

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DO TRANSPORTE COLETIVO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Aldo Eliades Fernández Pérez

Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio
R. Marquês de São Vicente, 225, Gávea - Rio de Janeiro, RJ – CEP: 22451-900
aldofernandezperez@yahoo.com

Hugo Varela Repolho

Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio
R. Marquês de São Vicente, 225, Gávea - Rio de Janeiro, RJ – CEP: 22451-900
hugorepolho@gmail.com

RESUMO

Este artigo analisa o desempenho do sistema do transporte coletivo de passageiros por ônibus no município do Rio de Janeiro (TCPO-RJ) no que diz respeito à eficácia e eficiência para o período 1998-2016. A análise é realizada usando o modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA), considerando o conceito de fronteira invertida para estimar as pontuações de eficiência e eficácia e baseado no tempo, cada ano é uma *Decision Making Units* (DMU). Os inputs para cada pontuação são a Média Anual da Frota Operante e o Pessoal Ocupado, e os outputs são os Quilômetros Percorridos e o Total de Passageiros Transportados, respectivamente. Em seguida, o desempenho do TCPO-RJ ao longo do período é analisado e associado a eventos históricos, a fim de identificar eventos ou fatores que possam ter tido impacto na efetividade e eficiência. A análise mostrou que certas políticas e eventos causaram flutuações nas pontuações de eficiência e eficácia.

PALAVRAS CHAVE. Transporte Coletivo, Eficiência, Eficácia.

Tópicos (L&T - Logística e Transportes)

ABSTRACT

This paper analyses the performance of the collective bus transportation (TCPO-RJ) system in the city of Rio de Janeiro with regard to effectiveness and efficiency for the period 1998-2016. The analysis is performed using a Data Envelopment Analysis (DEA) model considering the inverted boundary concept to estimate efficiency and effectiveness scores and based on time, each year is a Decision Making Units (DMU). The inputs for each score are the Annual Average of the Operant Fleet and the Employed Personnel, and the outputs are the Kilometers Traveled and the Total Passengers Transported respectively. Then, the performance of the TCPO-RJ along the period is analyzed and associated with historical events in order to identify events or factors that may have had an impact in effectiveness and efficiency. The analysis showed that certain policies and events caused fluctuations in efficiency and efficacy scores.

KEYWORDS. Collective Transportation, Efficiency, Effectiveness.

Paper topics (L&T - Logistics and Transport)

1. Introdução

O transporte coletivo de passageiros por ônibus (TCPO) tem como objetivo brindar um adequado serviço aos usuários para realizarem seus deslocamentos diários, sendo rápidos, seguros e com certo conforto. Desta forma, seu adequado funcionamento proporciona qualidade de vida tanto aos usuários como a toda cidade. O TCPO é uma ótima alternativa com relação ao transporte individual (carro, taxi, entre outros), por ser menos custoso, consumindo menos energia, reduzindo a poluição e minimizando os congestionamentos nos centros urbanos. Por outro lado, os espaços urbanos com o passar do tempo tornam-se cada vez mais reduzidos (mais pessoas vivem em menos espaço), portanto, os gestores do setor público e privado do TCPO devem tomar diariamente decisões adequadas e propor políticas inovadoras que permitam o adequado funcionamento do sistema.

A implantação de políticas gerenciais em empresas que operam o TCPO tem um impacto direto no desempenho geral do sistema, portanto, é necessário e de suma importância avaliar o efeito da implantação das políticas e estratégias operacionais ou comerciais. Ao longo do tempo os gestores públicos e privados tomam decisões e aplicam diversas políticas, sejam para organizar o sistema de preços (tarifas), para implantar novos enfoques que incentivem aos usuários a utilizarem mais o serviço, inovações em infraestrutura (exemplo, centros de controle operacional), compra de novos veículos, entre outros. As decisões gerenciais ou implantação de políticas no TCPO vêm acompanhadas de certa incerteza sobre o verdadeiro impacto que podem causar nas operações e na percepção dos usuários. Em consequência, a análise da relação entre as decisões/políticas e o desempenho do sistema de TCPO em termos de eficiência e eficácia torna-se de crucial relevância, mas que atualmente são pouco estudados.

[Mouzas 2006] indica que a eficiência e a eficácia são peças essenciais utilizadas pelas organizações para avaliar seu desempenho. Basicamente define a eficiência como uma condição necessária que se reflete nas margens operacionais e a eficácia como a capacidade da organização para alcançar seus objetivos com respeito ao nível de serviço. Uma técnica que proporciona uma boa base para realizar a análise de desempenho é o Análise Envoltória de Dados (DEA), que é um modelo não paramétrico desenvolvido por [Charnes et. al. 1978] baseado no trabalho original de [Farrell 1957] que realizou a medição de eficiência de unidades econômicas. Neste trabalho utiliza-se o DEA para analisar a relação entre a eficiência e eficácia do TCPO do município do Rio de Janeiro (TCPO-RJ), que atualmente é operado e gerenciado por quatro consórcios composto por 43 empresas que são fiscalizadas pela Secretaria Municipal de Transportes (SMTR) e representados pelo RioÔnibus (sindicato), no período de 19 anos (de 1998 a 2016). Para tanto foram obtidos dados históricos operacionais e levantadas políticas relevantes que foram implantadas pelos gestores públicos e privados assim como eventos que tenham afetado o desempenho do TCPO-RJ ao longo do período considerado.

