

EFICIÊNCIA EM CONCESSÕES DE RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

Carlos Eduardo Veras Neves

Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e Universidade de Brasília (UnB)

Geovana Lorena Bertussi

Universidade de Brasília (UnB)

RESUMO

Passados 20 anos desde o final da primeira etapa de concessões rodoviárias e, dado o atual cenário brasileiro de retomada de crescimento com restrição fiscal por parte do Estado, o setor privado deverá ser predominante no montante de investimentos realizados nesse setor daqui para frente. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo mensurar a eficiência dos atuais contratos de concessão de rodovias federais. São utilizados dados do período entre 2012 e 2016 dos contratos da 1ª, 2ª e 3ª Etapas de concessões rodoviárias, cuja eficiência é calculada e avaliada por meio das técnicas de *Data Envelopment Analysis* e *Stochastic Frontier Analysis*. A conclusão da análise por meio dos escores de eficiência é que, em média, as concessionárias conseguem produzir 84% do output máximo permitido, sendo que a concessionária mais eficiente entrega 92% do output máximo permitido.

ABSTRACT

After 20 years since the end of the first stage of road concessions, and given the current Brazilian scenario of resumption of growth with fiscal restraint by the State, the private sector should be predominant in the amount of investments made in this sector from now on. In this context, the objective of this study is to measure the efficiency of current Brazilian federal road concessions. Data from the period between 2012 and 2016 of the contracts for the 1st, 2nd and 3rd stages of road concessions are used, whose efficiency is calculated and evaluated through Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Frontier Analysis (SFA) techniques. The conclusion of the analysis through the efficiency scores is that, on average, the concessionaires are able to produce 84% of the maximum allowed output, with the most efficient concessionaire delivering 92% of the maximum allowed output.

1. INTRODUÇÃO

Passados 20 anos desde o final da primeira etapa de concessões de rodovias federais e, dado o atual cenário brasileiro de necessidade de retomada de crescimento com restrição fiscal por parte do Estado, o setor privado deverá ser predominante no montante de investimentos realizados no setor rodoviário daqui em diante. Os investimentos - notadamente os investimentos em infraestrutura - serão de fundamental importância para fundamentar uma trajetória de crescimento sustentado da economia brasileira.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo mensurar a eficiência das concessões para exploração da infraestrutura rodoviária federal. São utilizados dados do período entre 2012 e 2016, dos contratos da 1ª, 2ª e 3ª Etapas de concessões rodoviárias brasileiras, cuja eficiência é calculada e avaliada por meio das técnicas de *Data Envelopment Analysis* (DEA) e *Stochastic Frontier Analysis* (SFA).

Além desta introdução, recorre-se à revisão da literatura especializada sobre os conceitos e métodos disponíveis que possam auxiliar na construção dos escores de eficiência. Após a comparação entre os modelos e definição da metodologia a ser utilizada, prossegue-se à sua aplicação para o caso concreto das rodovias federais concedidas. Em seguida, são apresentados os resultados a partir de dados então disponíveis. Encerra-se este trabalho com uma seção de conclusões.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Benchmarking

Um modo de promover a regulação por incentivos é por meio da técnica regulatória do *yardstick competition*, que basicamente trabalha com a comparação do desempenho efetivo de uma concessionária com alguma referência pré-definida ou *benchmark*. Por meio deste referencial é possível determinar a distância de uma companhia específica para a chamada fronteira de eficiência e, por consequência, quais os diferentes incentivos que a regulação deve oferecer para que os esforços futuros atinjam a eficiência de referência. Por isso, a regulação de monopólios naturais seria uma das áreas mais proeminentes de aplicação das técnicas de benchmarking (BOGETOFT; OTTO, 2010). A análise de *benchmarking* poderá, portanto, fornecer a medida de eficiência de cada firma. Para realização dessa análise, podem ser utilizados os chamados métodos de fronteira.

2.2. Métodos de Fronteira

Nos métodos de fronteira utiliza-se um conjunto de escores de eficiência para classificar as empresas que estão sendo avaliadas em determinado ponto no tempo. Dentre os métodos de fronteira, os dois mais utilizados na obtenção de índices de eficiência são: a Análise Envoltória de Dados (DEA) e a Análise de Fronteira Estocástica (SFA).

A Análise Envoltória de Dados é um método não-paramétrico de uso mais recorrente entre os reguladores. É possível verificar sua utilização em países como Noruega (MIGUÉIS et al., 2012), Áustria, Finlândia, Alemanha (SCHWEINSBERG; STRONZIK; WISSNER, 2011) e Holanda (BURNS et al., 2000); com diferentes especificações.

O método define uma fronteira baseada nas firmas de melhor desempenho e a usa para construir escores de eficiência para as firmas menos eficientes. Para tanto, utiliza método de programação linear para calcular a fronteira de melhor desempenho para uma amostra específica. Ao identificar a origem e a ineficiência relativa de cada firma, é possível analisar qualquer de suas dimensões relacionadas a inputs e outputs.

