

Sistematização das técnicas para avaliar a eficiência: variáveis que influenciam a tomada de decisão estratégica

Mariana Almeida¹ Daisy Rebelatto¹

almeidamariana@yahoo.com daisy@prod.eesc.usp.br

¹ Escola Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo – São Carlos, SP, Brasil

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo identificar e sistematizar as principais técnicas existentes para avaliar a eficiência dos investimentos públicos em infra-estrutura na literatura internacional e nacional. Percebe-se, então, que é necessário desenvolver e implementar técnicas para se monitorar o desempenho dos gastos públicos com o objetivo de se avaliar o retorno para a comunidade. Para finalizar, verifica-se a possibilidade de implementar técnicas no setor público a fim de obter um maior desenvolvimento na economia brasileira.

Palavras-Chaves: Técnicas de eficiência; Infra-estrutura; decisões estratégicas.

1. INTRODUÇÃO

A Nova administração contemporânea postula que para avaliar todo e qualquer sistema é necessário definir quais são os seus principais *inputs* e *outputs* (ALMEIDA; MARIANO; REBELATTO, 2006). Assim, esses conceitos sistêmicos são estendidos a outras áreas do conhecimento científico. Dentro da Engenharia de Produção, a pesquisa operacional é a disciplina que melhor circunscreve esse ambiente complexo, pois há um grande avanço no desenvolvimento de técnicas para análise de eficiência (LOVELL et al., 1988).

O contexto político é caracterizado por um ambiente sistêmico bastante complexo, e, por isso, difícil de ser mensurado. Visando amenizar esse problema, as ferramentas matemáticas, mediante o uso dos indicadores, de maneira quantitativa, têm a função de identificar os investimentos mais eficientes e, assim, contribuir para a otimização das tomadas de decisões estratégicas envolvendo a distribuição dos recursos públicos.

Ao longo dos anos, aumentou-se substancialmente a demanda por métodos que avaliassem o índice de eficiência dos gastos públicos, sobretudo nas questões que envolviam investimentos em infra-estrutura. Com isso, esta pesquisa tem como objetivo identificar e sistematizar as principais técnicas existentes para avaliar a eficiência dos investimentos públicos em infra-estrutura na literatura internacional e nacional.

2. EFICIÊNCIA

Atualmente, as organizações apresentam outras características pertinentes para ambientes complexos que são: as várias dimensões e diversas variáveis. Nesse caso, a Equação [1] caracteriza esse tipo de ambiente.

$$\text{Produtividade} = \sum \text{output} / \sum \text{inputs} \quad [1]$$

Nesse sentido, o estudo da eficiência trata da relação entre *input* e *output* do mesmo sistema de macro atividades e o objetivo principal pode ser produzir mais *output* com a mesma quantidade de *input* ou produzir a mesma quantidade de *output* utilizando uma quantidade de *input* menor (VARIAN, 1992).

Quando se calcula a eficiência mediante técnicas de fronteira, em representação gráfica, as unidades eficientes são as que estão localizadas acima da fronteira de eficiência e as ineficientes estão localizadas abaixo. Numericamente, o cálculo da eficiência se apóia no conceito de distância: se atividade tem sua distância diferente de zero, em relação à fronteira, significa ser não eficiente. Todavia, caso a atividade tenha uma distância igual à zero pode-se considerar a unidade eficiente (CAVES et al.,1982; FARE et al.,1994). Segundo Almeida, Mariano e Rebelatto (2006) afirmam que a eficiência pode ser definida como a divisão entre um indicador e o seu correspondente máximo. Com base nisso, a eficiência de uma DMU pode ser calculada pela Equação 2.

$$\text{Eficiência} = P / P_{\max} \quad [2]$$

Em que :

P = Produtividade atual da unidade em análise;

P_{max} = Produtividade máxima que pode ser alcançada por essa analisada.

De acordo com Farrell (1957), uma região é considerada tecnicamente eficiente se obter o máximo alcançável de *output* dado uma quantidade de *input* utilizado. As unidades produtivas eficientes podem balizar as ineficientes, quando utilizadas como referência para as demais, em ordem de estabelecer metas para otimizar o desempenho das empresas avaliadas como ineficientes. Com base nesse tipo de avaliação, é necessário que as variáveis de *input* e *output* representem fenômenos do contexto real. Para calcular a eficiência dos sistemas produtivos, é necessário que as organizações identifiquem as principais variáveis referentes aos *inputs* e *outputs* do sistema. Assim, esse procedimento é realizado mediante indicadores quando utiliza técnicas para avaliar a eficiência das estruturas organizacionais, que serão detalhadas na próxima seção.