O presente artigo apresenta cinco seções, a Introdução (1), Revisão Bibliográfica (2) onde mostram-se aplicações realizadas no mundo no setor de transporte coletivo as quais serviram de inspiração para elaboração deste trabalho. No Referencial teórico (3) se esclarecem os conceitos sobre o modelo DEA, fronteira invertida e o método para o cálculo do desempenho. O Estudo de Caso (4) é a parte principal do artigo, onde se aplica a modelagem e são analisados os resultados obtidos (eficiência, eficácia e desempenho do TCPO-RJ). Finalmente na seção (5) são apresentadas as Conclusões.

2. Revisão bibliográfica com relação à aplicação do modelo DEA no setor de transporte coletivo

Para a elaboração deste artigo realizou-se uma revisão representativa de manuscritos que abordam a relação entre a eficiência e a eficácia, os quais expliquem o vínculo entre a tomada de decisão e o nível de desempenho, e ao mesmo a importância do planejamento ao longo prazo (os efeitos da implantação de políticas podem não ser sentidas de imediato). A Tabela 1 mostra algumas importantes aplicações no mundo do modelo DEA no setor de transporte coletivo.

Tabela 1: Aplicações do modelo DEA no setor de transporte coletivo

Autor/es (Ano)	Descrição Geral	DMUs	Cidade/País analisado
[Hirschhausen e Cullmann 2009]	Objetivam fornecer uma avaliação objetiva da pontuação de eficiência das empresas de transporte público, diminuindo a assimetria da informação e contribuindo de forma construtiva para o debate sobre as reformas dos transportes públicos.	179 empresas de transporte público (1990 - 2004)	Alemanha
[Jorda 2012]	Objetiva analisar a eficiência técnica das empresas de ônibus em Espanha. Para tanto analisa as possíveis variáveis que representem melhor o serviço, estabelece um ranking das empresas e estuda a evolução do desempenho ao longo do tempo (2004-2009).	18 empresas de ônibus urbano	Espanha
[Fancello et al. 2013]	Objetivam comparar o desempenho da rede urbana de 8 cidades, realizando 48 testes utilizando os modelos DEA-CCR e DEA-VRS, comparando os resultados da eficiência de dois grupos: 2 inputs e um output / um input e 2 outputs.	Redes urbanas de 8 cidades	Itália
[Costa et al. 2013]	Analisa a relação entre eficiência e eficácia por meio do modelo DEA, da operadora de transporte público de Porto desde 1946 a 2004, buscam identificar o impacto das decisões gerenciais nos indicadores econômicos do transporte público.	59 anos de operação da operadora do transporte público de Porto	Porto / Portugal
[Carvalho et al. 2015]	Objetivam avaliar o desempenho dos municípios brasileiros com relação a implantação das políticas públicas no transporte durante seis anos e analisam a estratégia de eficiência - eficácia para cada cidade.	21 municípios brasileiros	Brasil
[Nishiuchia et al. 2015]	Propõem um método de avaliação de nós de transferência com base em dados de cartões inteligentes no uso de sistemas de transporte público (bondes e ônibus) considerando os tempos de transferência e os grupos de idade do usuário.	40 estações de transferência ou integração	Japão
[De la Sancha et al. 2016]	Apresentam uma abordagem inovadora que estima as eficiências relativas, visando otimizar a operação e design da TTS. São estudadas as três dimensões chaves para a sustentabilidade: técnica, social e ambiental.	39 estações de transferência de trânsito (TTS)	Cidade do México

3. Referencial teórico e principais conceitos

Neste artigo propõe-se uma avaliação da eficiência e eficácia utilizando o modelo DEA com fronteira invertida, portanto, abordam-se os conceitos do modelo DEA e da Fronteira Invertida associada ao método de Savage ([Savage 1972]).

Análise Envolvente de Dados (DEA)

O modelo apresentado por [Charnes et. al. 1978] é chamado de modelo DEA-CCR, este avalia a eficiência para múltiplas entradas (ou inputs) que produzem múltiplos produtos (outputs) na qual constrói uma “fronteira” ou superfície linear por partes, não paramétrica que envolve as “unidades tomadoras de decisão” ou DMUs (do inglês *Decision Making Units*). O modelo DEA-CCR também é conhecido como modelo DEA-CRS (*Constant Returns to Scale*), pois considera retornos constantes de escala, isto é, que qualquer variação nos inputs ocasiona uma variação proporcional nos outputs. Uns anos mais tarde, [Banker et. al. 1984] relacionou as avaliações de eficiência com as formulações axiomáticas apresentadas no trabalho de [Shephard 1970], na qual se contempla rendimentos variáveis de escala, este enfoque junta as noções de eficiência e a teoria moderna de produção. Este modelo é chamado de DEA-BCC, onde a fronteira é convexa permitindo que as unidades que operam com baixos valores de inputs tenham retornos crescentes de escala e da mesma forma as unidades que operam com altos valores de outputs tenham retornos decrescentes de escala. Desta forma, o modelo DEA-BCC substitui o axioma de proporcionalidade entre inputs e outputs (do Modelo DEA-CCR) passando a ser conhecido também como modelo DEA-VRS (*Variable Returns Scale*).