O método determina a eficiência relativa das DMUs (*Decision Making Units*), cotejando cada uma com todo o conjunto de DMUs, sendo útil para ordenação em apoio a tomadas de decisão. O tratamento de outliers, pela própria construção do DEA, deve diferir integralmente de modelos paramétricos, haja vista que não representam somente desvios em comparação a um comportamento “médio”, mas possíveis benchmarks às demais DMUs ou mesmo exemplos de grande ineficiência. Para uma amostra de firmas é possível calcular dois dos modelos consagrados de DEA: (i) Retornos Constantes de Escala (CRS), também chamado de CCR em homenagem a seus autores Charnes, Cooper e Rhodes (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978); ou (ii) Retornos Variáveis de Escala (VRS), conhecido como BCC pela autoria de Banker, Charnes e Cooper (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

Outra característica que diferencia as diversas especificações dos modelos DEA é a orientação na qual será calculado o problema de programação linear específico. Estas podem definir modelos DEA (i) orientados a insumos (*input-oriented*) ou (ii) orientados a produtos (*output-oriented*). Na orientação a insumo ocorre o cálculo de minimização de insumos, fixado o nível de produtos. Na orientação a produtos computa-se a maximização de produtos, para um dado nível de insumos.

Já a principal característica dos métodos de fronteira paramétrica, como o SFA, é o fato de serem baseados, por definição, em algum método econométrico. Ocorre que esta base econométrica engendra diversos desdobramentos para o modelo.

Primeiramente, torna obrigatória a especificação de uma forma funcional para curvas de custo ou produção. Não há como escapar neste caso da experiência e subjetividade de quem lhe constrói. A responsabilidade de definição sobre a forma – linear, quadrática, logarítmica, logística, etc. – recai tão-somente sobre o analista e sua aceção de conformidade entre a especificação e a natureza dos eventos sob análise (COELLI, 2003).

A função de produção é estimada, então, por meio de métodos econométricos. Existe um componente de erro que mantém significado ambíguo: pode destacar perturbações inesperadas e aleatórias ou pode se referir a ineficiência técnica da firma em questão. É necessário ainda supor uma forma para a distribuição destes erros.

2.3 Aplicação de benchmarking para avaliação de eficiência de concessões

Possamai (2006) utilizou o DEA para avaliar a eficiência técnica de concessionárias de rodovias do Rio Grande do Sul. As análises tiveram como foco a evolução das concessionárias em um período de quatro anos. Em relação à DEA, os modelos foram orientados para a redução na utilização de insumos, considerando tecnologia de retornos variáveis e questões relativas à escala. As análises realizadas pelo autor tão somente permitiram identificar que não há homogeneidade na gestão das empresas nos diferentes polos, uma vez que os resultados foram distintos em termos de eficiência empresarial, de imagem e de segurança. Assim, há baixa correlação entre ser eficiente do ponto de vista de servir ao usuário e de ser eficiente na obtenção do lucro.

Por sua vez, Gomes et al. (2012), ao analisarem as concessões federais, usaram o modelo DEA/CCR sob o argumento de não haver evidências de ganhos de escala no setor. Os autores avaliaram cinco rodovias federais pedagiadas. Os resultados obtidos indicaram que essa abordagem pode ser empregada, com sucesso, na determinação de um índice único de qualidade, além de permitir verificar uma tendência de melhoria das eficiências das concessionárias ao longo do tempo.

O modelo DEA-BCC é utilizado por Ismael de Azevedo et al. (2012) a fim de avaliar a eficiência temporal de rodovias federais brasileiras concedidas entre os anos de 2005 a 2008. Foram avaliadas 6 concessionárias, onde cada uma, em cada ano, foi considerada como uma DMU distinta. Os resultados mostraram que a Nova Dutra, em ambos os modelos, possui índice de eficiência sempre crescente atingindo a máxima eficiência no ano de 2008. Quatro DMUs foram globalmente eficientes: Ecosul em 2005, Nova Dutra em 2008 e Ponte S.A. em 2007 e 2008.

Ferreira et al. (2013) aplicaram o modelo DEA BCC com orientação a outputs para análise da eficiência dessas rodovias sob a perspectiva do usuário da rede de transporte. Como resultado, 6 rodovias foram eficientes e 8 ineficientes.

Medeiros (2014) apresentou uma discussão sobre quais modelos regulatórios permitem o uso do benchmarking como ferramenta auxiliar na decisão e uma proposta de uso para o cálculo do fator

“X”. Realizou um estudo de caso sobre as concessionárias brasileiras de rodovias federais da 2ª etapa, visando obter o fator de eficiência de tais empresas, amparado nos métodos de análise estocástica de fronteira (SFA) e de análise envoltória de dados (DEA). Segundo o autor, a utilização de poucas DMUs foi um dos motivos para que o método apresentasse resultados inconclusivos para o caso estudado.