3. TÉCNICAS PARA AVALIAR A EFICIÊNCIA

Nas últimas décadas, as empresas privadas e as empresas públicas buscaram maximizar as receitas e reduzir os custos dos processos produtivos. Com isso, a utilização de indicadores para avaliar o desempenho das organizações se tornou algo essencial (BEHN; 2003). Em algumas situações, o desempenho das organizações pode ser calculado mediante simples procedimentos matemáticos, pois sua complexidade variará conforme a estrutura do ambiente.

Na economia, segundo Farrell (1957), existem duas abordagens tradicionais para a determinação da eficiência de uma unidade produtiva: a abordagem paramétrica e a abordagem não paramétrica (SOUZA, 2003). Os modelos paramétricos podem ser definidos como modelos descritos a partir da equação linear, dados seus coeficientes (GILLEN; LALL, 1997; SOARES MELLO et al., 2005).

Os modelos não-paramétricos podem ser definidos como modelos que não apresentam coeficientes e só apresentam dados após a resolução do problema. Esses modelos são baseados

na programação matemática e têm o objetivo de construir fronteira de produção (SENGUPTA,1989). A vantagem do método não paramétrico é a sua flexibilidade, já que se adapta a sistemas com múltiplos insumos e produtos e impõe menos restrições quanto à tecnologia de produção, evitando restrições desnecessárias sobre a função de produção, o que poderia afetar a análise e distorcer as estimativas da eficiência (GILLEN; LALL, 1997).

Os modelos não-paramétricos apresentam características, tais como: (a) podem analisar vários insumos e produtos; (b) o tamanho da amostra deve ser pequeno para interpretações melhores; e (c) a seleção da amostra deve estar altamente correlacionada para obter informações mais precisas. A primeira grande diferença entre os modelos paramétricos e não-paramétricos é a linearização da função, conforme a Figura 1.

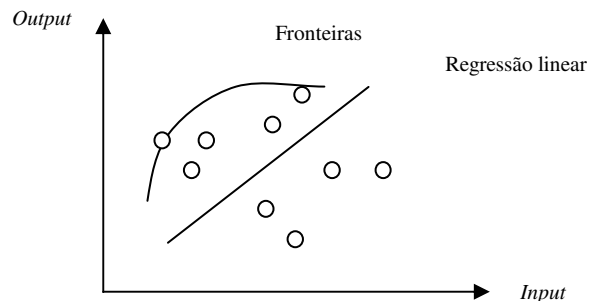


Figura 1. Fronteiras paramétricas e não-paramétricas (Regressão e DEA)

Os modelos matemáticos paramétricos e não-paramétricos apresentam outras diferenças importantes: os modelos paramétricos não utilizam, para suas avaliações, dimensões restritas, não tem restrição quanto ao tamanho da amostra, os dados podem ter baixa ou alta correlação para ser interpretado, e dependendo dessa correlação, o resultado apontará uma interpretação mais concisa dos dados ou não.

4. MEDIDAS QUANTITATIVAS DE DESEMPENHO

As avaliações quantitativas podem ser realizadas por indicadores sintéticos (RODRIGUEZ, 1998). A partir desse contexto, os indicadores se tornam variáveis essenciais para avaliar a eficiência dos investimentos em infra-estrutura. Os principais métodos, do tipo quantitativo, para avaliar técnicas de eficiência são: o DEA, a Fronteira Estocástica e o Índice Malmquist, conforme a Figura 2.

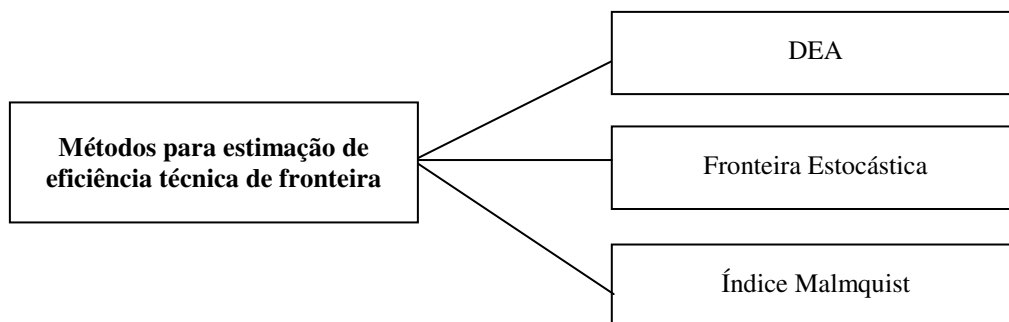


Figura 2. Métodos para estimar a eficiência técnica por fronteiras

Além disso, podem existir combinações entre as técnicas como: DEA e Índice Malmquist, DEA e Fronteira Estocástica, Fronteira Estocástica e Índice Malmquist. A partir dessa integração, as análises para as estruturas organizacionais se tornam mais complexas e o que torna de grande relevância para subsidiar a tomada de decisão do gestor.