Destaca-se que a missão destes modelos clássicos é a de maximizar os resultados com os recursos disponíveis, em vez de obtenção de ganhos comerciais. Sendo o TCPO um serviço à população ela apresenta múltiplos inputs e outputs (sociais, econômicos e ambientais) portanto o DEA é adequado para avaliar seu desempenho, dado que estes modelos constroem fronteiras que permitem identificar as DMUs eficientes e ineficientes, além da pontuação de cada DMU (entre 0 a 1) com relação às melhores práticas observadas.

Para este artigo por critérios práticos foi escolhida a formulação matemática DEA-CCR orientado aos inputs. Os inputs são denotados por x_{ik} ($i=1,...,r$) e os outputs por y_{jk} ($j=1,...,s$) da DMU_k, $k = 1,...,n$; onde v_i e u_j são o conjunto de pesos associados aos inputs e outputs respectivamente e $\varepsilon > 0$ é um número infinitesimal não-arquimediano. A Função Objetivo maximiza a pontuação de eficiência, a Restrição 01 é chamada de restrição de normalização que garante uma única combinação de pesos, a Restrição 02 é a encarregada de realizar o processo de *benchmarking* entre as unidades (DMU_k) que estão sendo avaliadas e a Restrição 03 é a de não negatividade. Este modelo deve ser resolvido para cada DMU que está sendo avaliada.

$$\text{Função Objetivo: } \max Ef_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0}$$

Sujeito a:

$$\text{Restrição 01: } \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$$

$$\text{Restrição 02: } \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k$$

$$\text{Restrição 03: } v_i, u_j \geq \varepsilon > 0, \forall i, j$$

O modelo DEA tem a característica de permitir realizar ordenamento das DMUs avaliadas dependendo da pontuação de eficiência independente da opinião dos gestores. Porém, também ocorrem empates entre as DMUs eficientes (pontuação igual a 1), isto devido a que algumas DMUs podem alcançar a eficiência apenas ao considerar algumas variáveis (aquelas que lhes são mais favoráveis ou com as melhores práticas). Em consequência, isto provoca uma grande dificuldade na hora de realizar as análises, para superar esta dificuldade existem diversos métodos, um deles é considerar o método de fronteira invertida que será abordado a continuação.

Fronteira invertida

O conceito de fronteira invertida foi introduzido por [Yamada et al. 1994] e [Entani et al. 2002] que basicamente consiste em avaliar as DMUs naquilo em que são ineficientes (“avaliação pessimista”), através da inversão entre os inputs e outputs, o que permite uma observação mais sofisticada do problema estudado. A fronteira invertida é composta pelas DMUs com as piores práticas.

Considerando uma ponderação dos resultados obtidos das fronteiras padrão e invertida, é possível estimar uma fronteira de eficiência composta. Para estes casos utiliza-se o método de Savage (utilizado na tomada de decisão em ambientes com incerteza) adaptado ao modelo DEA, onde se realiza uma ponderação entre os métodos otimista e pessimista. A equação 1 mostra este método com α como coeficiente de ponderação.

$$Ef_{composta} = \alpha(Ef_{padrão}) + (1 - \alpha)Ef_{invertida} ; \quad \alpha \text{ (número Real)} \in [0; 1] \quad (\text{Eq. 1})$$

Um exemplo prático deste método é utilizado pelo software SIAD ([Meza et al. 2004]), onde o valor do coeficiente de ponderação (α) é de 0,5, desta maneira os métodos otimista e pessimista apresentam o mesmo peso no cálculo da eficiência composta ou ponderada. O resultado pode ser visualizado na equação 2, cabe destacar que também é importante a normalização dos resultados obtidos (equação 3, [Meza et al. 2004])

$$Ef_{composta} = (Ef_{padrão} + (1 - Ef_{invertida}))/2 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Ef_{composta \text{ normalizada}} = Ef_{composta} / \text{Max}(Ef_{composta}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Baseados no objetivo desta pesquisa e o contexto apresentado viu-se pertinente o uso do modelo DEA-CCR orientado aos inputs, considerando o conceito de fronteira invertida. Para realizar os cálculos do modelo foi utilizado o software SIAD ([Meza et al. 2005]), que permitiu obter melhores análises com relação à eficiência e eficácia do TCPO-RJ.

