo cresce quando a tarifa reduz seu preço e vice-versa. Quanto ao sinal positivo relacionando consumo e PIB, temos que para valores crescentes do PIB, teremos também valores crescentes para o consumo e vice-versa.

Analisando agora os coeficientes de Correlação Parcial de primeira ordem, temos: $r_{yt,p} = -0,268$, implicando que a correlação entre consumo e tarifa, mantendo o PIB constante, continua possuindo uma relação negativa, porém agora de fraca intensidade. Já para $r_{yp,t} = 0,643$, temos que a correlação entre consumo e PIB, removendo os efeitos da tarifa, continua possuindo uma relação positiva e que seu valor ainda é consideravelmente forte, assim, pelo exposto podemos concluir que entre tarifa e PIB, a variável que mais determina as variações do consumo é o PIB.

Com relação ao coeficiente de Correlação Múltipla, que é um coeficiente de medida da relação entre a variável dependente: consumo, com as outras variáveis independentes: tarifa e PIB, tomadas conjuntamente, encontrou-se $R = 0,950$; nota-se que este valor é maior do qualquer dos coeficientes r_{yt} ou r_{yp} . Isto é um fato a ser

esperado porque se tomam em consideração variáveis independentes adicionais importantes, que podem conduzir a uma relação mais bem definida entre as variáveis.

Com respeito à Regressão Linear Múltipla, chegou-se ao seguinte modelo:

$$\hat{Y} = 779,66 - 14,99 X_t + 23,88 X_p$$

Os coeficientes de uma equação de regressão múltipla se chamam coeficientes de regressão parcial. O coeficiente $b_t = -14,99$ indica que, em média, a quantidade consumida de energia elétrica decairá de 14,99 GWh para cada aumento de 1 US\$/MWh no preço da tarifa, enquanto o PIB permanece constante. O coeficiente b_p mostra que, em média, a quantidade consumida de energia elétrica aumenta de 23,88 GWh, quando se verifica um aumento de 1% no PIB e o preço da tarifa é mantido fixo. O coeficiente $a = 779,66$ tem a mesma unidade de medida que o consumo de energia elétrica possui.

Para o Coeficiente de Determinação ou Explicação o resultado encontrado foi $R^2 = 0,901$, indicando que o ajuste foi bom, visto que a variação explicada pela regressão representa 90,1% da variação total.

APÊNDICE

Nessa seção será realizada uma tentativa de inclusão da variável População no modelo de regressão múltipla de predição do consumo de energia elétrica no Estado do Ceará no período de 1973/92.

Pela própria limitação das estatísticas de população torna-se necessária a estimação dos valores para os períodos intercensitários, causando, de antemão, uma artificialidade na amostra.

Além disso, teórica e praticamente, População e PIB são duas variáveis com tendências idênticas de crescimento no longo prazo, vindo a acarretar, em termos da teoria de regressão múltipla o viés da multicolinearidade, isto é, a não credibilidade dos resultados, mesmo respaldado por um alto índice do coeficiente de explicação.

Feito esse esclarecimento teórico, passa-se a trabalhar com uma regressão múltipla onde a variável dependente é \hat{Y} (consumo por energia elétrica) e as variáveis independentes são as já conhecidas X_t (tarifa de energia elétrica) e X_p (PIB), e a nova variável X_h (habitantes \rightarrow População). Teremos os seguintes valores atribuídos à população (milhões de habitantes), baseados nos Censos de 1970, 1980 e 1991:

<u>Ano</u>	<u>População</u>	<u>Ano</u>	<u>População</u>	<u>Ano</u>	<u>População</u>
1973	4,621106	1980	5,288253	1987	5,951168
1974	4,710994	1981	5,378230	1988	6,052424
1975	4,802630	1982	5,469738	1989	6,155403
1976	4,896049	1983	5,562803	1990	6,260134
1977	4,991285	1984	5,657451	1991	6,366647
1978	5,088373	1985	5,753710	1992	6,474972
1979	5,187350	1986	5,851606		

O resultado da equação de regressão múltipla é:

$$\hat{Y} = -6250 - 6,07 X_t + 1566,54 X_h - 3,54 X_p$$

As variáveis Tarifa e População, teoricamente desempenham seu papel de explicar a demanda por energia elétrica. No primeiro caso, para variações positivas no preço da tarifa, há uma queda na quantidade demandada de energia elétrica, dado o coeficiente negativo (-6,07). No segundo caso, variações positivas na população levam a uma maior quantidade demandada, dado o coeficiente positivo (+1566,54).

É no PIB o caso difícil de aceitar. Dado o seu coeficiente $X_p = -3,54$, significa dizer que para cada aumento de 1% no PIB, teríamos redução de 3,54 GWh no consumo de energia elétrica, idéia incorreta teoricamente e altamente improvável praticamente.

Essa incoerência deve ser atribuída à multicolinearidade entre as variáveis População e PIB. Para argumentar com maior exatidão seguem-se os índices de correlação de ordem zero e de primeira ordem, envolvendo as variáveis em questão:

$r_{yp} = 0,945$ ∴ mostra a forte correlação entre a variável dependente y (consumo) e a variável independente p (PIB), quando as duas são tomadas de forma isolada;

$r_{hp} = 0,953$ ∴ mostra, por outro lado, a forte correlação entre as variáveis independentes população e PIB, ou seja, um indício de multicolinearidade;

$r_{yp,h} = -0,107$:

A correlação entre Consumo e PIB troca de sinal e perde intensidade quando é introduzida a variável População. Essa evidência, é portanto, provavelmente suficiente para ratificar o fenômeno da multicolinearidade e a partir daí o inadequado coeficiente do PIB da equação de regressão múltipla, envolvendo Tarifa, População e PIB, para explicar a Demanda por Energia elétrica.

BIBLIOGRAFIA

1. BRASIL. Balanço Energético Nacional de 1984, Brasília, Ministério das Minas e Energia, 1985.
2. BRASIL. Balanço Energético Nacional de 1993, Brasília, Ministério das Minas e Energia, 1994.
3. COELCE. Análise do Mercado de Energia Elétrica de 1971 a 1991, Fortaleza, COELCE, 1992.
4. ----- . Acompanhamento anual do Mercado de Energia elétrica em 1991, Fortaleza, COELCE, 1992.
5. ----- . Acompanhamento anual do Mercado de Energia elétrica em 1992, Fortaleza, COELCE, 1993.
6. FONSECA, Jairo Simon da, MARTINS, Gilberto de Andrade, TOLEDO, Geraldo Luciano. Estatística Aplicada, 2. Ed, São Paulo, Atlas, 1991.
7. FOX, Karl A, MERRIL, William C.. Estatística Econômica; uma introdução, 1. Ed, São Paulo, Atlas, 1977.
8. SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Agregados Econômicos Regionais, Nordeste do Brasil. 1965-92. Recife, 1994.