4.1 FRONTEIRA ESTOCÁSTICA

O modelo de fronteira de produção estocástica foi proposto por autores (AIGNER, LOVELL e SCHMIDT, 1977; MEEUSEN e VAND DEN BROECK,1977). O principal objetivo do modelo é estimar uma função para obter a máxima produção ao combinar eficientemente os fatores. Este modelo envolve uma função de produção específica para dados “cross-section” com um termo de erro com dois componentes, um para contabilizar os efeitos aleatórios e outro para contabilizar a ineficiência tecnológica.

Ao longo do tempo, esse modelo foi modificado por algumas revisões (SCHMIDT; LOVELL, 1979; BAUER, 1990). O modelo proposto por Battese e Coelli (1995) analisa a ineficiência técnica na função produção de fronteira estocástica, onde os parâmetros da fronteira são estimados simultaneamente, o que pode ser ilustrado pela Equação [3].

$$\ln y_i^t = f(x_i^t; \beta) + v_i^t - u_i^t \quad [3]$$

Em que:

y_i^t = representa o produto do i -ésimo gênero industrial ($i= 1,2,3,\dots,N$) no t -ésimo período;

$f(x_i^t; \beta)$ = representa o termo de uma função de produção;

x_i^t = vetor de quantidades de fatores de produção relativamente à i -ésima unidade produtiva e medida no tempo t ;

β = vetor de parâmetros desconhecidos e que são estimados;

v_i^t = são erros aleatórios que por hipótese ;

u_i^t = são variáveis aleatórias não-negativas associadas à ineficiência técnica de produção;

t = tempo; i = unidades produtivas.

Para especificar a fronteira de produção, a Equação 4 tem como objetivo identificar o valor correspondente da ineficiência técnica de cada unidade produtiva por meio de variáveis explicativas.

$$u_{it} = Z_{it} \delta + W_{it} \quad [4]$$

Em que:

u_{it} = resultado da ineficiência técnica;

Z_{it} = variáveis associadas à ineficiência técnica, suscetíveis de variação no tempo;

δ = vetor para estimar os coeficientes; W_{it} = variáveis aleatórias.

Além disso, a fronteira estocástica permite decompor parcelas de ineficiências técnicas e dos desvios aleatórios de medida. Segundo Aigner et al.(1977), esse método tem vantagem por permitir que as ineficiências técnicas e as elasticidades dos insumos variem no tempo e possibilita a identificação de alterações na estrutura de produção. Para determinar a eficiência, uma aproximação comum tem sido utilizada para estimar a eficiência técnica mediante métodos da programação linear ou econométricos. De acordo com Rodriguez et al. (2002), os

modelos de fronteira estocástica permitem analisar a ineficiência técnica e identificar a elasticidade dos *inputs* ao variarem no tempo. No Brasil, Arcoverde et al. (2005) afirmam que existem poucos trabalhos e ressaltam a importância dos resultados do presente trabalho, que podem servir de guia para autoridades responsáveis adotarem decisões estratégicas.

4.2 ÍNDICE MALMQUIST

O índice Malmquist foi criado por Caves et al. (1982), inspirado em Malmquist (1953), para avaliar a evolução da produtividade de cada unidade de produção relativamente ao conjunto de unidades em que se insere. Segundo Brunetta (2004), o índice de Malmquist é definido em termos da razão entre funções distância, conforme a Equação 5.

$$\text{Índice de Malmquist} = \frac{\text{Eficiência técnica total}_{\text{período 2}}}{\text{Eficiência técnica total}_{\text{período 1}}} \quad [5]$$

Esse índice apresenta a razão do indicador de eficiência técnica total em dois períodos diferentes de tempo e o cálculo é apresentado pela adaptação do modelo desenvolvido por Fare et al. (1994) e Coelli, Rao e Battese (1998). As distâncias do índice de Malmquist podem ser calculadas por dois métodos: (1) por técnicas de programação linear de Fare et al. (1985 e 1994); (2) por programação linear para métrica de Aiger e Chu (1968). Para fins deste trabalho, será focado o método por técnica de programação linear.

Para evitar qualquer escolha arbitrária do período de referência, o índice de Malmquist é especificado como a média geométrica dos índices [9] e [10]. Segundo Sueyoshi e Aoki (2001), o índice de Malmquist se caracteriza por ter a capacidade de medir a mudança, em termos de produtividade total dos fatores, entre diferentes períodos e decompor este índice em eficiência técnica e mudança de tecnologia, conforme ilustra a Equação 6.

$$M_0(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \right) \left(\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad [6]$$

Em que:

M_0 = Índice de Malmquist; M_0^{t+1} = Índice de Malmquist no próximo período;

D_0 = a função da distância ; D_0^{t+1} = a função da distância no próximo período;

x = é a quantidade de insumo utilizado pela unidade no período t ;

x^{t+1} = é a quantidade de insumo utilizado pela unidade no período $t+1$;

y = é a quantidade de produto produzido pela unidade no período t ;

y^{t+1} = é a quantidade de produto produzido pela unidade no período $t+1$;

t = a unidade no tempo; $t + 1$ = a unidade no tempo posterior.

Essas variáveis fornecem subsídios para a análise de produtividade, pois permite identificar se houve um aumento no progresso técnico, ou melhoria na eficiência técnica, ou de ambos os fatores. Logo, essas distâncias podem apresentar os resultados como menores, iguais ou maiores que 1. Segundo Brunetta (2004), esses resultados apresentam uma evolução (ou declínio) dos fatores de produtividade total. De acordo com Coelli, Rao e Battese (1998), o método descrito constitui um procedimento mais fácil de operacionalizar para estimar, de maneira direta, as funções de distância para identificar se as mudanças no desenvolvimento de

um ambiente foi relativo a mudança tecnológica ou a produtividade total dos fatores de produção.

4.3 ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise por Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica baseada em programação linear, com o objetivo de medir o desempenho de unidades operacionais ou tomadoras de decisão ((*Decision Making Units* - DMUs), quando a presença de múltiplas entradas e múltiplas saídas torna difícil realizar uma comparação.

Essa técnica foi desenvolvida por Charnes et al. (1978) com base nos conceitos de eficiência de Farrell (1957). Análise por Envoltória de Dados tem a característica de comparar as unidades para determinar a eficiência técnica para cada unidade avaliada. O objetivo da técnica DEA é construir um conjunto de referência convexo e as DMUs podem ser classificadas em unidades eficientes e ineficientes, tendo como referencial essa superfície formada. A Figura 3 ilustra esses conceitos da convexidade da curva.

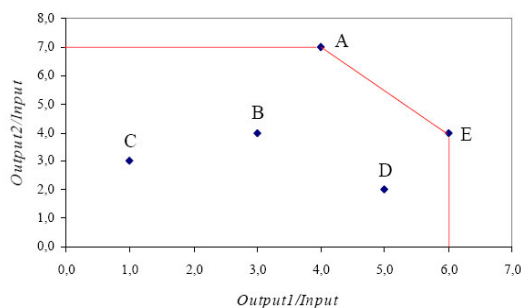


Figura 3. Fronteira de eficiência
Fonte: Soares de Mello et al. (2005, p.2531).

Segundo Cooper et al. (2000), a definição deste método parte da Eficiência Pareto-Koopmans, em que uma organização é completamente eficiente se, e somente se, não é possível aumentar nenhum insumo ou produto sem diminuir algum outro insumo ou produto.

A eficiência é calculada para um grupo de unidades produtivas tomadoras de decisões, intituladas por DMU (*Decision Making Units*). Essas unidades fazem parte da superfície envolvente ou fronteira de eficiência dos dados observáveis. Segundo Charnes e Cooper (1985), essas unidades podem ser classificadas em eficientes ou ineficientes. As unidades eficientes são localizadas em cima da fronteira e as ineficientes localizam-se abaixo. Vale a pena destacar que o conceito de eficiência para este método é um pouco restrito, pois analisa a eficiência para um determinado setor, referente à amostra.

A partir disso, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) ampliaram os seus estudos utilizando múltiplos *inputs* e *outputs*, por meio de modelos não paramétricos denominados de *Data Envelopment Analysis* (DEA) ou Análise Envoltória de Dados, com retorno constante de escala denominado modelo CCR (homenagem aos autores) ou CRS (*Constant Returns to Scale*). Esse modelo permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas (CASA NOVA, 2002).

Banker, Charnes e Coper (1984) eliminando a necessidade de rendimentos constantes de escala originaram uma nova modelagem para o DEA, assumindo um retorno variável de escala, denominado modelo com retorno variável (BCC) ou (*Variable returns to scale- VRS*). Esse modelo estabelece distinção entre ineficiências técnicas e de escala, estimando a eficiência técnica pura, a uma dada escala de operações, e identificando se estão presentes ganhos de escala crescente, decrescente ou constante, para futura exploração (CASA NOVA, 2002).

De acordo com Thanassoulis (2001), na aplicação do DEA devem constar alguns procedimentos básicos: (a) as organizações devem ser homogêneas, sendo necessário analisar um conjunto que realiza as mesmas tarefas e possuem objetivos semelhantes; (b) as organizações devem atuar sob as mesmas condições de mercado; e (c) as variáveis (insumos e produtos) devem ser as mesmas para cada conjunto analisado, apresentando variações apenas quanto à intensidade ou magnitude. Segundo Golany e Roll (1989), os modelos DEA apresentam uma seqüência de etapas que podem ser compreendidas nas fases: (a) seleção das DMUs a entrarem na análise; (b) seleção das variáveis (insumos e produtos) que são relevantes e apropriadas para estabelecer a eficiência relativa das DMUs selecionadas; e (c) identificação e aplicação dos modelos.

Além disso, Gomes et al (2004) avaliaram que deve evitar-se o uso de um modelo com grande número de variáveis e sem relação de causalidade. Para tanto, Gonzalez Araya et al. (2002) indicam que a relação entre variáveis deve situar-se entre 4 a 5 vezes maior que a quantidade de DMUs, em especial, quando além do índice de eficiência deseja-se analisar os *benchmarks* das unidades em avaliação. Para Dyson et al. (2001), algumas limitações podem ser listadas: (a) à medida que cresce o número de variáveis, aumenta também a chance de mais unidades alcançarem o desempenho máximo; (b) numa técnica não paramétrica, torna-se difícil formular hipóteses estatísticas; e (c) o DEA apenas analisa o desempenho “relativo”, mas converge muito vagarosamente para o desempenho “absoluto” porque está baseado em dados observados e não no ótimo ou no desejável.

5. SISTEMATIZAÇÃO DOS TRABALHOS REALIZADOS NO EXTERIOR E NO BRASIL

As Tabelas 2 e 3 apresentam uma sistematização dos principais trabalhos que utilizam técnica de eficiência para avaliar infra-estruturas, respectivamente na literatura nacional e internacional. A partir dessa sistematização, é possível verificar as principais variáveis utilizadas para avaliar estrategicamente cada investimento.

6. VANTAGEM E DESVANTAGEM DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE EFICIÊNCIA

De acordo com cada aplicação, essas técnicas apresentam vantagens e desvantagens. Segundo Bauer (1990), a utilização por fronteiras apresenta relevantes aspectos: (a) a noção de uma fronteira ser consistente com a teoria econômica do comportamento otimizador; (b) a ênfase no fato de desvios da fronteira ter uma interpretação natural como uma medida de eficiência; e (c) a informação sobre a estrutura da fronteira e sobre a eficiência relativa das unidades econômicas terem muitas aplicações políticas. As fronteiras podem ser construídas por duas maneiras: (1) com a programação linear; e (2) por métodos econométricos. Com base na revisão bibliográfica, é possível identificar vantagens e desvantagens para cada técnica, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 2. Aplicação de técnicas paramétricas e não-paramétricas no Exterior

Autor	Amostra	Tipo de Fronteira	Técnica	Objetivo do trabalho
Alvarez e Delgado (2001)	Regiões da Espanha (1980-1995)	Não-paramétrica	Índice Malmquist e DEA	Estimar eficiência dos setores econômicos e contrapor com os rendimentos existentes de cada recursos durante uma escala no tempo.
Boisso et al. (2000)	EUA	Não - paramétrica	Índice Malmquist	Determinar quais os efeitos que influenciam na produção do setor privado
Domazlicky e Weber (1997)	EUA (1977-1986)	Não - paramétrica	Índice Malmquist e DEA	Determinar o crescimento dos fatores totais de produtividade e verificar qual é a influência da contribuição dos investimentos.
Estache e Martin (2002)	Ásia	Paramétrica	Fronteira Estocástica	Avaliar a eficiência das companhias (públicas e privadas) de saneamento
Fare et al. (1994)	17 países OCDE (1979-1988)	Não - paramétrica	Índice Malmquist e DEA	Determinar o crescimento dos fatores totais de produtividade
Karkazis e Thanassoulis (1998)	Norte da Grécia	Não-paramétrica	DEA	Comparar a efetividade dos investimentos públicos para infra-estruturas e o incentivo em atrair investimento privado para região da Grécia.
Lynde e Richmond (1999)	Reino Unido (1966-1990)	Não-paramétrica	DEA	Estimar as mudanças tecnológicas, a eficiência e a intensidade dos <i>inputs</i> concernente a relevância do investimento em capital público.
Maudos et al. (2000)	23 países OCDE	Não-paramétrica e paramétrica	Fronteira Estocástica, Índice Malmquist e DEA	Identificar os fatores de convergência para a fronteira
Percoco (2004)	Itália (1970-1994)	Paramétrica	Fronteira Estocástica	Estimar a eficiência técnica para as regiões italianas e identificar explicações mediante a composição do estoque do capital público.
Prieto e Zofío (2001)	Espanha	Não - paramétrica	DEA	Avaliar o nível de eficiência das infra-estruturas e equipamentos públicos
Puig-Junoy (2001)	EUA (48 Estados)	Paramétrica	DEA e Fronteira Estocástica	Mesurar e determinar os índices de ineficiência.
Rodriguez et al. (2002)	Espanha	Não-paramétrica	DEA e Fronteira Estocástica	Avaliar o nível de eficiência das infra-estruturas produtivas e dos equipamentos públicos na Espanha.

Tabela 3. Aplicação de técnicas paramétricas e não-paramétricas no Brasil

Autor	Amostra	Método	Objetivo do trabalho	Inputs	Outputs
Arcoverde et al. (2005)	Energia	Fronteira estocástica	Calcular a eficiência das distribuidoras do setor energético brasileiro	Num. de funcionário Vol. de energia fornecida Renda mensal Densidade demográfica da área de atuação referente a cada empresa	Custo operacional
Calôba e Estellita Lins (2005)	Energia – Gás	DEA	Avalia a eficiência das empresas distribuidoras de gás natural situadas no Brasil	Extensão de linhas (km)	Volume total distribuído (m ³ /dia) Total de clientes
Carmo e Távora (2003)	Empresas estaduais de saneamento	DEA	Estimar o grau de eficiência para 26 empresas estaduais de saneamento.	Mão-de-Obra Cap.Instalada–Vol.d'água prod. Cap. Instalada –Volume de esgoto coletado Extensão da Rede d'Água Extensão da Rede de Esgoto	Volume de Água Faturado Volume de Esgoto Faturado Quant. de Economias Ativas de Água Quant. de Economias Ativas de Esgoto
Gomes et al. (2004)	Infra-estrutura de transportes - auto-estradas federais	DEA	Avaliar o investimento das auto-estradas federais para os anos de 1999 e 2000.	Modelo 1 Acidentes/km Modelo 2 Acidentes/km e receita-dia/km	Modelo 1 Investimento/km e tráfego/km Modelo 2 Investimento/km
Gomes et al. (2003)	Segurança pública	DEA	Avaliar a eficiência a segurança pública	Quant. De delito praticados A produção policial Efetivo policial	Ações ao combate do crime Nível de criminalidade
Meza et al. (2005)	Energia	DEA	Avaliar a eficiência na transformação do consumo de energia elétrica em bem estar e desenvolvimento, medidos por indicadores sócio-econômicos para os 29 estados brasileiros.	Consumo residencial per <i>capita</i> (medido em Gwh)	Produto Interno Bruto (PIB) estadual (medido em dólares por habitante ponderado pelo poder de compra) Índice Potencial de Consumo (IPC) Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)
Ohi e Shirota (2005)	Empresas estaduais de Saneamento	Fronteira estocástica	Avaliar a eficiência de 645 municípios do Estado de São Paulo em termos de saneamento	Quant. de ligação ativas de águas à rede pública Quant. de ligações ativas de esgoto Extensão da rede de água e de esgoto	Custo anual das empresas de saneamento
Novaes (2001)	Infra-estrutura metroviária	DEA	Avaliar se a operadora de metrô brasileira está desempenhando os serviços eficientemente em relação a outras operadoras no mundo.	Vol. de passageiros no horário de pico Num. de funcionários (Num. total de carros x Num. total de estação)/ Extensão total das linhas	Núm. de passageiros que utilizam o metrô por ano

Tabela 4. As vantagens e desvantagens das técnicas para avaliar eficiência

Técnicas	Vantagem	Desvantagem
Fronteira Estocástica	Identifica os desvios em relação à fronteira de produção Decompor em ruídos puramente aleatórios e ineficiência.	Utiliza apenas um único produto pode ser considerado
Índice Malmquist	Identifica o comportamento da eficiência oriunda da tecnologia e da natureza relativas da mudança de produtividade.	É sensível à especificação e à quantidades de variáveis por unidades agregadas.
Análise por Envoltória de Dados	Analisa múltiplos produtos e múltiplos insumos sem a especificação de nenhuma forma funcional. Determinar uma fronteira linear por partes compreendidas pelo conjunto de DMU's. Apresenta uma flexibilidade nos pesos.	Amostra não pode ser muito grande, pois pode causar distorções no resultado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pela eficiência das organizações se tornou a principal diretriz para balizar atuação das empresas no mercado. Tendo em vista essa diretriz, as empresas governamentais necessitam desenvolver técnicas de medida de eficiência para avaliar os investimentos públicos. Para fins deste trabalho, foi decidido que os investimentos em Infra-estrutura seriam os norteadores das investigações sobre medidas de eficiência, o que existe a adoção de indicadores, como instrumentos para comparação. Logo, os indicadores apresentam diferentes classificações e características para serem adotados no processo de formulação e avaliação das políticas (orçamentária) e programas públicos no país.

Posteriormente, verificou-se que literatura nacional apresenta escassez bibliográfica sobre o assunto de infra-estrutura, o que torna essencial sistematizar os principais métodos capazes de avaliar os investimentos e a eficiência técnica em infra-estruturas para o capital público brasileiro. Para tanto, esta pesquisa possibilitou a sistematização dessas técnicas e o detalhamento dos procedimentos metodológicos básicos e as possíveis aplicações na literatura nacional e internacional. Portanto, a partir deste trabalho identificou-se uma lacuna na bibliografia nacional para correlacionar essas técnicas, a fim subsidiar os planejamentos governamentais de alocação de recursos escassos, o que possibilita a implementação destas técnicas no setor público a fim de obter um maior desenvolvimento na economia brasileira.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIGNER, D.J.; CHU, S.F. On estimating the industry Production Function. *American Economic Review*, vol. 58, p.826-839, 1968.
- AIGNER, D.J.; LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, P.. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, vol. 6, p. 21- 37. North-Holland, 1977.
- ALMEIDA, M.R.; MARIANO, E.B.; REBELATTO, D.A.N. A Nova Administração da Produção: Uma Sequência de Procedimentos Pela Eficiência. In: IX Seminário de administração da FEA –USP (SEMEAD), São Paulo-SP, 2006, *Anais...*
- ALVAREZ, I.; DELGADO, M.J. Metodología para la elaboración de índices de equipamientos de infraestructuras productivas, *Revista Momento Económico*, vol.117, p.20-34, 2001. *Mimeo*
- ARCOVERDE, F.D.; TANNURI-PIANTO, M.E.; SOUSA, M.C.S. Mensuração Das Eficiências Das Distribuidoras Do Setor Energético Brasileiro Usando Fronteiras Estocásticas. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, Natal-RN, 2005, *Anais...*

- BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, v. 30, p. 1078-1092, 1984.
- BATTESE, G.E.; COELLI, T.J. A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data, *Empirical Economics*, vol. 20, p.325-332, 1995.
- BAUER, P.W. Recent Developments in the Econometric Estimation of Frontiers, *Journal of Econometrics*, vol. 46, p. 39-56, 1990.
- BEHN, R.D. Why measure performance? Different purposes require different measures. *Public Administration Review*, vol.63, n.5, p. 586-606, 2003.
- BOISSO D.; GROSSKOPF, S.; HAYES, K. Productivity and Efficiency in the U. S.: Effects of Business Cycles and Public Capital. *Regional Science and Urban Economics*, vol. 30, p.663-681, 2000.
- BRUNETTA, M.R. Avaliação da Eficiência Técnica e de Produtividade usando Análise por Envoltória de Dados: Um Estudo de Caso Aplicado a Produtores de Leite. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná., 2004
- CALÔBA, G. M.; ESTELLITA LINS, M.P. E. Análise da Eficiência das Distribuidoras de Gás Natural Brasileiras Utilizando Análise Envoltória de Dados. In: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2005, Gramado. *Anais ...*
- CASA NOVA, S.P.C. *Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo., 2002.
- CARMO, C.M.; TÁVORA JÚNIOR, J.L. Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, Porto Seguro, 2003, *Anais...* Disponível: <http://www.anpec.org.br> , Acesso: 4 mar. 2004.
- CAVES D. W.; CHRISTENSEN L. R.; DIEWERT W. E The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. *Econometrica*, vol. 50, n.6, p.1393-1414, 1982.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 1, p. 429-444, 1978.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W. Preface to topics in Data Envelopment Analysis. *Annals of Operations Research* , vol.2, p.59-94, 1985.
- COELLI, T.; RAO D.S.P.; BATTESE G. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- DOMAZLICK, B.R.; WEBER, W.L. Total Factor Productivity in the Contiguous United States, 1977-1986. *Journal of Regional Science*, vol. 37, n. 2, p.213-233, 1997.
- DYSON, R.G.; ALLEN, R.; CAMANHO A. S.; PODINOVSKI, V. V. Pitfalls and protocols in DEA, *European Journal of Operational Research*, vol. 132, p. 245-259, 2001.
- ESTACHE, A., MARTÍN, A. R. How different is the efficiency of public and private water companies in Asia? *The World Bank Development*, v. 16, n. 1, 2002.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS M.; ZHANG Z. Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. *American Economic Review*, vol. 84, p.66-83, 1994.
- FARRELL, M.J. The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, vol. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.
- GILLEN, D.; LALL, A. Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis, *Transportation Research-E* 33, p. 261-273, 1997.
- GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA *OMEGA International Journal of Management Science*, Great Britain, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.
- GOMES, E.; MELLO, J.; LUIZ NETO, B e MEZA, L.A. Estão de auto-estradas: Análise de eficiência das auto-estradas federais brasileiras com portagens. *Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão*, Lisboa - Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 68-75, 2004.
- GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B. S.; ASSIS, A.S.; et al. Uma medida de eficiência em segurança pública. Niterói: *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, v. 3, n. 7, p. 1-15, 2003.

- GONZALEZ-PARAMO, J. M. Infraestructuras, productividad y bienestar. *InveAgaciones Economicas*, vol.19, n. 1, p.155-68, 1995.
- HUSAIN, N.; ABDULLAH, M.; KUMAN, S. Evaluating public sector eYciency with data envelopment analysis (DEA): a case study in Road Transport Department, Selangor, Malaysia. *Total Quality Management*, vol. 11, n. 4,5, 6, 2000.
- KARKAZIS, J.; THANASSOULIS, E. Assessing the effectiveness of Regional development policies in northern Greece Using Data Envelopment Analysis. *Socio Economic Plannig Science*, Vol. 32, n. 2, p. 123-137, 1998.
- LYNDE, C.; RICHMOND, J. Productivity and efficiency in the UK: a time series application of DEA. *Economic Modelling*, vol. 16, p.105-122, 1999.
- MAUDOS, J; PASTOR, J.M.; SERRANO, L. Convergence in OECD countries: technical change, efficiency and productivity. *Applied Economics*, vol. 32, n. 6, p.757-765, 2000.
- MEEUSEN, W. ;VAN DEN BROECK, J. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions With Composed Error. *International Economic Review*, vol. 18, p. 435-444, 1977.
- MEZA, L.A. ; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; et al. Modelo DEA com Seleção de Variáveis para Avaliar uma Eficiência do Setor Elétrico Brasileiro. In: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2005, Gramado. *Anais ...p. 377-386.*
- NOVAES, A.G.N. Rapid-Transit Efficiency Analysis with The Assurance-Region DEA Method. *Pesquisa Operacional*, v.21, n.2, p.179-197, 2001.
- OHI, T.H.; SHIROTA, R. Eficiência Econômica: Uma Aplicação Do Modelo De Fronteira Estocástica Em Empresas De Saneamento. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, Natal-RN, 2005, *Anais...*
- PANEPUCCI, G.T.M. Avaliação de desempenho dos departamentos Acadêmicos da UFSCar Utilizando Análise de Envoltória de Dados – AED. Dissertação (Mestrado) da Universidade Federal de São Carlos (UFScar), 2003.
- PERCOCO, M. Infrastructure and Economic Efficiency in Italian Regions. *Networks and Spatial Economics*, vol. 4, n.4, p. 361–378, 2004.
- PRIETO, A.M; ZOFIO, J.L.. Evaluating Effectiveness in Public Provision of Infrastructure and Equipment: The Case of Spanish Municipalities. *Journal of productivity Analysis*. vol.15, n. 1, p. 41 – 58, 2001.
- PUIG-JUNOY, J. Tecnical Ineffiency and Public Capital in U.S. States: A Stochastic Frontier Approach. *Journal of Regional Sciene*, vol. 41, n. 1, p.75-96, 2001.
- RODRIGUEZ, M.J. D.; AYUSO, I.A. Convergência em eficiência técnica de lãs regiones espanõlas, 1980-1995. Convocatória editorial segundo semestre de 2002, Universidad Rey Juan Carlos, 2002. (Mimeo)
- RODRIGUEZ,M.J.D. *El capital público em la economia española*. Madrid: Universidad Europea-CEES Ediciones 1998. (Mimeo)
- SCHMIDT, P.; LOVELL, K.. Estimating Technical And Allocative Relative To Stochastic Production Cost Frontiers. *Journal of Econometrics*, vol. 9, p. 343 -366, 1979.
- SENGUPTA, J. K. Efficiency Analysis by Production Frontiers: The Nonparametric Approach. Kluwe Academics Publishers. 246 p., 1989.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B; MEZA, L.A.; GOMES, E.G. et al. Curso de Análise de Envoltória de Dados, In: XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. Gramado, RS, 2005.
- SOUZA, C. Estado do Campo da pesquisa em políticas públicas no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, vol. 18, n.51, p. 15-20, 2003.
- SUEYOSHI, T.; AOKI, S. A use of a nonparametric statistic for DEA frontier shift: the Kruskal and Wallis rank test. *OMEGA: The International Journal of Management Science*, vol. 29, p.1-18, 2001.
- THANASSOULIS, E. *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis*: a foundation text with integrated software, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- VARIAN, H.R. *Microeconomic Analysis*, 3rd Edition. New York and London: W.W. Norton, 1992.