3.1. Matriz Eficácia-Eficiência e método para o cálculo do desempenho

Alcançar a eficiência e eficácia no TCPO é de suma importância já que o transporte faz parte da vida diária das pessoas e orienta as políticas sociais, econômicas e até ambientais. [Mouzas 2006] apresenta um enfoque que combina os conceitos de eficiência e eficácia nas organizações (Figura 1):

- ❖ Focando na eficiência e negligenciando a eficácia, obtêm-se como resultado uma rentabilidade efêmera (passageira ou transitória). Ou seja, os custos (com a frota e empregados) são baixos, porém o serviço oferecido não está adequado aos olhos dos usuários. Portanto, uma solução para alcançar o equilíbrio seria a realizar investimentos na qualidade do serviço (treinamento ou capacitação dos motoristas), na segurança dos veículos (camarás de segurança) e conforto (ar condicionado dentro dos ônibus).
- ❖ Focando na eficácia e negligenciando a eficiência, pode resultar num crescimento sem lucro (as receitas e custos aumentam). Ou seja, os custos para oferecer o serviço são muito altos, porém é prestado um adequado serviço aos usuários. Uma solução para alcançar o equilíbrio seria um alinhamento da oferta com a demanda, por exemplo, realizar uma racionalização de linhas de ônibus.
- ❖ Focando na eficiência e eficácia, obtêm-se uma rentabilidade sustentável, ou seja, o serviço é de qualidade e atende adequadamente aos passageiros a um custo mínimo. Este enfoque é apropriado para a obtenção melhores práticas dentro da organização e brinda qualidade de vida dos usuários do serviço.

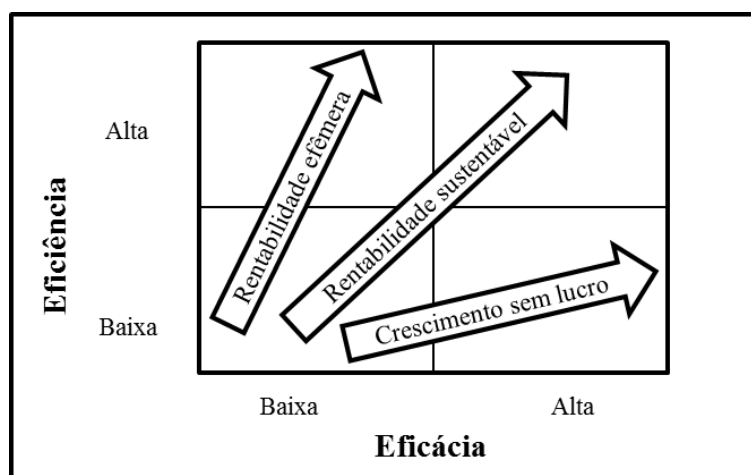


Figura 1: Eficácia v.s. Eficiência

Fonte: [Mouzas 2006]

O planejamento no transporte é necessário para garantir os deslocamentos das pessoas dentro da própria cidade, sendo o usuário do transporte coletivo o ator principal, onde os operadores (públicos e privados) do TCPO sempre procurem atender a necessidade de transporte. Desta forma os envolvidos na gestão do TCPO tomam decisões que permitam a combinação entre a eficiência (representada pela oferta de serviços) e a eficácia (representada pelo interesse do usuário), em outras palavras, a eficiência é representada pela capacidade de oferta dos operadores do TCPO para alcançar ao passageiro visando minimizar seus custos (frota, empregados, entre outros) ou maximizando a receita pelo serviço oferecido, e a eficácia avalia a capacidade dos operadores do TCPO para alcançar ao passageiro considerando os critérios como conforto, atendimento, entre outros (que incluem maiores custos). Então, entende-se que a eficiência e a eficácia são componentes conflitivos e reciprocamente exclusivos, portanto, os gestores do TCPO têm a responsabilidade de promover e implantar políticas que tentem equilibra-las.

[Mouzas 2006] define a relação matemática (equação 4) que representa o equilíbrio (Desempenho), dado um nível de eficiência e eficácia de uma organização.

$$Desempenho = \frac{Eficiência}{Eficácia} \quad (Eq. 4)$$

Da equação (4), tem-se que se o desempenho é igual a 1 indica que o sistema tem a capacidade de alcançar o equilíbrio entre o nível de serviço para o passageiro e com custo mínimo; se o rendimento é menor a 1 indica que há uma política focada no atendimento ao passageiro (nível de serviço), e se o rendimento é maior a 1 indica que o sistema tem ênfase na redução dos custos pela prestação do serviço ou maximização das receitas.

Para este artigo, utiliza-se o enfoque proposto por [Mouzas 2006] para analisar os índices de eficiência e eficácia com a finalidade calcular o desempenho e assim identificar as variações anuais ao longo do período analisado.

4. Estudo de caso: O transporte coletivo de passageiros por ônibus no município do Rio de Janeiro (TCPO-RJ)

Os registros históricos das atividades operativas podem ser obtidos no site do RioÔnibus ou da Fetranspor (Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro), considerou-se o estudo de caso adequado devido a que existe uma ampla variedade de informações relevantes do sistema: frota, passageiros transportados, número de linhas, viagens realizadas, entre outros. A cidade do Rio de Janeiro é a segunda maior e mais importante cidade brasileira, o TCPO-RJ abrange 160 bairros, atende a mais de 6 milhões de habitantes e atualmente

opera de forma complementar aos sistemas de média (BRT e VLT) e alta capacidade (Metrô, Trem, Barcas). O sistema é gerenciado por quatro consórcios: Intersul, Internorte, Santa Cruz e TransCarioca, contando com mais de 600 linhas, uma frota operante de mais de 8000 ônibus e com mais de 36 mil empregados (entre motoristas, cobradores e pessoal administrativo). Destaca-se que a área comum de operação dos consórcios é o Centro do Rio de Janeiro.

A Tabela 2 mostra o panorama geral ao longo do tempo do uso dos modais pelos usuários do transporte coletivo na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), do qual se observa uma hegemonia do ônibus municipal como principal modal, porém observa-se também uma evolução positiva dos modais de transporte de massa (Trem, Metrô e Barcas) e uma redução significativa da participação das Vans.

Tabela 2: Evolução dos principais modais do transporte coletivo na RMRJ – *Market Share (%)*

Ano	Trem	Metrô	Barcas	Ônibus Intermunicipal	Ônibus Municipal	Van	VLT
2003	3,4	4	0,9	14,9	58,7	18,2	-
2012	6,6	6,6	1	17,6	62,6	6,5	-
2016	8,3	9,2	2,1	15,8	60	3,3	1,3

Fonte: [Fetranspor 2017]

4.1. Dados do TCPO-RJ: Inputs e Outputs

Os dados relativos à operação do TCPO-RJ foram obtidos do relatório técnico do setor de ônibus da Fetranspor que disponibiliza a planilha “Resumo do sistema de transporte por ônibus no município do Rio de Janeiro - 1984 a 2016”. Consideraram-se como inputs: o Pessoal Ocupado (número de empregados) e Média Anual de Frota Operante (quantidade de ônibus), devido à falta de informação do Pessoal Ocupado, optaram-se para a análise os anos de 1998 a 2016 (19 anos) como DMUs. Para a análise da eficiência e eficácia considerou-se apenas um output, as variáveis “Quilômetros Percorridos” relacionado à oferta de serviço de transporte (eficiência) e o total de “Passageiros Transportados” (soma dos passageiros com gratuidade, benefício tarifário e pagantes) relacionado à demanda por transporte (eficácia). Com relação às decisões e implantação de políticas dos operadores do TCPO-RJ, foram consultadas publicações dos operadores do transporte coletivo, dos sindicatos de ônibus, das entidades públicas como da Secretaria Municipal de Transportes, entre outros, dentro período analisado.

4.2. Uso do Modelo DEA-Fronteira Invertida e seus resultados

Nesta seção foram estimadas as pontuações de eficiência e eficácia através do modelo DEA-CCR orientado aos inputs considerando o conceito de fronteira invertida com ajuda do software SIAD. De forma complementar foi calculado o desempenho do sistema e o ranking para cada ano analisado. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados da aplicação do modelo DEA-CCR com o critério de Fronteira Invertida

DMUs	Inputs		Output para Eficiência	Output para Eficácia	Eficiência (%)				Eficácia (%)				Desempenho (%) [Mouzas 2006]	Ranking segundo o Desempenho
Ano	Frota Operante (Número de ônibus)	Pessoal Ocupado (Número de empregados)	Quilômetros percorridos	Passageiros transportados	Padrão	Invertida	Composta	Composta normalizada (CN)	Padrão	Invertida	Composta	Composta normalizada (CN)		
1998	7.464	45.086	761.016.410	1.192.113.936	99,30%	99,10%	50,10%	90,10%	100,00%	75,00%	62,50%	96,60%	93,30%	9
1999	7.738	44.506	752.466.438	1.086.385.394	94,70%	99,00%	47,90%	86,10%	88,70%	81,20%	53,80%	83,10%	103,70%	4
2000	7.718	44.313	743.004.549	1.018.108.405	93,70%	99,80%	47,00%	84,50%	83,40%	86,30%	48,60%	75,00%	112,70%	13
2001	7.482	42.774	736.830.824	946.646.837	95,90%	97,10%	49,40%	88,90%	80,10%	89,60%	45,30%	69,90%	127,10%	17
2002	7.370	41.188	697.769.359	894.708.399	92,20%	98,80%	46,70%	84,00%	77,10%	91,20%	43,00%	66,30%	126,70%	16
2003	7.289	40.603	679.435.413	822.043.972	90,80%	100,00%	45,40%	81,70%	71,70%	97,90%	36,90%	57,00%	143,20%	18
2004	7.170	38.496	657.078.671	762.968.838	89,60%	99,30%	45,10%	81,20%	68,10%	100,00%	34,10%	52,60%	154,40%	19
2005	7.117	39.062	679.203.018	974.539.782	92,90%	96,70%	48,10%	86,60%	87,30%	79,40%	53,90%	83,30%	103,90%	5
2006	7.271	40.667	697.687.171	993.372.809	93,40%	97,50%	48,00%	86,30%	86,80%	81,10%	52,80%	81,60%	105,70%	7
2007	7.357	40.635	719.378.968	1.021.912.879	95,20%	94,80%	50,20%	90,30%	88,50%	78,80%	54,80%	84,70%	106,70%	8
2008	7.675	41.369	788.123.538	1.097.734.648	100,00%	88,80%	55,60%	100,00%	91,50%	74,70%	58,40%	90,20%	110,90%	11
2009	8.226	41.403	767.909.940	1.095.201.940	97,40%	93,50%	51,90%	93,40%	86,20%	79,90%	53,10%	82,10%	113,80%	14
2010	8.732	40.195	728.247.823	1.099.752.013	95,10%	99,00%	48,00%	86,40%	82,70%	84,50%	49,10%	75,90%	113,90%	15
2011	8.708	40.071	739.441.104	1.194.837.738	96,90%	97,20%	49,80%	89,60%	90,10%	77,60%	56,30%	86,90%	103,10%	2
2012	8.716	40.420	755.123.683	1.200.401.168	98,10%	95,80%	51,10%	92,00%	90,30%	77,30%	56,50%	87,30%	105,40%	6
2013	8.718	40.912	733.645.588	1.208.799.036	94,10%	99,30%	47,40%	85,30%	90,80%	76,70%	57,00%	88,10%	96,80%	3
2014	8.916	40.537	759.079.904	1.263.915.155	98,30%	96,30%	51,00%	91,80%	93,30%	75,10%	59,10%	91,30%	100,50%	1
2015	9.008	39.596	723.478.360	1.326.078.954	95,90%	100,00%	48,00%	86,30%	97,40%	72,30%	62,50%	96,60%	89,30%	10
2016	8.474	36.742	686.700.494	1.278.513.674	98,10%	99,10%	49,50%	89,10%	100,00%	70,50%	64,70%	100,00%	89,10%	12

Obs: O desempenho foi calculado considerando os valores de eficiência e eficácia composta normalizada. O ranking foi elaborado a partir dos valores mais próximos a 100%.

Para as seguintes análises consideram-se os valores do método “Composta Normalizado (CN)” como os valores da pontuação de eficiência e eficácia.

A Figura 2 mostra um panorama geral da evolução da eficiência, eficácia e desempenho do TCPO-RJ, observa-se que entre 1998 e 2004 a eficiência e eficácia apresentam uma tendência decrescente leve e forte correspondentemente. No ano de 2004 nota-se a maior diferença ($\pm 28,6\%$) entre a eficiência e eficácia ao longo de todo o período estudado. Entre os anos 2005 a 2010 tanto a eficiência como eficácia apresentam um comportamento similar e em 2008 se alcança o maior valor de eficiência. De 2011 a 2016 a eficiência mostra uma característica de estabilidade (baixa oscilação), por outro lado, a eficácia apresenta uma tendência crescente, consolidando a maior pontuação em 2016 (100%).