Profeta (2014) estudou os vários modelos de concessões de rodovias adotados no Brasil, pretendendo comparar a eficiência de cada um. Para realizar tal análise, adotou como metodologia a análise envoltória de dados (DEA-BCC) em dois estágios com uso de regressão tobit bootstrap. Os resultados revelaram que os modelos federal, gaúcho e paulista foram os que se apresentaram mais eficientes em relação aos demais. Além disso, segundo a autora, a participação das agências reguladoras é fator importante para explicar os níveis de eficiência do setor.

De Resende Salgado et al. (2016) avaliaram a eficiência na prestação do serviço de 14 concessionárias de rodovias federais, com foco na diferença nas eficiências da primeira e segunda etapas do programa de concessão federal. Os resultados mostraram que as concessões da segunda etapa apresentaram um melhor nível de eficiência na prestação dos serviços em comparação com a primeira etapa.

O presente trabalho, portanto, avança em relação à literatura cotejada, pois avalia as três etapas de concessões federais brasileiras no período entre 2012 e 2016, além de aplicar várias técnicas para a análise de consistência dos resultados: a análise envoltória de dados orientada a output considerando retornos variáveis de escala (DEA-VRS); análise DEA de 2º Estágio, levando em consideração as variáveis ambientais; e aplicação de vários modelos SFA.

3. METODOLOGIA

3.1 Dados do Modelo

Um dos pontos mais sensíveis na realização da análise de benchmarking em concessões é a escolha das variáveis de input e output do modelo. É recomendável que se utilize prioritariamente variáveis que reflitam o uso de recursos na atividade sob análise (JAMASB; POLLITT, 2000).

Como um primeiro modelo de avaliação, foram selecionadas as seguintes variáveis, seguindo Profeta (2014):

- **Outputs:** avaliação geral do trecho concedido (AVG), de acordo com as pesquisas anuais da Confederação Nacional dos Transportes. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar as condições das rodovias pavimentadas brasileiras segundo a segurança e o desempenho observados pelos usuários, identificando as condições das vias que os afetam, direta ou indiretamente – em relação ao Pavimento, à Sinalização e à Geometria da Via. O resultado da análise combinada desses três elementos indica a classificação do Estado Geral das rodovias em péssimo, ruim, regular, bom e ótimo. No presente trabalho, utilizou-se a escala de um a cinco (nos moldes de uma escala Likert) para quantificar a avaliação dada para cada concessão. A nota de cada subtrecho dentro do trecho correspondente à rodovia concedida foi ponderada de acordo com a respectiva extensão para então resultar na nota geral da concessão.

• **Inputs:** receitas totais (RT) também obtidas a partir das demonstrações financeiras auditadas das companhias, e disponibilizadas na página oficial da ANTT, divididos pelas respectivas extensões (EXT); custos totais (CT) obtidos a partir das demonstrações financeiras auditadas das companhias, e disponibilizadas na página oficial da ANTT, divididos pelas respectivas extensões (EXT).

Note-se que o modelo pode ser considerado bastante simples, pois se trata de um modelo com apenas dois inputs e um output. No caso, sendo utilizada a orientação a *output*, o que se pretende é medir a eficiência das concessionárias, quanto à gestão das suas receitas e custos em relação ao resultado percebido em termos de qualidade da rodovia. Assim, será mais eficiente a concessionária que tenha o melhor desempenho operacional.

Outro aspecto importante sobre os dados é que existem três etapas de concessões e, ao todo, 21 contratos (20 ativos e 1 encerrado). Por outro lado, é importante considerar a peculiaridade de, ao contrário da grande maioria dos estudos, se estar realizando a análise não de uma amostra, da qual se pretende inferir resultados. Na verdade, se está avaliando a própria população (uma população finita, pois a amostra possui o mesmo tamanho da população) naquele determinado período. Assim, no caso de uma regressão por meio de mínimos quadrados ordinários (MQO), por exemplo, o estimador de MQO permanecerá válido (BUSSAB; MORETTIN, 2017; SARTORIS, 2013).

A escolha das variáveis do modelo como apenas um *output* e dois *inputs* está adequada ao pequeno número de dados. Embora não haja consenso na literatura especializada sobre o número mínimo de observações, aconselha-se que o número de observações seja o maior possível, ou que, pelo menos seja o quádruplo do número de variáveis (TIRYAKI; ANDRADE, 2017). Gomes e Batista (2004) alegam que o número de variáveis não deve ser superior à terça parte do número de observações.

Além do custo total médio por quilômetro (*custm*), da receita total média por quilômetro (*recm*) e da avaliação geral do trecho (*avgm*), foram utilizadas outras variáveis para verificar em que medida fatores externos poderiam interferir na eficiência calculada. Neste caso, são consideradas como variáveis exógenas: o número de praças de pedágio por concessão (*npp*), a extensão do trecho concedido (*ext*), a tarifa média a cada 100 km (*tarm*) e duas dummies *dEtapa2* e *dEtapa3*, que assumem o valor 1 quando a DMU pertence, respectivamente, à segunda e à terceira etapa, e 0 no caso contrário.

3.2 Modelo DEA

O problema de cálculo da produtividade - razão entre produtos (*outputs*) e insumos (*inputs*) - pode ser expressado como um problema de programação linear. Os escores de eficiência calculados podem ainda ser avaliados de modo que se busque entender quais os fatores exógenos (ambientais) afetam a eficiência de cada DMU. Neste chamado “segundo estágio” da análise DEA, os escores são regredidos contra as variáveis exógenas que se entende relevantes. A escolha de um modelo para a realizar a regressão de segundo estágio no DEA não é tarefa trivial. A técnica econométrica mais utilizada é a regressão tobit (limite superior igual a 1 e limite inferior igual a 0), mas também podem ser utilizados métodos mais sofisticados, como o proposto por Simar e Wilson (2007).

Neste trabalho será adotado o método de Simar e Wilson (2007), no qual os autores assumem que a consistência dos parâmetros da regressão no segundo estágio não é afetada pelo uso de estimativa para os escores de eficiência no lugar dos seus reais valores. Duas hipóteses feitas por Simar e Wilson são particularmente relevantes (RAMALHO; RAMALHO; HENRIQUES, 2010). Primeiro, assumem que as variáveis exógenas não afetam a fronteira de eficiência. Segundo, assumem que os reais escores de eficiência seguem uma distribuição normal truncada. O resultado do algoritmo será o vetor de escores de eficiência corrigidos de acordo com as variáveis exógenas.

3.3 Modelo SFA

Segundo Kumbhakar et al. (2015), o modelo de fronteira estocástica orientado a output para avaliar a ineficiência técnica pode ser especificado como:

$$\ln y_i = \ln y_i^* - u_i, u_i \geq 0, \quad \ln y_i^* = f(x_i; \beta) + v_i, \quad (1)$$

em que: os subscritos i denotam as observações (unidades);

y_i é um escalar de outputs observados;

x_i é um vetor $J \times 1$ de variáveis de input;

β é um vetor $J \times 1$ de coeficientes;

v_i é um componente de erro aleatório de média zero;

$u_i \geq 0$ é a ineficiência de produção; e

$\ln y_i$ define a função de produção de fronteira estocástica.

Dado x , a fronteira define o nível máximo de output possível, e é estocástica devido à presença do componente v_i . Dado que $u_i \geq 0$, o output observado (y_i) tem como limite inferior o nível de output de fronteira (y_i^*). Seguindo o princípio da parcimônia (COELLI et al., 2005), neste trabalho será utilizada a função Cobb-Douglas. A função Cobb-Douglas é: de primeira ordem (é possível aproximar uma derivada de primeira ordem em um ponto); linear nos parâmetros (podem ser aplicadas as técnicas de regressão linear); e, por fim, implicitamente a função Cobb-Douglas assume que o efeito da evolução tecnológica é constante ao longo do tempo.

Então a estimativa do modelo de fronteira estocástica passa pela estimação dos parâmetros da função de fronteira e, posteriormente, pelo cálculo do valor da ineficiência para cada unidade. Existem várias formas de se estimar a função de fronteira estocástica. Uma abordagem se baseia na não definição a priori de uma função de distribuição para os componentes de erro (distribution-free approach - DFA). Outra abordagem assume hipóteses específicas sobre a função de distribuição dos erros, e aplica o método da máxima verossimilhança (parametric approach - PA). Ambas serão utilizadas aqui.

3.4 Dos escores de eficiência

Reguladores noruegueses e holandeses, reconhecendo a limitação prática de alcançar elevados ganhos de eficiência, mesmo sob incentivos regulatórios, impuseram limites de eficiência a serem demandados, principalmente em relação a companhias menos eficientes (JAMASB; POLLITT, 2000).

No presente trabalho, propõe-se metodologia semelhante à do regulador alemão (BOGETOFT; OTTO, 2010). Serão calculados primeiramente os escores de eficiência utilizando o modelo DEA-VRS (simples, *bootstrap* com correção de viés – DEAbc - e com aplicação do método de Simar-Wilson - DEAsw) e o SFA (modelos *Corrected OLS* – COLS-, *Corrected Mean Absolute Deviation*

– *CMAD* -, *Half-Normal*, *Exponential*). Posteriormente, o escore individual será definido a partir da média aritmética dos escores calculados por meio dos diversos métodos. Adotar-se-á o escore mínimo de 0,50 (ou 50%). Porém, a média aritmética é calculada somente considerando os valores de eficiência que atendam ao critério para não classificação como *outlier*. Em resumo, o conjunto de equações para o cálculo do escore de eficiência de cada firma é o seguinte:

$$E_i = \max\{\bar{E}^i; 0,50\}; E_i \in [0,50; 1,00]; \bar{E}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n E_k^i, \text{ sujeito a} \quad (2)$$

$$\rho_{E_{DEA}^i, E_k^i} > |0,5| \text{ e} \quad (3)$$

$$E_k^i \in \{E_{DEA-\text{"puro"}}^i; E_{DEA_{bc}}^i; E_{DEA_{sw}}^i; E_{SFA_{cols}}^i; E_{SFA_{cmad}}^i; E_{SFA_{ahn}}^i; E_{SFA_{exp}}^i\} \quad (4)$$

De acordo com a formulação proposta, a média aritmética será composta apenas por aqueles escores de eficiência cuja correlação $\rho_{E_{DEA}^i, E_k^i}$ seja maior que 0,5 em relação ao escore calculado por meio da DEA simples. Este critério de exclusão de outliers visa garantir que haja mínima coerência entre os escores calculados de acordo com as diversas metodologias.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Preliminarmente foi realizada uma análise dos dados em painel que buscou verificar como as variáveis escolhidas se comportaram no período de avaliação 2012-2016. Verificou-se que houve uma tendência de manutenção de uma certa estabilidade em torno da média, corroborando a premissa de que a média das variáveis de entrada do modelo, além de amortecer eventuais choques, fornece uma boa percepção do seu comportamento.

4.1 Análise de eficiência

Para avaliar a eficiência das concessionárias de rodovias federais, optou-se por um modelo orientado a outputs, tendo como variáveis de entrada (inputs) *cust_km* e *rec_km*, e como produto (*output*) *avg*. Vale frisar que, conforme conclusões da análise econométrica, optou-se por adotar a média dessas variáveis no período avaliado. Na análise em questão, o que se está buscando é a maximização do produto, mantendo constantes as entradas.

O sumário da análise DEA, considerando retornos variáveis de escala (DEA-VRS) pode ser visto na Tabela 01. Os três escores distintos representam os resultados da análise DEA “simples” (*deascore_o*), da análise DEA bootstrap (*deascore_bc*) e da análise DEA utilizando o procedimento de Simar-Wilson (*deascore_sw*).

Tabela 1: Sumário dos resultados da análise DEA-VRS.

Modelo	Média	Desv. Pad.	p50	min	max
deascore_o	0,9185	0,0784	0,9134	0,7190	1,0000
deascore_bc	0,9452	0,0839	1,0000	0,6794	1,0000
deascore_sw	0,9156	0,0902	0,9603	0,7127	1,0000

Fonte: Elaborado pelos autores.

O cálculo dos escores de eficiência por meio dessas três formulações do DEA permitem ao regulador ter maior segurança quanto à consistência dos resultados. O DEA em dois estágios (adotando o procedimento de Simar-Wilson) permite corrigir os escores por meio de variáveis

ambientais (Tabela 02) que acabem por impor às concessionárias uma espécie de “ambiente médio” e, assim, as diferenças de eficiência tenderão a estar quase que exclusivamente relacionadas à eficiência gerencial de cada empresa.

Tabela 2: Resultado da regressão no segundo estágio do modelo DEA.

Variável	tob_out1	sw_out1
<i>scorebc</i>		
npp	0,14599708***	0,16011687***
ext	-0,00142473***	-0,00162082***
tar	0,02600594**	0,02784542***
dEtapa2	-0,12441263*	-0,12042088*
dEtapa3	-0,06218078	-0,07962789
legend:	* p<.2; ** p<.1; *** p<.05	

Fonte: Elaborado pelos autores.

O resultado da análise considera como eficiente aquela DMU que tem o valor mais próximo de 1 (ao contrário da medida tradicional, conforme consta da Tabela 02, cujos resultados de *deascore_sw* e *deascore_bc* foram ajustados para o intervalo entre 0 e 1). Por isso, é necessária certa cautela na interpretação dos resultados da Tabela 03 a seguir.

Na coluna “tob_out1” constam os resultados de segundo estágio baseado no que a literatura chama de “análise ingênua”, pois tão somente se faz a regressão truncada dos resultados de eficiência, o que gera diversos problemas na estimação dos parâmetros, especialmente em pequenas amostras (SIMAR; WILSON, 2007). Por isso, o algoritmo de Simar-Wilson é bastante adequado para a geração de estimativas mais consistentes, como aquelas que constam da coluna “sw_out1”. Neste caso, é possível verificar que somente as variáveis número de praças de pedágio (npp), extensão (ext) e tarifa (tar) são significativas a 5%. É interessante notar também que as dummies para os contratos da 2ª e 3ª Etapas de concessão não são significativas estatisticamente a 5 ou 10%.

Para a avaliação em tela, aparentemente a diferença entre etapas não foi significativa para a ineficiência das concessionárias. Os coeficientes calculados indicam que o número de praças de pedágio e a tarifa tem efeito positivo no valor de ineficiência (diminuem a eficiência), enquanto que a extensão tem efeito negativo (aumenta a eficiência). Assim, pode-se dizer que, ceteris paribus, uma unidade a mais de praça de pedágio aumenta a ineficiência em aproximadamente 16% (diminui a eficiência). A tarifa mais alta em uma unidade também aumenta o escore de ineficiência em 2,78% (diminui a eficiência). A extensão, em que pese diminuir a ineficiência, tem impacto de baixa magnitude.

Na Tabela 03 estão as estatísticas dos resultados do primeiro (score) e segundo (ohat) estágios da análise DEA. Nota-se que as concessões da 2ª Etapa são as que sofrem maior influência das variáveis ambientais, cuja média sofreu um aumento de mais de 7% nos escores de eficiência, enquanto que nas outras etapas houve uma redução de até 3,18%. E as concessões da 3ª Etapa vem com desempenho médio muito próximo daquelas da 2ª Etapa, porém com menor influência das variáveis de ambiente.

Tabela 3: Resultado da análise DEA por etapa de concessão.

Etapa	Variável	Obs	Média	Desv. Pad.	Min	Max
1^a Etapa	score	6	1,1178	0,1434	1,0000	1,3907
	ohat	6	1,1496	0,1840	0,9057	1,4029
	Diferença		-3,180%			
2^a Etapa	score	8	1,1072	0,0954	1,0000	1,2473
	ohat	8	1,0319	0,1067	0,8423	1,1694
	Diferença		7,530%			
3^a Etapa	score	7	1,0353	0,0673	1,0000	1,1821
	ohat	7	1,0596	0,1757	0,7532	1,3012
	Diferença		-2,430%			

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme destacado anteriormente, a análise utilizando mais de um método tende a permitir que seja verificada a consistência do modelo proposto. Ao se optar pela análise SFA, é possível avaliar se a forma funcional, considerando os parâmetros de entrada e saída, gera resultados adequados com a teoria de fronteira estocástica.

Coelli (1995) propôs um teste sobre os resíduos de uma regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), com o intuito de checar a validade da especificação do modelo de fronteira estocástica (e, por sua vez, do modelo DEA). Aplicando esse teste ao modelo proposto neste trabalho, o resultado obtido é -1,1404417 (o valor crítico é 1,96), ou seja, o teste indica que os resíduos são assimétricos para a esquerda (a hipótese nula é rejeitada) e, portanto, modelo de fronteira estocástica está corretamente especificado.

Vejam Tabela 4:

Tabela 4: Resultado da análise SFA.

Variável	OLS	COLS	CMAD	sfa_hn	sfa_exp	sfa_hn_ex	sfa_exp_ex
l_cust	.18300688** *	.18300688** *	-.01660102	.01865872** *	.01865872** *	.01865872***	.01865872** *
l_rec	.01308843	.01308843	.02930657 *	.00725297** *	.00725297** *	.00725297***	.00725297** *
npp						1.7426534***	
ext						-.0097593***	.00021549
tar						.0833882	
dEtapa2						- 2.5617649***	
dEtapa3						- 4.9933153***	

legend: * p<.2; ** p<.1; *** p<.05

Fonte: Elaborado pelos autores.

Constam da Tabela 04 os resultados utilizando os métodos de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS), Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (COLS), Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos de acordo com a mediana (CMAD), Fronteira Estocástica com a função de distribuição Half-Normal (SFA_HN), Fronteira Estocástica com a função de distribuição Exponencial (SFA_EXP), Fronteira Estocástica com a função de distribuição Half-Normal com variáveis exógenas (SFA_HN_EX) e Fronteira Estocástica com a função de distribuição Exponencial com variáveis exógenas (SFA_EXP_EX).

Ao se comparar as diversas estimativas, verifica-se que o coeficiente para a variável custo é aproximadamente o mesmo, exceto para o modelo CMAD. Por outro lado, ao se comparar os diversos modelos de fronteira estocástica, as variáveis de input além de serem significativas a 5%, são rigorosamente as mesmas, o que remete à consistência das estimativas. Além disso, no modelo SFA_HN_EX, todas as variáveis ambientais, exceto tarifa, são relevantes para a determinação do escore de eficiência. A elasticidade da avaliação média da concessão em relação ao custo é de aproximadamente 1,87%, enquanto que a elasticidade da avaliação média da concessão em relação à receita é de aproximadamente 0,73%.

As variáveis exógenas, por sua vez, devem afetar o desempenho dos produtores, seja por meio da sua influência na estrutura tecnológica utilizada para converter os insumos em produtos, seja por meio da sua influência na eficiência com a qual os insumos são convertidos em produtos.

De acordo com Kumbahar et al. (2015) tal abordagem foi inicialmente incentivada pelos estudos acerca dos problemas de heterocedasticidade na variável aleatória u_i . Porém, verificou-se que o estudo poderia ser aplicado também à análise dos determinantes exógenos da ineficiência. Ainda de acordo com os autores, diferentemente da DEA, no caso da SFA a prática recomendada, devido aos problemas relacionados ao viés do estimador, é que se utilize a análise em um único estágio (KUMBHAKAR; WANG; HORNCastle, 2015). Tal procedimento foi o aqui adotado.

Quanto às variáveis exógenas, foram significativas a 5% de significância a extensão (ext), o número de praças de pedágio (npp) e, diferente do modelo DEA, as dummies de etapa (dEtapa2 e dEtapa3).

Ao se analisar o sinal das variáveis exógenas, nota-se que estas se comportam de modo semelhante ao segundo estágio da análise DEA. O número de praças de pedágio e a tarifa (apesar de estatisticamente insignificante) contribuem positivamente para a ineficiência (ou negativamente para a eficiência), enquanto que a extensão contribui negativamente. Ao mesmo tempo, os coeficientes das dummies de etapa corroboram a análise feita anteriormente, ou seja, o fato de a concessão pertencer à 2ª ou à 3ª Etapa, implica em um efeito negativo na ineficiência (ou positivo na eficiência), o que está em linha com alguns dos estudos mencionados na revisão da literatura.

Estimadas as equações para a fronteira estocástica, são então calculados os resíduos e, a partir destes, é calculado o escore de eficiência. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 05.

Os resultados indicam haver uma diferença relevante entre as estimativas paramétricas determinísticas OLS e COLS, e as estimativas de fronteira estocástica *Half-Normal* e Exponencial. A estimativa CMAD, por sua vez, está mais próxima das estimativas de fronteira estocástica.

Tabela 5: Escores de Eficiência de acordo com a análise SFA.

Variável	Obs	Média	desv.pad	Min	Max
eff_ols	21	1,03610	0,19123	0,69127	1,52612
eff_cols	21	0,67891	0,12530	0,45296	1,00000
eff_cmad	21	0,88238	0,07991	0,69883	1,00000
eff_hn	21	0,78669	0,07574	0,70225	1,00000
eff_exp	21	0,78669	0,07574	0,70225	1,00000
eff_hnx	21	0,78669	0,07574	0,70225	1,00000
eff_expx	21	0,78669	0,07574	0,70225	1,00000

A *eff_ols*, conforme esperado, apresenta valor máximo maior que 1, pois a formulação MQO assume que todo o ruído estatístico está relacionado tanto com a omissão de variáveis relevantes do modelo, quanto com erros de medida e a ineficiência. Os escores *eff_cols* e *eff_cmad* possuem uma correção no cálculo dos resíduos de modo que há a garantia de que os valores de eficiência estarão dentro da fronteira de produção. Por isso que, no caso dos modelos COLS e CMAD o máximo valor de eficiência é 1, conforme prescreve a teoria.

Nos modelos de fronteira estocástica verifica-se a consistência da forma funcional proposta, uma vez que há coerência entre os escores de eficiência calculados por meio dos diversos modelos, reforçando o resultado do teste de distribuição dos resíduos comentado anteriormente. O escore de eficiência apresenta uma média relativamente alta de 0,84, com valores máximo e mínimo de, respectivamente, 0,92 e 0,78. A conclusão é que, em média, as concessionárias conseguem produzir 84% do output máximo permitido, sendo que a concessionária mais eficiente entrega 92% do output máximo permitido.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo contribuir para o debate acerca dos mandamentos legais e contratuais impostos à ANTT no que tange ao incentivo à eficiência dos serviços prestados pelas concessionárias que atuam nas rodovias federais concedidas. Para tanto, apresentou-se comparação entre diferentes métodos de mensuração de desempenho e suas variantes, presentes na literatura de regulação econômica. Foram cotejados variados métodos de benchmarking, com destaque para aqueles baseados na ideia de fronteira de eficiência, paramétricos (baseados em Mínimos Quadrados Ordinários, Stochastic Frontier Analysis e suas variações) e não-paramétricos (Data Envelopment Analysis, puro, com correção de viés e em dois estágios).

Com a estruturação fundamentada do modelo de benchmarking, com seus insumos e produtos, foram realizadas simulações por meio dos diversos métodos disponíveis para cálculo dos escores de eficiência de cada concessionária. A conclusão da análise por meio dos escores de eficiência é que, em média, as concessionárias conseguem produzir 84% do output máximo permitido, sendo que a concessionária mais eficiente entrega 92% do output máximo permitido.

Esse resultado é importante pois amplia a análise feita por artigos anteriores, uma vez que considera todos os contratos vigentes das três etapas de concessões rodoviárias federais e aplica outras técnicas de *benchmarking* disponíveis. Além disso, ao calcular os escores de eficiência, fornece

insumos para discussão de políticas públicas a serem adotadas no futuro e para o comportamento do próprio regulador (ANTT), que pode atuar incentivando maior produtividade das concessionárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, v. 30, n. 9, p. 1078–1092.
- BOGETOFT, P.; OTTO, L. (2010). *Benchmarking with Dea, Sfa, and R*. Springer Science & Business Media.
- BURNS, P. et al. (2000). Choice of model and availability of data for the efficiency analysis of Dutch network and supply businesses in the electricity sector. *Frontier Economics, Dienst uitvoering en toezicht Elektriciteitswet*.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. (2017). *Estatística Básica*. Edição: 9a ed. [s.l.] Saraiva.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, v. 2, n. 6, p. 429–444.
- COELLI, T. (1995). Estimators and hypothesis tests for a stochastic frontier function: A Monte Carlo analysis. *Journal of productivity analysis*, v. 6, n. 3, p. 247–268.
- COELLI, T. (2003). *A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators*. [s.l.] World Bank Publications, v. 953.
- COELLI, T. J. et al. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer Science & Business Media.
- DE RESENDE SALGADO, S.; WILBERT, M.; ROSANO-PEÑA, C. (2016). *Concessões Rodoviárias Federais: Análise da Eficiência da Primeira e Segunda Etapa dos Contratos de Concessão*. XXIII SIMPEP.
- FERREIRA, F. R. N. et al. (2013). Análise das concessões de rodovias federais utilizando DEA sob a perspectiva do usuário. *XLV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional: a pesquisa operacional na busca de eficiência nos serviços públicos e/ou privados*, Natal.
- GOMES, A. P.; BAPTISTA, A. (2004). Análise envoltória de dados: conceitos e modelos básicos. *Métodos quantitativos em economia*. Viçosa: Editora UFV, p. 121–160.
- GOMES, E. et al. (2012). Gestão de auto-estradas: análise de eficiência das auto-estradas federais brasileiras com portagens. *Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão*, v. 11, n. 2–3, p. 55–62.
- GOMES, E. G.; MEZA, L. A.; NETO, L. B. (2008). Alguns paradoxos em modelos dea-bcc: Eficiências negativas e inexistência de retornos de escala. *XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*.
- ISMAEL DE AZEVEDO, G. H. et al. (2012). Uso de análise envoltória de dados para mensurar eficiência temporal de rodovias federais concessionadas. *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 1, p. 37–56.
- JAMASB, T.; POLLITT, M. (2000). Benchmarking and regulation: international electricity experience. *Utilities policy*, v. 9, n. 3, p. 107–130.
- KUMBHAKAR, S. C.; WANG, H.; HORNCastle, A. P. (2015). *A practitioner's guide to stochastic frontier analysis using Stata*. [s.l.] Cambridge University Press.
- MEDEIROS, F. DA S. (2014). *Eficiência em concessões de infraestrutura: Benchmarking, Price-cap e o fator "x"*. Dissertação mestrado Engenharia de produção UFRGS.
- MIGUÉIS, V. L. et al. (2012). Productivity change and innovation in Norwegian electricity distribution companies. *Journal of the Operational Research Society*, v. 63, n. 7, p. 982–990.
- POSSAMAI, R. P. (2006). *Avaliação de eficiência técnica em concessionárias de rodovias utilizando análise envoltória de dados*. Dissertação mestrado Engenharia de produção UFRGS.
- PROFETA, G. (2014). *Regulação e eficiência dos modelos de concessões de rodovias no Brasil*. Dissertação Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada, UFV.
- RAMALHO, E. A.; RAMALHO, J. J.; HENRIQUES, P. D. (2010). Fractional regression models for second stage DEA efficiency analyses. *Journal of Productivity Analysis*, v. 34, n. 3, p. 239–255.
- SARTORIS, A. (2013). *Estatística e Introdução à Econometria*. Edição: 2a ed. [s.l.] Saraiva.
- SCHWEINSBERG, A.; STRONZIK, M.; WISSNER, M. (2011). *Cost Benchmarking in Energy Regulation in European Countries—Study for the Australian Energy Regulator (WIK-Consult)*. [s.l.] Online.
- SIMAR, L.; WILSON, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of econometrics*, v. 136, n. 1, p. 31–64.
- TIRYAKI, G. F.; ANDRADE, C. S. M. (2017). *Econometria na Prática*. [s.l.] Alta Books.