

8

Estimação da Eficiência Técnica Usando Fronteiras Estocásticas

8.1

Introdução

A estimação da eficiência técnica relativa foi apresentada no Capítulo 7 por meio de três modelos DEA *input-oriented*. Neste Capítulo, os índices de eficiência são calculados à luz dos modelos SFA. É digno de registro que todas estas análises têm como propósito mitigar a assimetria da informação e aprimorar a habilidade do agente regulador em comparar os desempenhos das distribuidoras.

Nesse contexto, a organização deste Capítulo é como se segue:

- (i) tópico 8.2 apresenta os modelos SFA com enfoque Clássico;
- (ii) tópico 8.3 apresenta os modelos SFA com enfoque Bayesiano.

8.2

Resultados dos modelos econométricos com enfoque clássico

Foram testadas quatro especificações distintas para a fronteira estocástica de custos, resultantes das combinações de duas formas funcionais (Cobb-Douglas e Translog) com duas distribuições para o termo aleatório u_j (*Half-Normal* e *Normal truncada*):

Cobb-Douglas:

$$\ln \text{OPEX}_j = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{MWh}_j + \beta_2 \ln \text{NC}_j + \beta_3 \ln \text{KM}_j + v_j + u_j$$

(8.2.1)

Translog:

$$\begin{aligned} \ln \text{OPEX}_j &= \beta_0 + \beta_1 \ln \text{MWh}_j + \beta_2 \ln \text{NC}_j + \beta_3 \ln \text{KM}_j + \\ &\frac{1}{2} \cdot (\beta_{11} (\ln \text{MWh}_j)^2 + \beta_{22} (\ln \text{NC}_j)^2 + \beta_{33} (\ln \text{KM}_j)^2) + \\ &\frac{1}{2} \cdot (\beta_{12} \ln \text{MWh}_j \ln \text{NC}_j + \beta_{13} \ln \text{MWh}_j \ln \text{KM}_j + \beta_{23} \ln \text{NC}_j \ln \text{KM}_j) + v_j + u_j \end{aligned}$$

(8.2.2)

Com relação à distribuição Normal-Truncada, $u_j \sim iid N^+(\eta_j, \tau^2)$, considerou-se a média definida como sendo $\eta_j = \delta_0 + \delta_1 \ln(\text{OPEX}_j / \text{MWh}_j)$, onde a razão OPEX/MWh é um índice tradicionalmente considerado na avaliação da produtividade das concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Nas distintas versões para o modelo SFA, estimadas com o FRONTIER 4.1 (www.uq.edu.au/economics/cepa/software.htm), foram adicionadas duas variáveis *dummies* na forma aditiva com o objetivo de informar em que *cluster* se encontra cada distribuidora.

De posse destas informações, obteve-se os seguintes resultados:

- **R4** - Resultados do modelo *Half-Normal/Cobb-Douglas* considerando os *clusters*;
- **R5** - Resultados do modelo *Half-Normal/Cobb-Douglas* desconsiderando os *clusters*;
- **R6** - Resultados do modelo *Half-Normal/Translog* considerando os *clusters*;
- **R7** - Resultados do modelo *Half-Normal/Translog* desconsiderando os *clusters*;
- **R8** - Resultados do modelo *Normal-Truncada/Cobb-Douglas* considerando os *clusters*;
- **R9** - Resultados do modelo *Normal-Truncada/Cobb-Douglas* desconsiderando os *clusters*;
- **R10** - Resultados do modelo *Normal-Truncada/Translog* considerando os *clusters*;
- **R11** - Resultados do modelo *Normal-Truncada/Translog* desconsiderando os *clusters*;

Vale observar que em todos os modelos SFA editados nas Tabelas 8.1 e 8.2, a estatística γ é significativa indicando a presença da ineficiência técnica (teste da razão da verossimilhança – LR *test*). Outro comentário que merece ser enfatizado diz respeito ao fato dos coeficientes δ_0 e δ_1 (modelos SFA com Normal-Truncada), serem significativos.

Tabela 8.1 – Índices de eficiência $\theta_j^{\text{SFA-C}/\text{HN}}$.

	Concessionária	R4	R5	R6	R7
CLUSTER 1	AES-SUL	0,9304	0,9216	0,9806	0,9999
	CEAL	0,5816	0,6902	0,6519	0,7181
	CEEE	0,3103	0,3864	0,2504	0,2709
	CELPA	0,3713	0,4562	0,3454	0,4130
	CELTINS	0,3803	0,4872	0,4908	0,4491
	CEPISA	0,5584	0,6696	0,6690	0,7327
	CERON	0,4548	0,5680	0,5471	0,5232
	COSERN	0,8084	0,8523	0,8858	0,9364
	ENERGIPE	0,7380	0,8167	0,8794	0,8690
	ESCELSA	0,7684	0,8273	0,6694	0,6964
	MANAUS	0,4676	0,5704	0,6902	0,6764
	PIRATININGA	0,8872	0,8900	0,9998	0,9988
	RGE	0,9176	0,9129	0,9448	0,9999
	SAELPA	0,7357	0,8085	0,8226	0,9999
CLUSTER 2	BANDEIRANTES	0,6977	0,7075	0,7735	0,4524
	CEB	0,3814	0,4245	0,4725	0,3498
	CELESC	0,5776	0,6044	0,4481	0,3611
	CELG	0,4971	0,5339	0,4773	0,4245
	CELPE	0,8967	0,8652	0,9845	0,9982
	CEMAR	0,6310	0,6626	0,8028	0,7383
	CEMAT	0,4606	0,5105	0,5196	0,4657
	CEMIG	0,7187	0,7134	0,3367	0,3375
	CERJ	0,7756	0,7684	0,7875	0,8285
	COELBA	0,7321	0,7294	0,6619	0,7881
	COELCE	0,7884	0,7818	0,8288	0,7750
	COPEL	0,8888	0,8585	0,8896	0,8391
	CPFL	0,8811	0,8469	0,7378	0,6427
	ELEKTRO	0,8968	0,8679	0,8481	0,7118
ELETROPAULO	0,6888	0,6766	0,5172	0,7652	
ENERSUL	0,7150	0,7480	0,8849	0,9358	
LIGHT	0,7292	0,7185	0,6189	0,6955	
CLUSTER 3	BOA VISTA	0,3113	0,3457	0,3177	0,2957
	BRAGANTINA	0,6884	0,6973	0,7064	0,6931
	CAUIÁ	0,6257	0,6344	0,5987	0,5920
	CAT-LEO	0,7402	0,7275	0,7083	0,7394
	CEA	0,4653	0,4907	0,4619	0,4492
	CELB	0,8740	0,8407	0,9693	0,9815
	CENF	0,6868	0,6968	0,6946	0,7034
	CFLO	0,7838	0,7812	0,8801	0,8234
	CHESP	0,8065	0,8126	0,8696	0,8047
	COCEL	0,8047	0,8040	0,8663	0,8649
	CPEE	0,7959	0,7932	0,8486	0,8582
	CSPE	0,8758	0,8512	0,9965	0,9999
	DEMEI	0,8333	0,8222	0,8571	0,9993
	ELETROACRE	0,7131	0,7127	0,7035	0,7237
	ELETROCAR	0,7281	0,7491	0,7420	0,7491
	JAGUARI	0,6997	0,7221	0,9627	0,9759
	JOÃO CESA	0,7810	0,8112	0,8460	0,8436
	MOCOCA	0,7628	0,7701	0,7980	0,7367
	MUXFELDT	0,9279	0,9082	0,8621	0,8215
	NACIONAL	0,8066	0,7885	0,9052	0,9574
NOVA PALMA	0,9128	0,8934	0,9949	0,9662	
PANAMBI	0,6148	0,6620	0,5782	0,5312	
POÇOS DE CALDAS	0,6925	0,7157	0,7220	0,9856	
SANTA CRUZ	0,6959	0,6986	0,6735	0,6803	
SANTA MARIA	0,7268	0,7394	0,7596	0,8028	
SULGIPE	0,8555	0,8341	0,9758	0,8561	
URUSSANGA	0,3779	0,4396	0,4152	0,5478	
V. PARANAPANEMA	0,5731	0,5914	0,5556	0,5420	
XANXERÉ	0,5340	0,5791	0,5374	0,5575	

Tabela 8.2 – Índices de eficiência $\theta_j^{\text{SFA-C/NT}}$.

Concessionária	R8	R9	R10	R11
CLUSTER 1				
AES-SUL	0,9109	1,0000	0,9054	0,9582
CEAL	0,3880	0,5486	0,6225	0,2540
CEEE	0,2037	0,3840	0,2469	0,1826
CELPA	0,2362	0,3840	0,3420	0,1802
CELTINS	0,2605	0,3153	0,4415	0,1442
CEPISA	0,3576	0,4283	0,5628	0,1963
CERON	0,3201	0,4379	0,5215	0,2023
COSERN	0,5819	0,9003	0,8680	0,4250
ENERGIPE	0,5391	0,8608	0,8853	0,4018
ESCELSA	0,5863	0,9782	0,6428	0,5605
MANAUS	0,3453	0,7678	0,6827	0,3638
PIRATININGA	0,7330	1,0000	0,9074	0,8752
RGE	0,8223	0,9907	0,9182	0,7550
SAELPA	0,4769	0,6174	0,7242	0,2849
CLUSTER 2				
BANDEIRANTES	0,7508	0,9904	0,5487	0,7652
CEB	0,3591	0,4416	0,5005	0,2086
CELESC	0,5638	0,8137	0,4419	0,3926
CELG	0,4501	0,4598	0,4858	0,2172
CELPE	0,8863	0,9117	0,9995	0,4364
CEMAR	0,5360	0,4435	0,7258	0,2049
CEMAT	0,4598	0,4950	0,5465	0,2333
CEMIG	0,6773	0,9477	0,3408	0,4871
CERJ	0,6909	0,7745	0,8316	0,3658
COELBA	0,6194	0,6717	0,6847	0,3175
COELCE	0,7037	0,6936	0,8201	0,3256
COPEL	0,8734	0,8661	0,8726	0,4102
CPFL	0,9121	0,9869	0,7398	0,6627
ELEKTRO	0,9999	0,9848	0,8688	0,6227
ELETROPAULO	0,5898	0,9387	0,5471	0,4749
ENERSUL	0,7465	0,7476	0,9417	0,3510
LIGHT	0,6550	0,9577	0,6424	0,4999
CLUSTER 3				
BOA VISTA	0,2315	0,2926	0,3328	0,1340
BRAGANTINA	0,5571	0,7695	0,6949	0,3564
CAUIÁ	0,4547	0,5472	0,5840	0,2520
CAT-LEO	0,5302	0,5762	0,6439	0,2652
CEA	0,3380	0,4135	0,4692	0,1898
CELB	0,7025	0,8221	0,9757	0,3762
CENF	0,5056	0,5545	0,7089	0,2516
CFLO	0,6433	0,7930	0,9451	0,3610
CHESP	0,6616	0,5135	0,7335	0,2273
COCEL	0,7102	0,8461	0,8892	0,3855
CPEE	0,6821	0,8142	0,8568	0,3719
CSPE	0,7905	0,9286	0,9980	0,4370
DEMEI	0,6750	0,7132	0,9991	0,3190
ELETROACRE	0,5038	0,5174	0,6634	0,2349
ELETROCAR	0,6140	0,6565	0,7510	0,2968
JAGUARI	0,6721	0,9810	0,7778	0,5694
JOÃO CESA	0,8007	0,9628	0,9989	0,4722
MOCOCA	0,6307	0,7133	0,8267	0,3233
MUXFELDT	0,9944	0,9011	0,9990	0,4006
NACIONAL	0,6244	0,7758	0,9717	0,3546
NOVA PALMA	0,9295	0,8455	0,9983	0,3763
PANAMBI	0,5199	0,5604	0,6433	0,2510
POÇOS DE CALDAS	0,5808	0,6358	0,7168	0,2902
SANTA CRUZ	0,5315	0,6533	0,6562	0,3015
SANTA MARIA	0,5847	0,6136	0,7352	0,2790
SULGIPE	0,6526	0,5285	0,7654	0,2359
URUSSANGA	0,3792	0,5632	0,3923	0,2566
V. PARANAPANEMA	0,4241	0,5025	0,5426	0,2310
XANXERÉ	0,4539	0,5330	0,5540	0,2422

Uma comparação visual, dos dados editados nas Tabelas 8.1 e 8.2, pode revelar características importantes possibilitando uma melhor compreensão dos mesmos. Para tal, foi utilizado os *boxplots*, que são úteis para revelar o centro, a dispersão e a distribuição dos dados. Os mesmos são apresentados na Figura 8.1:

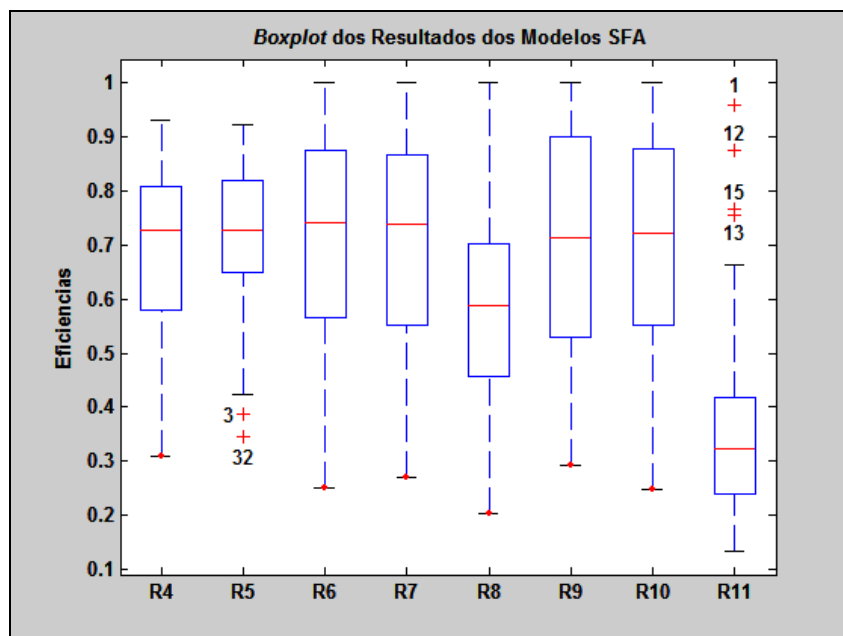


Figura 8.1: *Boxplot* dos índices de eficiência (Modelos SFA Clássica).

Examinando a Figura 8.1, percebe-se nitidamente que:

- Os resultados obtidos por *Half-Normal/Translog* (**R6** e **R7**) são muito semelhantes dando a entender desnecessária, nestes casos, a classificação das empresas por *clusters*;
- Os resultados obtidos por *Normal-Truncada/Cobb-Douglas* sem considerar a classificação das empresas por *clusters*; (**R9**), são mais dispersos;
- Identificação de *outliers* nos modelos **R5**(3, 32) e **R11** (1, 12, 13, 15);
- O modelo **R11** está totalmente destoante, fazendo-se necessária uma análise mais criteriosa.

8.3

Resultados dos modelos econométricos com enfoque Bayesiano

Esta seção, considerada a mais relevante desta tese, tem como objetivos estabelecer a metodologia de fronteira estocástica sob o paradigma Bayesiano e, também, sua aplicação para medir os custos operacionais. Em virtude da natureza econométrica, é admitido que u_j tenha distribuição Exponencial, *Half-Normal* e Normal-Truncada. Para esta última, tem-se a seguinte formulação:

$$u_j \sim iid N^+(\eta_j, \tau^2) \quad (8.3.1)$$

onde:

$$\eta_j = [1 \quad dummy_1 \quad dummy_2 \quad \ln(OPEX_j / MWh_j)] \times [\phi_1 \quad \phi_2 \quad \phi_3 \quad \phi_4]^T \quad (8.3.2)$$

É importante esclarecer que foi usado duas parametrizações:

a) **Parametrização 1** proposta por van den Broeck et al [94]:

$$\psi_l = \phi_l / \tau; \quad (l = 1, 4) \quad (8.3.3)$$

b) **Parametrização 2** - extensão de (a), ou seja:

$$\psi_l = \phi_l / \tau, \quad (l = 1, 2, 3, 4) \quad (8.3.4)$$

Vale lembrar que a variável $\ln(OPEX / MWh)$ foi padronizada passando a ter média zero (0) e desvio-padrão um (1). As distribuições a priori para os parâmetros do modelo (8.3.1) sugeridas por van den Broeck et al [94], são:

$$\phi_l \sim N(0,1); \quad (l = 1, 4) \quad (8.3.5)$$

$$\phi_l \sim \Gamma(2,1); \quad (l = 2, 3) \quad (8.3.6)$$

$$\tau^{-2} \sim \Gamma(5; 5 \ln^2(r^*)) \quad (8.3.7)$$

Os modelos Bayesianos foram implementados usando o *software* livre WinBUGS (*Bayesian inference Using Gibbs Sampling for Windows*), que pode ser obtido em www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs/Welcome.htm. Para todas as situações, inicialmente foram realizadas 20.000 iterações (*burn-in*). Em seguida,

rodou-se mais 400.000 iterações. Utilizando a ferramenta *Sample Monitor Tool* (opção disponível no WinBUGS) atribuiu-se um *thin* de 40 amostras). Com relação à análise de convergência dos parâmetros, esta foi realizada de duas maneiras:

- Critério Raftery & Lewis [73] via *Bayesian Output Analysis Program* (BOA) *version* 1.1 disponível em (<http://www.public-health.uiowa.edu/boa>);
- Gráficos de autocorrelação serial disponibilizados no WinBUGS.

Assim sendo, de forma análoga aos modelos de fronteira estocástica com enfoque clássico, tem-se (ver Tabelas 8.3 e 8.4):

- **R12** - Resultados do modelo Bayesiano *Half-Normal/Cobb-Douglas*;
- **R13** - Resultados do modelo Bayesiano *Half-Normal/Translog*;
- **R14** - Resultados do modelo Bayesiano Exponencial/Cobb-Douglas considerando os *clusters*;
- **R15** - Resultados do modelo Bayesiano Exponencial/Cobb-Douglas desconsiderando os *clusters*;
- **R16** - Resultados do modelo Bayesiano Bayesiano Exponencial/Translog considerando os *clusters*;
- **R17** - Resultados do modelo Bayesiano Exponencial/Translog desconsiderando os *clusters*;
- **R18** - Resultados do modelo Bayesiano Normal-Truncada/Cobb-Douglas considerando os *clusters*;
- **R19** - Resultados do modelo Bayesiano Normal-Truncada/Cobb-Douglas desconsiderando os *clusters*;
- **R20** - Resultados do modelo Bayesiano Normal-Truncada/Translog considerando os *clusters*;
- **R21** - Resultados do modelo Bayesiano Normal-Truncada/Translog desconsiderando os *clusters*;

Tabela 8.3 – Índices de eficiência r_j^{SFA-B} .

Concessionária	R12	R13	R14	R15	R16
CLUSTER 1					
AES-SUL	0,9181	0,9058	0,9256	0,9352	0,9173
CEAL	0,6864	0,6683	0,8165	0,8163	0,8049
CEEE	0,4489	0,4638	0,6132	0,5926	0,6262
CELPA	0,4930	0,4970	0,6613	0,6451	0,6674
CELTINS	0,5293	0,5264	0,7054	0,6819	0,7051
CEPISA	0,6553	0,6506	0,7978	0,7948	0,7935
CERON	0,6117	0,6015	0,7711	0,7612	0,7643
COSERN	0,8399	0,8140	0,8873	0,8972	0,8760
ENERGIPE	0,8104	0,7794	0,8777	0,8837	0,8636
ESCELSA	0,8460	0,8322	0,8901	0,9015	0,8824
MANAUS	0,6189	0,6141	0,7795	0,7668	0,7794
PIRATININGA	0,8844	0,8722	0,9065	0,9181	0,9025
RGE	0,9077	0,8919	0,9193	0,9303	0,9106
SAELPA	0,7719	0,7581	0,8583	0,8667	0,8501
CLUSTER 2					
BANDEIRANTES	0,7761	0,8082	0,8696	0,8697	0,8900
CEB	0,4848	0,4870	0,6925	0,6356	0,7154
CELESC	0,6804	0,6978	0,8260	0,8142	0,8404
CELG	0,5963	0,6171	0,7739	0,7472	0,7938
CELPE	0,8399	0,8315	0,8935	0,8985	0,8937
CEMAR	0,6458	0,6516	0,8090	0,7912	0,8233
CEMAT	0,6003	0,6000	0,7824	0,7513	0,7914
CEMIG	0,7697	0,7986	0,8598	0,8660	0,8755
CERJ	0,7489	0,7426	0,8578	0,8551	0,8616
COELBA	0,7089	0,7191	0,8385	0,8312	0,8489
COELCE	0,7643	0,7647	0,8630	0,8635	0,8693
COPEL	0,8441	0,8481	0,8939	0,9006	0,8977
CPFL	0,8464	0,8454	0,8960	0,9026	0,9006
ELEKTRO	0,8735	0,8638	0,9091	0,9128	0,9078
ELETROPAULO	0,6798	0,7131	0,8180	0,8128	0,8447
ENERSUL	0,7980	0,7820	0,8811	0,8782	0,8767
LIGHT	0,7224	0,7408	0,8440	0,8400	0,8586
CLUSTER 3					
BOA VISTA	0,4057	0,4125	0,8519	0,5344	0,8699
BRAGANTINA	0,7502	0,7282	0,9441	0,8544	0,9443
CAUIÁ	0,6673	0,6428	0,9297	0,8020	0,9325
CAT-LEO	0,7456	0,7244	0,9414	0,8512	0,9425
CEA	0,5389	0,5269	0,8998	0,6923	0,9065
CELB	0,8244	0,7863	0,9536	0,8897	0,9518
CENF	0,6968	0,6660	0,9360	0,8221	0,9373
CFLO	0,7867	0,7620	0,9494	0,8722	0,9495
CHESP	0,8098	0,8024	0,9532	0,8817	0,9545
COCEL	0,8284	0,8116	0,9542	0,8916	0,9553
CPEE	0,8183	0,7976	0,9538	0,8867	0,9541
CSPE	0,8604	0,8359	0,9584	0,9069	0,9573
DEMEI	0,7877	0,7595	0,9502	0,8718	0,9501
ELETROACRE	0,7018	0,6727	0,9369	0,8256	0,9368
ELETROCAR	0,7835	0,7689	0,9492	0,8686	0,9500
JAGUARI	0,8060	0,8290	0,9521	0,8810	0,9575
JOÃO CESA	0,8315	0,8772	0,9575	0,8908	0,9628
MOCOCA	0,7860	0,7650	0,9494	0,8703	0,9509
MUXFELDT	0,8858	0,8810	0,9631	0,9175	0,9634
NACIONAL	0,7738	0,7395	0,9480	0,8647	0,9474
NOVA PALMA	0,8847	0,8760	0,9628	0,9183	0,9626
PANAMBI	0,6946	0,7063	0,9387	0,8185	0,9426
POÇOS DE CALDAS	0,7776	0,7571	0,9472	0,8664	0,9488
SANTA CRUZ	0,7395	0,7112	0,9413	0,8478	0,9421
SANTA MARIA	0,7747	0,7508	0,9474	0,8644	0,9480
SULGIPE	0,8071	0,7859	0,9518	0,8811	0,9515
URUSSANGA	0,5664	0,6807	0,9150	0,7130	0,9397
V. PARANAPANEMA	0,6386	0,6201	0,9241	0,7806	0,9278
XANXERÊ	0,6582	0,6618	0,9308	0,7942	0,9371

Tabela 8.4 – Índices de eficiência r_j^{SFA-B} .

Concessionária	R17	R18	R19	R20	R21
AES-SUL	0,9297	0,9785	0,9822	0,9828	0,9809
CEAL	0,8109	0,3283	0,4789	0,3076	0,4416
CEEE	0,6263	0,2373	0,3128	0,2275	0,2909
CELPA	0,6666	0,2366	0,3237	0,2240	0,2998
CELTINS	0,6961	0,1785	0,2731	0,1705	0,2513
CEPISA	0,8011	0,2577	0,3829	0,2497	0,3619
CERON	0,7626	0,2517	0,3743	0,2380	0,3431
COSERN	0,8880	0,5491	0,7836	0,5189	0,7368
ENERGIPE	0,8724	0,5033	0,7381	0,4639	0,6757
ESCELSA	0,8960	0,7136	0,9095	0,6900	0,8850
MANAUS	0,7744	0,4400	0,6204	0,4154	0,5616
PIRATININGA	0,9140	0,9690	0,9786	0,9732	0,9765
RGE	0,9233	0,9280	0,9723	0,9207	0,9689
SAELPA	0,9619	0,3798	0,5518	0,3674	0,5259
		0,9220			
BANDEIRANTES	0,8864	0,2630	0,9611	0,9656	0,9622
CEB	0,6536	0,5144	0,3603	0,2553	0,3257
CELESC	0,8284	0,2915	0,6482	0,5395	0,6374
CELG	0,7717	0,6042	0,3836	0,3149	0,3747
CELPE	0,8960	0,2777	0,8028	0,6272	0,7941
CEMAR	0,8006	0,2939	0,3948	0,2858	0,3788
CEMAT	0,7613	0,6764	0,4037	0,3028	0,3783
CEMIG	0,8794	0,4997	0,7953	0,7836	0,8466
CERJ	0,8554	0,4441	0,6652	0,5064	0,6436
COELBA	0,8416	0,4470	0,5808	0,4625	0,5754
COELCE	0,8666	0,5736	0,6016	0,4657	0,5912
COPEL	0,9023	0,8871	0,7518	0,6376	0,7715
CPFL	0,9023	0,8234	0,9534	0,9277	0,9557
ELEKTRO	0,9091	0,6672	0,9436	0,8638	0,9402
ELETROPAULO	0,8360	0,4432	0,7940	0,7326	0,8326
ENERSUL	0,8730	0,6861	0,6205	0,4737	0,5967
LIGHT	0,8529	0,1389	0,8356	0,7276	0,8463
		0,3767			
BOA VISTA	0,5611	0,2799	0,2417	0,1245	0,2143
BRAGANTINA	0,8480	0,3043	0,6357	0,3369	0,5763
CAUIÁ	0,7961	0,2052	0,4661	0,2495	0,4195
CAT-LEO	0,8439	0,4143	0,4985	0,2827	0,4631
CEA	0,6931	0,2721	0,3488	0,1816	0,3102
CELB	0,8768	0,3721	0,7168	0,3676	0,6509
CENF	0,8092	0,2353	0,4849	0,2425	0,4395
CFLO	0,8645	0,3887	0,6767	0,3371	0,6217
CHESP	0,8816	0,3829	0,4622	0,2316	0,4683
COCEL	0,8867	0,4559	0,7149	0,3558	0,6719
CPEE	0,8806	0,3271	0,6860	0,3472	0,6393
CSPE	0,8974	0,2618	0,8051	0,4116	0,7483
DEMEI	0,8627	0,3012	0,6347	0,3077	0,5996
ELETROACRE	0,8134	0,5471	0,4584	0,2349	0,4181
ELETROCAR	0,8655	0,4143	0,5603	0,2776	0,5316
JAGUARI	0,8947	0,3315	0,9038	0,5296	0,8776
JOÃO CESA	0,9142	0,3852	0,8593	0,4739	0,9098
MOCOCA	0,8654	0,3819	0,6106	0,3012	0,5691
MUXFELDT	0,9154	0,3723	0,8140	0,3901	0,8487
NACIONAL	0,8527	0,2446	0,6703	0,3402	0,6038
NOVA PALMA	0,9136	0,3013	0,7471	0,3585	0,7577
PANAMBI	0,8325	0,3301	0,4807	0,2330	0,4669
POÇOS DE CALDAS	0,8626	0,2948	0,5346	0,2825	0,5047
SANTA CRUZ	0,8379	0,2610	0,5507	0,2968	0,5004
SANTA MARIA	0,8574	0,2257	0,5259	0,2714	0,4928
SULGIPE	0,8749	0,2526	0,4832	0,2477	0,4680
URUSSANGA	0,8137	0,2405	0,4389	0,2393	0,4617
V. PARANAPANEMA	0,7770	0,2262	0,4255	0,2262	0,3839
XANXERÊ	0,8068	0,2220	0,4433	0,2220	0,4160

A Figura 8.2 reproduz as Tabelas 8.3 e 8.4 do estudo em que os resultados são descritos. É importante esclarecer que esta Figura 8.2 é uma representação visual das eficiências dos modelos Bayesianos, em função das formas funcionais Cobb-Douglas e Translog.

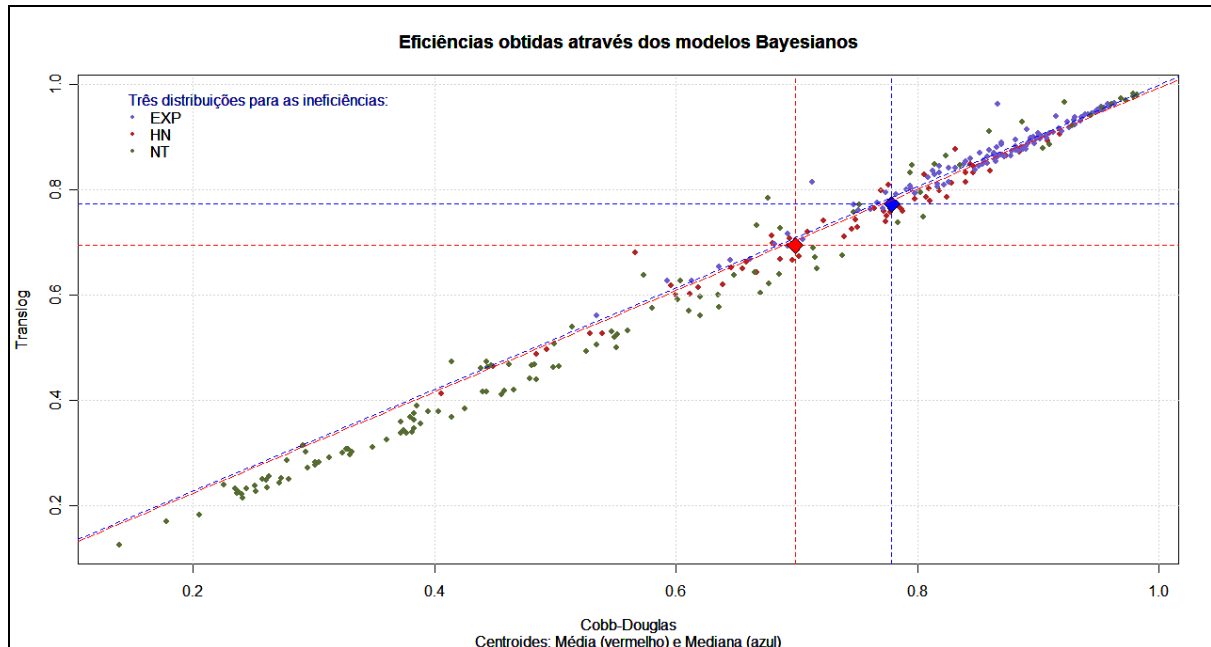


Figura 8.2: Representação gráfica dos índices de eficiência (Modelos Bayesianos).

Por inspeção visual da Figura 8.2, percebe-se que as estimativas, dos índices de eficiência, calculadas pelos modelos com distribuição Normal-Truncada são nitidamente distintas das eficiências estimadas a partir das distribuições Exponencial e *Half-Normal*. Também pode ser observado que a distribuição Exponencial é a que pior discrimina os resultados

Finalmente, foi selecionado dentre todos os modelos de natureza Bayesiana, aquele que pode ser considerado o mais apropriado. Esta seleção foi feita segundo o critério “*Deviance Information Criterion (DIC)*”, onde o menor valor indica um bom ajuste do modelo relativo ao número de parâmetros do mesmo [62]. Desta forma, assumiu-se que o modelo **R20** é o mais adequado. As estimativas deste modelo, obtidas a partir da distribuição a posteriori, via métodos MCMC, estão publicadas nas Tabela 8.5 e 8.6. Vale, ainda, ressaltar uma outra vantagem da técnica Bayesiana que é a concepção do intervalo de credibilidade para cada estimativa.

Tabela 8.5 – Estimativa pontual dos coeficientes de regressão e parâmetros do modelo de fronteira estocástica (enfoque Bayesiano).

Parâmetro	Variável	E(. dados)	D(. dados)
β_0	Constante	9,308	0,0748
β_1	lnMWh	0,1718	0,1084
β_2	lnNC	0,1433	0,0990
β_3	lnKM	0,4257	0,0965
β_{11}	(lnMWh)²	0,1292	0,0931
β_{22}	(lnNC)²	0,0369	0,0163
β_{33}	(lnKM)²	0,0071	0,0024
β_{12}	lnMWhlnNC	0,0774	0,0440
β_{13}	lnMWhlnKM	0,0113	0,0055
β_{23}	lnNClnKM	0,0126	0,0046
ϕ_1	Constante ($s_{j1} \equiv 1$)	0,4420	0,0236
ϕ_2	s_{j2}	0,4297	0,0680
ϕ_3	s_{j3}	0,2908	0,0460
ϕ_4	ln(OPEX / MWh)	0,4420	0,0236
σ^2	-	0,0055	0,0020

Tabela 8.6 – Índices de eficiência $r_j^{\text{SFA-B/NT-TL}}$; ($r^* = 0,95$).

Concessionária	r_j	d.p.	2,5%	mediana	97,5%
CLUSTER 1					
AES-SUL	0,9828	0,0169	0,9373	0,9878	0,9996
CEAL	0,3076	0,0306	0,2510	0,3063	0,3723
CEEE	0,2275	0,0194	0,1918	0,2265	0,2694
CELPA	0,2240	0,0209	0,1860	0,2226	0,2683
CELTINS	0,1705	0,0194	0,1356	0,1695	0,2118
CEPISA	0,2497	0,0264	0,2021	0,2485	0,3051
CERON	0,2380	0,0252	0,1921	0,2367	0,2907
COSERN	0,5189	0,0478	0,4323	0,5168	0,6195
ENERGIPE	0,4639	0,0454	0,3809	0,4618	0,5587
ESCELSA	0,6900	0,0563	0,5877	0,6866	0,8093
MANAUS	0,4154	0,0414	0,3397	0,4133	0,5038
PIRATININGA	0,9732	0,0250	0,9086	0,9807	0,9992
RGE	0,9207	0,0524	0,8045	0,9278	0,9962
SAELPA	0,3674	0,0358	0,3011	0,3663	0,4408
CLUSTER 2					
BANDEIRANTES	0,9656	0,0299	0,8895	0,9735	0,9990
CEB	0,2553	0,0247	0,2117	0,2536	0,3079
CELESC	0,5395	0,0407	0,4651	0,5373	0,6247
CELG	0,3149	0,0263	0,2663	0,3135	0,3704
CELPE	0,6272	0,0484	0,5382	0,6250	0,7280
CEMAR	0,2858	0,0277	0,2349	0,2843	0,3441
CEMAT	0,3028	0,0281	0,2527	0,3013	0,3617
CEMIG	0,7836	0,0616	0,6706	0,7812	0,9126
CERJ	0,5064	0,0409	0,4319	0,5050	0,5924
COELBA	0,4625	0,0367	0,3961	0,4608	0,5389
COELCE	0,4657	0,0379	0,3959	0,4643	0,5448
COPEL	0,6376	0,0493	0,5457	0,6355	0,7399
CPFL	0,9277	0,0469	0,8251	0,9335	0,9968
ELEKTRO	0,8638	0,0601	0,7483	0,8633	0,9790
ELETROPAULO	0,7326	0,0553	0,6308	0,7297	0,8487
ENERSUL	0,4737	0,0448	0,3915	0,4718	0,5672
LIGHT	0,7276	0,0534	0,6290	0,7253	0,8387
CLUSTER 3					
BOA VISTA	0,1245	0,0153	0,0970	0,1235	0,1576
BRAGANTINA	0,3369	0,0373	0,2690	0,3351	0,4162
CAUIÁ	0,2495	0,0276	0,1992	0,2482	0,3068
CAT-LEO	0,2827	0,0301	0,2276	0,2817	0,3453
CEA	0,1816	0,0212	0,1431	0,1807	0,2271
CELB	0,3676	0,0418	0,2919	0,3650	0,4572
CENF	0,2425	0,0293	0,1890	0,2409	0,3048
CFLO	0,3371	0,0402	0,2638	0,3349	0,4214
CHESP	0,2316	0,0302	0,1775	0,2297	0,2958
COCEL	0,3558	0,0429	0,2774	0,3533	0,4463
CPEE	0,3472	0,0412	0,2738	0,3448	0,4347
CSPE	0,4116	0,0478	0,3255	0,4090	0,5142
DEMEI	0,3077	0,0392	0,2359	0,3058	0,3901
ELETROACRE	0,2349	0,0277	0,1849	0,2332	0,2934
ELETROCAR	0,2776	0,0343	0,2159	0,2757	0,3510
JAGUARI	0,5296	0,0610	0,4200	0,5266	0,6595
JOÃO CESA	0,4739	0,0605	0,3660	0,4706	0,6014
MOCOCA	0,3012	0,0365	0,2356	0,2989	0,3782
MUXFELDT	0,3901	0,0519	0,2978	0,3871	0,4981
NACIONAL	0,3402	0,0393	0,2699	0,3376	0,4238
NOVA PALMA	0,3585	0,0466	0,2750	0,3561	0,4563
PANAMBI	0,2330	0,0297	0,1801	0,2314	0,2959
POÇOS DE CALDAS	0,2825	0,0336	0,2210	0,2808	0,3532
SANTA CRUZ	0,2968	0,0232	0,2381	0,2952	0,3638
SANTA MARIA	0,2714	0,0323	0,2136	0,2699	0,3398
SULGIPE	0,2477	0,0306	0,1934	0,2461	0,3124
URUSSANGA	0,2393	0,0305	0,1855	0,2373	0,3061
V. PARANAPANEMA	0,2262	0,0254	0,1796	0,2250	0,2802
XANXERÊ	0,2220	0,0277	0,1722	0,2205	0,2804

Nota: $r_j = \exp(-u_j)$.

Examinando as estimativas pontuais dos parâmetros da fronteira de eficiência (β), pôde-se concluir que estes não são sensíveis à escolha de r^* , diferente do que acontece com as estimativas dos índices de eficiência, σ^2 e ϕ .

A Figura 8.3 mostra o comportamento dos valores dos coeficientes de regressão ϕ para diferentes valores de r^* , ou seja:

1. Valores obtidos após análise de convergência segundo o Critério Raftery & Lewis [73] e considerando a **Parametrização 1**; $r^* = 0,60; 0,75; 0,80; 0,85; 0,95$;
2. Idem para a **Parametrização 2** e $r^* = 0,5; 0,55; 0,70; 0,75; 0,80; 0,90; 0,95$.

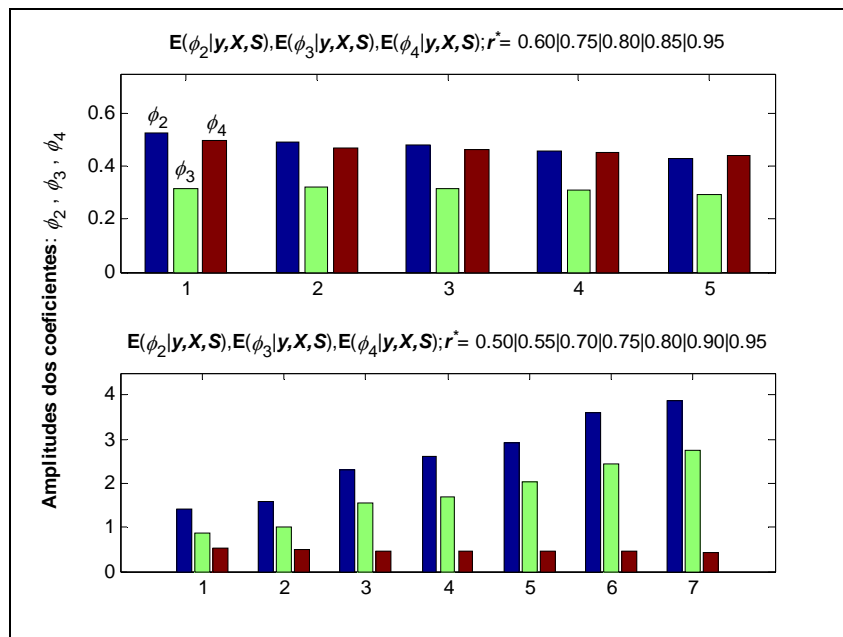


Figura 8.3: Estimativa pontual dos coeficientes de regressão para diferentes valores de r^* .

Nítidamente, pode ser visto que a **Parametrização 1** fornece resultados mais estáveis para ϕ_2, ϕ_3, ϕ_4 . Em contra-partida, a **Parametrização 2** contempla um maior número de modelos levando-se em conta a convergência de ϕ_2, ϕ_3, ϕ_4 .