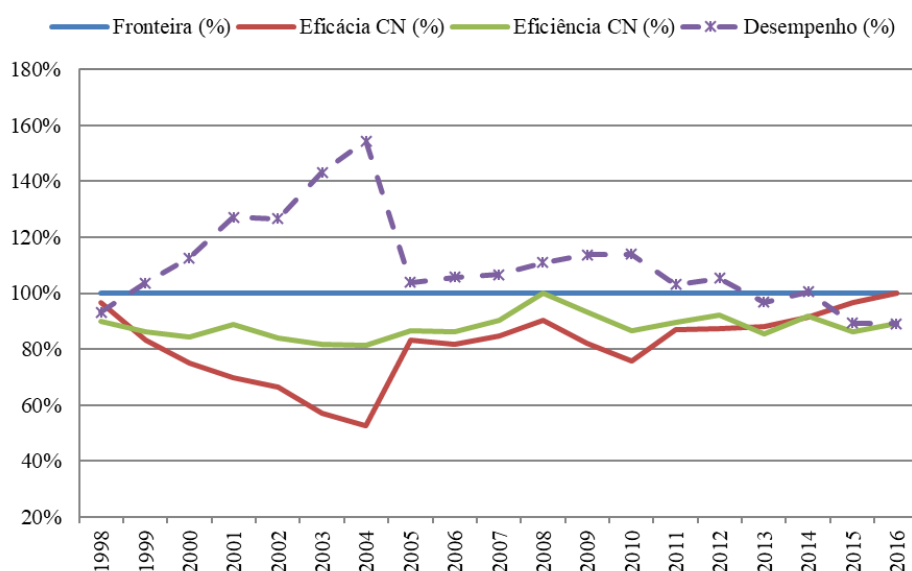


Figura 2: Níveis de Eficiência, Eficácia e Desempenho do sistema TCPO-RJ

Complementarmente da Figura 2 observa-se que o sistema foi mais eficiente que eficaz entre 1999 e 2012 (quatorze anos) e o desempenho ficou maior a 100%, esta característica indica que o TCPO-RJ seguiu uma política orientada a alcançar certo nível de eficiência deixando de lado a eficácia. Observa-se uma mudança a partir de 2013 onde o desempenho fica menor a 100% (anos 2015 e 2016). Então, baseado nos resultados do desempenho conclui-se que as políticas gerenciais do TCPO-RJ foram focadas principalmente em alcançar a eficiência, ou seja, visando a redução dos custos ou uso dos recursos e fazendo menos esforços em dar condições que satisfazem aos usuários (passageiros).

4.3. Políticas, eventos e fatores que influenciaram o desempenho do TCPO-RJ

Nesta seção realiza-se uma análise complementar na qual se explora a relação do desempenho do TCPO-RJ com a história gerencial, identificando-se as principais decisões políticas, eventos, obras de infraestrutura e outros fatores que influenciaram diretamente no desempenho do sistema no período estudado (1998-2016).

Os anos de 1998 e 1999 apresentam alto nível de desempenho, devido principalmente a sua participação no mercado e falta de investimentos nos transportes de massa (tinham acabado de ser concedidas a empresas privadas).

Entre os anos de 2000 a 2004 apresentam baixos níveis de desempenho, devido à falta de investimentos, inovações e incentivos aos usuários do TCPO o que gerou perda de demanda e serviços, já que as concessionárias que operam os sistemas de Trem, Metrô e Barcas realizaram investimentos e implantaram políticas tarifárias, como a expansão da rede metroviária, reformas

das estações de trem e barcas, e integração tarifária metrô-trem. Outro fator importante que influenciou negativamente o desempenho do sistema foi o aumento do transporte alternativo (Vans) que passaram a operar nos subúrbios do município sem regularização e oferecendo uma tarifa menor que dos ônibus.

Entre 2005 e 2010 o desempenho apresenta um comportamento inicialmente com certo equilíbrio e, no decorrer do tempo, se afastando do equilíbrio. Isto pode ser associado com a implantação da lei das gratuidades (2005), que consiste em isenção de pagamento de tarifas nos serviços de transporte por ônibus a estudantes da rede pública fundamental e médio, e a integração expressa metrô-ônibus, que consiste em linhas de ônibus que partem de estações metroviárias rumo a bairros próximos não atendidos pelo metrô. Estas medidas ocasionaram inicialmente um aumento considerável da demanda de passageiros, porém o serviço não evoluiu e não se adequou a este novo cenário, não foram realizados grandes investimentos em segurança, conforto para os usuários, treinamento de funcionários, entre outros.

Entre 2011 e 2014 observa-se um alto nível de desempenho (perto do equilíbrio) e isto pode ser atribuída primeiramente à implantação do Bilhete Único (2009), que é um benefício tarifário que integra todos os modais facilitando os deslocamentos dos usuários dentro não só do município senão também dentro da RMRJ e ao fato da mudança na gestão que consiste em que as empresas do TCPO passaram de ter um contrato de tipo permissionária para concessionária com a prefeitura (2010-2011). Estas medidas proporcionam maior confiança às empresas para realizar investimento, como na compra de novos ônibus, treinamento dos empregados, atendimento, investimento em tecnologia e segurança (GPS, câmeras de segurança, ar condicionado e ônibus menos poluente) e adoção da tecnologia do sistema de bilhetagem eletrônica para toda a frota de ônibus. Todos estes investimentos permitem/incentivam aos usuários do transporte coletivo a optar pelo ônibus para realizar suas viagens com maior qualidade (segurança e rapidez) satisfazendo suas necessidades de transporte.

Destaca-se que eventos como a Copa do Mundo (2014) e Olimpíadas (2016) e a crise econômica do Estado afetaram diretamente o desempenho do TCPO-RJ devido a que a cidade passou por diversas transformações e mudanças na infraestrutura viária. Adotaram-se novas tecnologias: corredores expressos TransCarioca (2012), TransOeste (2012) e TransOlímpica (2016) e o sistema chamado BRT (*Bus Rapid Transit*). Foram implantadas a partir de 2011 faixas exclusivas para ônibus ou BRS (*Bus Rapid Service*) na Zona Sul e Centro da Cidade, expandiu-se a rede metroviária em 2016 (Linha 4, Barra da Tijuca ↔ Ipanema), foram extintas ou redesenhadas os itinerários das linhas dos ônibus que trafegam pelo Centro em 2015, para inauguração do sistema VLT ou Veículo Leve sobre Trilhos em 2016, que conecta o Aeroporto Santos Dumont com a Rodoviária e integra-se ao metrô (Linhas 1 e 2) e as Barcas (sentido Charitas, Niterói, Cocotá e a Ilha de Paquetá). Também foram realizadas grandes obras como a do Porto Maravilha e a derrubada da Perimetral (2013) as quais modificaram as formas de trafegar e atravessar o Centro da cidade (polo econômico que concentra os centros de trabalho, estudo, comércio e entre outros) obrigando o sistema a reformular os trajetos das linhas e os custos correspondentes.

5. Conclusões

Neste artigo estudou-se o TCPO-RJ e analisaram-se de maneira sistêmica a evolução da eficiência, eficácia e do desempenho, por meio da identificação das políticas, decisões ou eventos que ao longo do tempo influenciaram o sistema, para tanto se estimou uma pontuação de eficiência, eficácia e desempenho através do modelo DEA considerando o conceito de fronteira invertida sob o enfoque de [Mouzas 2006].

Concluiu-se que as medidas que levaram a obter altos níveis de eficiência e eficácia nos últimos anos estão relacionadas à redução de linhas, ao aumento dos investimentos no serviço e incentivo aos usuários através de benefícios tarifários. Isto é, extinção, redução e substituição de linhas de ônibus por linhas de transporte em massa, como são os BRTs, o VLT na Área Portuária da cidade, a extensão da malha metroviária, etc. Neste contexto os ônibus servirão como alimentadores desses modais e farão integrações com os mesmos com benefícios tarifários. A partir

de 2011 observam-se altos níveis de eficiência e eficácia (maiores a 80%), mas isso não garante que o sistema seja ótimo desde o ponto de vista dos usuários. O que garante, é que houve uma melhoria significativa com relação à gestão e ao uso adequado dos recursos por parte das empresas e que as medidas públicas aplicadas no setor têm surtindo efeito positivo no médio e longo prazo. Como são os casos do Bilhete Único que permite basicamente realizar viagens com tarifa reduzida e dos corredores BRS os quais reduzem o tempo de viagem dos usuários e aumentam o número de frequências ou viagens dos ônibus.

Destaca-se que a fator segurança (acidentes de trânsito e roubos dentro dos ônibus, por exemplo) é uma variável relevante a ser considerada nos estudos de eficiência e eficácia, devido a que está impacta tanto na demanda (passageiros) como no nível de serviço ofertado pelas empresas. Esta variável é da competência não só da empresa privada senão também das entidades públicas (Prefeitura e Governo do Estado). Sendo que o investimento que a prefeitura faz em segurança pública influencia diretamente no usuário de transporte coletivo no momento da escolha do modal (metro, ônibus, trem ou barca) para a realização da viagem. A maneira de exemplo, os acidentes de trânsito, bloqueiam as ruas, aumentado os tempos de viagem, restringindo o fluxo de veículos e afetando a programação das empresas e por outro lado, um acidente grave pode custar altas multas as empresas envolvidas. Portanto, num trabalho futuro seria interessante a adição de variáveis relacionadas à segurança.

Finalmente, a concepção desta modelagem complementa os indicadores resultantes da atividade do TCPO-RJ e pode servir de arcabouço de aplicação em outras áreas urbanas bem como poderia ser adaptado para o caso de outros modais que formam parte do transporte coletivo.

Referências

Banker, R., A. Charnes, and W. Cooper (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30:1078-1092.

Carvalho M., Syguiry T. and Silva D. (2015). Efficiency and Effectiveness Analysis of Public Transport of Brazilian Cities. *Journal of Transport Literature*, 9(3):40-44.

Charnes, A., W. Cooper, & E. Rhodes (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2:429-444.

Costa, A., Ebert S. and Stanislau T. (2014). Impact analysis of managerial decisions on the overall performance of a public transport operator: the case of STCP. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111:410 – 423.

De la Sancha, A., Mayoral J. and Román L. (2016). Modeling urban transfer stations efficiency. *Procedia Computer Science*, 83:18 – 25

Entani, T., Maeda, Y. e Tanaka, H. (2002). Dual models of interval DEA and its extension to interval data. *European Journal of Operational Research*, 136(1):32-45.

Fancello G., Uccheddu B. and Fadda P. (2014). Data Envelopment Analysis (D.E.A.) for urban road system performance assessment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111:780 – 789

Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. (Series A)*, 120:253-281.

Fetranspor (2017). Web page. <https://www.fetranspor.com.br/mobilidade-urbana-setor-em-numeros>. Acessado: 10-01-2018

Hirschhausen C. and Cullmann A. (2010). A nonparametric efficiency analysis of German public transport companies. *Transportation Research*. Part E 46:436–445

Jorda, L. A. (2012). Metodología de Evaluación de La eficiencia de los servicios de autobús urbano: Aplicación a las grandes ciudades españolas en el periodo 2004-2009. E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ingeniería Civil: Transportes. Madrid.

Meza, L. A., Biondi Neto, L., Mello, J., Gomes, E., e Coelho, P. (2004). FsdA–free software for decision analysis (slad–software livre de apoio à decisão): a software package for data envelopment analysis models. In *Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa–CLAIO*, volume 12.

Meza, L. A.; