



**XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GCR/26
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – VI

GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA - GCR

**MODELO DE COMPETIÇÃO DE STACKELBERG: APLICAÇÃO ESTOCÁSTICA NO ESTUDO DA REVISÃO
TARIFÁRIA**

Antonio Camelo da Costa Perrelli(*)
Eletrobras Chesf

Jáilson Araújo de Lima Júnior
Eletrobras Chesf

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo expandir a análise de Revisão Tarifária para o Setor de Transmissão através do uso de parâmetros estocásticos, método de monte carlo e a teoria de competição imperfeita de Heinrich Stackelberg. As empresas realizam simulações com base na metodologia vigente, ignorando assim a característica não paramétrica da metodologia Análise Envoltória de Dados – DEA (*Data Envelopment Analysis*). Neste trabalho, a decisão estratégica de uma empresa ineficiente é tomada somente após a determinação probabilística dos níveis de operação da empresa de fronteira.

PALAVRAS-CHAVE

Análise Envoltória de Dados, Revisão Tarifária, Stackelberg, Monte Carlo, Estocástico

1.0 - INTRODUÇÃO

A mudança na estrutura do setor elétrico brasileiro para um mercado regulado exigiu a implantação de técnicas, por parte da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), capazes de subsidiar o processo de Revisão Tarifária para os Setores de Transmissão e Distribuição. O método escolhido para o Setor de Transmissão foi o de fronteiras eficientes pelo uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) em dois estágios.

O processo de Revisão Tarifária tem como objetivo manter o equilíbrio econômico-financeiro da concessão e definir a receita necessária para cobrir os custos operacionais eficientes sobre os investimentos realizados. Possui legalidade no próprio contrato de concessão, ocorrendo normalmente a cada quadriênio e o seu método de cálculo é definido através de Notas Técnicas emitidas pela Superintendência de Regulação Econômica da ANEEL para este fim.

O índice é calculado através da interação entre modelos não paramétricos e paramétricos baseados em pressupostos de retorno de escala, orientação de insumo ou produto e fronteiras de eficiência. A falha no entendimento do método inviabiliza a possibilidade de reprodução dos resultados apresentados pelo regulador, mina a capacidade da empresa em produzir contribuições em audiências públicas, reduz a eficácia de projeções e análises dos impactos de futuros processos de Revisão Tarifária nos negócios da empresa e impossibilita a criação de estratégias para aumento do índice de eficiência em futuros ciclos.

O modelo de Stackelberg ilustra a situação em que, havendo duas firmas no mercado, a tomada de decisão não é simultânea: uma das firmas toma decisão primeiro, o que as categoriza em líder e seguidora. Desta forma, a fim de realizar a gestão estratégica e mitigar efeitos da Revisão Tarifária em futuros ciclos, a empresa deverá tomar decisões, adaptando seus insumos e produtos, sujeitas às decisões da(s) empresa(s) eficiente(s).

(*) Rua Delmiro Gouveia, n° 333 – sala B116 - Bloco B – CEP 50761-901 Recife, PE, – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-3628 – Email: aperrell@chesf.gov.br

2.0 A METODOLOGIA DE REVISÃO TARIFÁRIA

A Análise Envolvente de Dados é um método não paramétrico que mede a eficiência entre as Unidades de Tomada de Decisão (UTD). O método é amplamente utilizado na regulação de serviços públicos em nível mundial e visa definir uma fronteira de eficiência através de uma ou mais empresas para que estas sirvam como referência (*benchmark*) para as empresas ineficientes.

Primeiramente, as variáveis do modelo são definidas em insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*). Estes, somente devem existir devido a presença dos insumos e a relação entre estas variáveis deve estar teoricamente justificada para definição do pressuposto de retorno de escala.

A definição do retorno de escala caracteriza a forma trigonométrica da fronteira de eficiência e define a relação de impacto nas variáveis de produto dado a mudança nos insumos. No caso do setor de transmissão, o regulador utilizou o custo operacional como variável de insumo e os produtos como variáveis que representassem a disponibilidade das instalações de transmissão.

O retorno de escala escolhido pelo regulador para o Segundo Ciclo de Revisão Tarifária foi o NDRS (*Non Decreasing Returns to Scale*), também conhecido como IRS (*Increasing Returns to Scale*), que define que um aumento proporcional no produto (y) é pelo menos tão grande quanto um aumento proporcional no insumo (x), tal que:

$$\frac{\Delta y}{y} \geq \frac{\Delta x}{x} \quad (I)$$

A representação gráfica do modelo está evidenciada na Figura 1. A unidade P5, por exemplo, está abaixo da fronteira e é considerada ineficiente. O aumento ou do produto 2 ou do produto 1 podem levar a unidade P5 à eficiência nos pontos respectivos de P1 e P2. Um aumento combinado dos produtos podem levar a unidade P5 para um ponto de eficiência P5'. No caso da impossibilidade em aumentar o produto 2, o ponto P5' torna-se inviável sendo melhor a busca pelo aumento do produto 1, atingindo o ponto P5''.

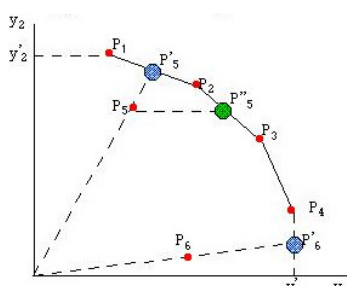


FIGURA 1 – Fronteira de Eficiência

A resolução de um problema com todas as variáveis escolhidas define o nível de eficiência para cada empresa no primeiro estágio. Porém, este índice é considerado como provisório e deve ser corrigido para alcançar o índice final. Esta correção não mais utiliza o método não paramétrico DEA, mas um modelo paramétrico estatístico de livre escolha pelo regulador com novas variáveis de correção, comumente diferentes daquelas utilizadas no primeiro estágio.

2.1 O Segundo estágio do segundo ciclo de revisão tarifária periódica

As notas técnicas referentes para este ciclo foram emitidas em 2009 pela SRE/ANEEL e definiram a base metodológica para o Segundo Ciclo de Revisão Tarifária de Custos Eficientes para o Setor de Transmissão. A metodologia utilizou análise de estágio duplo, sendo o Modelo Não Paramétrico de Análise Envolvente de Dados responsável pela definição do primeiro estágio e o Modelo Paramétrico pelo segundo estágio.

A relação entre o índice de eficiência (θ_i) e os Custos Operacionais Eficientes (CAOM) da empresa “i” é dado pela fórmula¹ (I) abaixo:

$$CAOM_i Ef = PMS_i \cdot \theta_i \quad (II)$$

$$0 \leq \theta_i \leq 1 \quad (III)$$

¹ PMS = Pessoal, Material e Serviço

A representação gráfica do modelo NDRS é dada na Figura 2. A relação produto/insumo para cada ponto na fronteira de eficiência não decresce em relação ao insumo. Com isto, um aumento proporcional no produto é sempre pelo menos tão grande quanto um aumento proporcional no insumo.

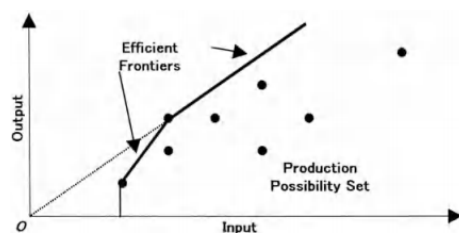


FIGURA 2 – Modelo NDRS

Em termos matemáticos, a relação abaixo sempre será verdadeira neste caso:

$$\frac{\Delta y/y}{\Delta x/x} = \frac{x\Delta y}{y\Delta x} \quad (IV)$$

Onde “x” e “y” representam, respectivamente, produtos e insumos. A correção efetuada no segundo estágio ocorre através do método paramétrico de regressão truncada de tobit:

$$\theta_{DEACorrig} = \text{Min}[\theta_{DEA} - (X_i - \bar{X})\alpha_i, 100\%] \quad (V)$$

A aplicação desta fórmula nos dados da Nota Técnica 396, base metodológica para o Segundo Ciclo de Revisão Tarifária periódica, gera os valores abaixo na Tabela 1:

Tabela 1 – Percentuais de Correção – Segundo Ciclo de Revisão Tarifária Periódica

Empresa	Ef.1E	Área	Remuneração	Tensão	Ef.2E	Ef.AN
CEEE	72,79%	0%	+2,69%	-2,61%	72,87%	73%
CEMIG	70,12%	-8,33%	+1,52%	+3,12%	66,43%	66%
CHESF	54,85%	+5,46%	-16,29%	0,19%	44,21%	44%
CTEEP	100,00%	-3,22%	+3,14%	-0,35%	99,57%	100%
ELETRONORTE	21,70%	+4,96%	+27,28%	+1,24%	55,18%	55%
ELETROSUL	56,75%	+1,68%	+10,71%	-0,70%	68,44%	68%
FURNAS	50,81%	+7,10%	+3,14%	3,22%	64,27%	64%
COPEL	100%	-8,92%	+8,25%	-4,82%	94,51%	95%
GANHO MÉDIO	65,88%	-0,16%	+5,06%	-0,09%	70,69%	

Legenda: Ef. 1E – Eficiência 1º estágio. Área, Remuneração e Tensão são as variáveis ambientais. Ef. 2E – Eficiência 2º estágio. Ef. AN – Eficiência encontrada pela ANEEL.

Fonte: Cálculos do autor

Os valores negativos foram evidenciados com o grifo em vermelho. A primeira empresa que teve a sua eficiência corrigida negativamente foi a CEEE com a penalização de 2,61% em relação à Tensão. Isto significa que a penalização da Área deve ser subtraída à eficiência calculada para esta empresa no primeiro estágio (72,79%). Após aplicada a penalização, o valor da eficiência final desta empresa deveria ser 70,18%. Como a variável “Remuneração” teve um valor positivo de 2,69%, a eficiência final desta empresa foi calculada em 72,87% (Ef.2E). A comparação com os números oficiais disponibilizados pela ANEEL de 73% (Ef.AN) fortalecem os cálculos efetuados pelo autor pela convergência obtida com os cálculos do regulador.

Só há somente uma empresa eficiente, CTEEP, que pode ser vista como a empresa líder. As outras empresas (CEEE, CEMIG, CHESF, ELETRONORTE, ELETROSUL, FURNAS e COPEL) são entendidas como seguidoras. A preparação de cada empresa no ínterim entre os ciclos de revisões deverá ser uma função das decisões da CTEEP com base nos níveis de seus custos e produtos ao longo do tempo. As empresas ineficientes necessitarão de projeções acerca do custo da CTEEP para tomar decisões. Estas, estarão limitadas pela informação assimétrica que é um fenômeno onde uma das partes possui informações superiores em relação a outra.

Neste caso, a CTEEP possui melhores informações em relação a seus custos do que qualquer outra empresa e o poder de definir o deslocamento da curva de eficiência ao longo do tempo, impactando a eficiência de todas as outras empresas.

3.0 O MODELO DE STACKELBERG

A taxonomia das estruturas de mercado, polarizadas entre concorrência perfeita e monopólio, contempla uma grande quantidade de casos entre esses dois extremos. Dentre tais casos, há uma família que pode ser categorizada sob a nomenclatura de oligopólio, que ocorre quando há um certo número de empresas competindo no mercado, mas não o suficiente para que nenhuma tenha poder sobre a determinação de preços (VARIAN, 2010).

Dentre os diversos padrões de estrutura oligopolizada que podemos observar, o caso da liderança em quantidade foi modelado inicialmente por Heinrich von Stackelberg, em 1943. A tomada de decisão não é simultânea: uma das firmas toma decisão primeiro, o que as categoriza em líder e seguidora. Ainda que o mercado de Transmissão de Energia Elétrica, em sua essência, constitua um monopólio natural regulado, o processo de Revisão Tarifária e a determinação de quantidades eficientes de insumos e produtos assemelha a decisão da firma ineficiente ao modelo de líder e seguidora.

Face ao exposto, as empresas dadas como ineficientes no ciclo atual de revisão devem almejar níveis maiores de eficiência nos futuros ciclos ao sujeitarem suas ações às empresas eficientes. A busca constante pela redução de custos ou aumento de produtos necessita esforços extras que podem não necessariamente resultar em aumento de eficiência caso as decisões não estejam sujeitas à empresa líder.

A firma seguidora toma a quantidade estabelecida pela firma líder como dada e, então, decide sua quantidade a fim de maximizar eficiência. Todavia, como a relação entre custos e produtos irá determinar a eficiência, a líder também leva em consideração como a seguidora irá reagir à quantidade que ela estabelecer.

3.1 O Problema da maximização do lucro²

Dada a produção total da indústria $Y = y_1 + y_2$, em que y_1 é a quantidade produzida pela firma líder e y_2 , a produzida pela firma seguidora. O problema da seguidora, então, dado que a líder já estabeleceu y_1 , é escolher y_2 de modo a maximizar seus lucros, dados pela expressão:

$$\pi_2 = p(y_1 + y_2)y_2 - c_2(y_2) \quad (\text{VI})$$

A condição de primeira ordem para esse problema, $\pi'_2 = 0$, se resume a:

$$p(Y) + p'(Y)y_2 = c'_2(y_2) \quad (\text{VII})$$

De posse da função de reação da seguidora à sua quantidade, $f_2(y_1)$, o problema da líder é maximizar:

$$\pi_1 = p(y_1 + f_2(y_1))y_1 - c_1(y_1) \quad (\text{VIII})$$

A condição de primeira ordem para esse problema, $\pi'_1 = 0$, se resume a:

$$p(Y) + p'(Y)[1 + f'_2(y_1)]y_1 = c'_1(y_1) \quad (\text{IX})$$

As duas condições de primeira ordem são suficientes para encontrar as quantidades de equilíbrio para ambas as empresas. Se compararmos o resultado ao do modelo de oligopólio que considera que todas as firmas tomam decisão simultaneamente, no modelo de Stackelberg o lucro da indústria é maior, pois a firma líder opera conhecendo o ponto ótimo da seguidora. No caso de simultaneidade, a informação não é perfeita, e cada firma toma decisão baseada em um ponto arbitrário nas curvas de reação das demais. (VARIAN, 1992).

Com algumas hipóteses adicionais, é possível dizer também que, normalmente, é preferível para a firma representativa ser líder a ser seguidora. Todavia, o fator que determina a posição relativa de cada empresa é tipicamente histórico. O modelo serve antes para tratar mercados em que já há líderes consolidados, como o mercado de Transmissão, e como as pequenas empresas ao redor reagem às decisões dessas *majors*, do que para estabelecer as condições segundo as quais uma firma será líder e a outra, seguidora.

A Figura 3 representa curvas de isolucro. Aquelas mais próximas ao eixo horizontal representam lucros maiores para a empresa 1, dado que quanto mais próximo do eixo das abscissas menor é a produção da empresa 2.

² A expressão “lucro” pode ser entendida, neste caso, como aumento dos níveis de eficiência

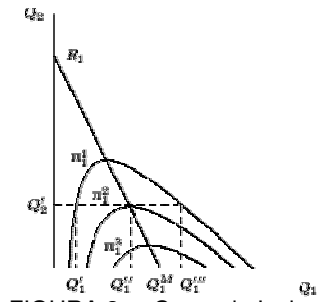


FIGURA 3 – Curva de Isolucro

4.0 APLICAÇÃO NO MODELO DEA

A formulação matemática do modelo DEA orientado pelo insumo é:

$$\begin{aligned} \min_{\theta_i, \lambda} &= \theta_i (X) \\ \text{s.a.} & \\ -q_i + Q\lambda &\geq 0 \\ \theta x_i - X\lambda &\geq 0 \\ \lambda &\geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Para o modelo NDRS, temos o relaxamento da condição de convexidade:

$$\begin{aligned} L &\leq e\lambda \leq U \quad (XI) \\ L &= 1, U = \infty \end{aligned}$$

E o segundo estágio paramétrico sendo dado por:

$$\theta_{DEA} = \alpha_C I + \alpha_N \ln(\text{nível de tensão}) + \alpha_A \ln(\text{área}) + \alpha_R \ln(\text{remuneração}) \quad (XII)$$

A combinação destas equações definem o nível de eficiência de cada empresa θ_i a ser aplicado na fórmula I:

$$CAOM_i Ef = PMS_i \cdot \theta_i \quad (I)$$

A empresa seguidora deverá tomar suas decisões com base nas escolhas da empresa líder. Devido a informação assimétrica, a empresa seguidora define probabilidades, utilizando as melhores informações públicas disponíveis relevantes, em relação à expansão prevista da empresa líder ao longo do tempo em suas variáveis de insumo e produto.

Os dados são transformados em distribuições estatísticas com base no Critério de Informação de Akaike (CDA). A determinação do melhor modelo a ser ajustado é dado através da equação em IX que melhor se aproximar do modelo real $f(y|\theta_k)$:

$$\{f(y|\hat{\theta}_{k_1}), f(y|\hat{\theta}_{k_2}), \dots, f(y|\hat{\theta}_{k_L})\} \quad (XIII)$$

A determinação dos inputs e outputs da empresa seguidora antes do próximo ciclo de revisão dependerá da decisão probabilística da líder. A escolha da representação estocástica é o componente mais crítico da análise. Considerando que as tomadas de decisão são independentes entre as empresas, a função de densidade multivariada representa o produto das densidades de probabilidade:

$$f(x) = \prod_{i=1}^n f(x_i) \quad (XIV)$$

Com a definição da distribuição, a tomada de decisão da empresa seguidora será dada por:

$$\begin{aligned} \min_{\theta_i, \lambda} &= \theta_i (XV) \\ \text{s.a.} & \\ f(x) &= \prod_{i=1}^n f(x_i) \\ -q_i + Q\lambda &\geq 0 \\ \theta x_i - X\lambda &\geq 0 \\ \lambda &\geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

5.0- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão estratégica realizada através da análise das variáveis dentro da própria empresa não é suficiente para servir de base para futuros ciclos de revisão tarifária. Mais importante do que reduzir uma variável de insumo ou aumentar uma de produto e simular maiores níveis de eficiência nos próximos ciclos é a construção periódica de uma modelagem probabilística que possa captar as decisões da empresa líder e o deslocamento da curva, analisando assim os impactos para diversas empresas seguidoras.

A adoção dos métodos estocásticos de inferência pode auxiliar as empresas, com base em dados públicos ou até opinião de profissionais com notório saber sobre o setor, a melhor definir as suas ações no íterim entre os processos em busca de maximizar sua eficiência. Dado isto, os recursos para mitigação podem ser alocados, para cada empresa, nos fatores cruciais e determinantes para que a sua expansão não acarrete uma diminuição no seu grau de eficiência.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) COOPER, W. et al. Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software Springer; 2nd edition (December 12, 2006)
- (2) COOPER, W. et al. Handbook On Data Envelopment Analysis Springer; 2nd ed. 2011 edition (August 28, 2011)
- (3) MIAN, M. Project Economics and Decision Analysis, Volume 1: Deterministic Models; 2nd ed. PennWell Corp, 2011
- (4) MIAN, M. Project Economics and Decision Analysis, Volume 2: Probabilistic Models; 2nd ed. PennWell Corp, 2011
- (5) MORGAN, M. Uncertainty: A guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis; 2nd ed. Cambridge University Press, 1992
- (6) VARIAN, HAL R. Intermediate Microeconomics. 8ª ed., Editora Norton, 2010.
- (7) VARIAN, HAL R. Microeconomic Analysis, 3ª ed., Editora Norton, 1992.
- (8) ZHU, J. et al. Data Envelopment Analysis: Modeling Operational Processes and Measuring Productivity CreateSpace Independent Publishing Platform (January 24, 2008)

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Antonio Camelo da Costa Perrelli(*), nascido em Recife, Pernambuco, em 1982. Economista da Chesf desde 2009. Formado em Ciências Econômicas pela UFPE, em 2005, com MBA em Finanças Corporativas pelo IBMEC, em 2013. Profissional Certificado em Gestão de Riscos Corporativos pela Global Institute for Risk Management Standards, em 2015. Possui extensão em Análise Probabilística de Risco pela Palisade, em 2015. Apresentou trabalhos relativos à Revisão Tarifária em eventos nacionais: XIII Replan (Angra dos Reis, RJ, Brasil), XVI SEPEF (São Paulo, SP, Brasil), XXI SNPTEE (Florianópolis, SC, Brasil); e internacionais: 10th International Conference on Data Envelopment Analysis (Natal, RN, Brasil) e Conference for the International Federation of Operational Research Societies (Melbourne, VIC, Austrália).



Jaílson Araújo de Lima Júnior, nascido em Feira Nova, Pernambuco, em 1991. Economista da Chesf desde 2014. Formado em Ciências Econômicas pela UFPE, em 2011. Possui Mestrado em Ciências Econômicas pela UFPE, em 2014. Atualmente está cursando o Doutorado em Ciências Econômicas na UFPE.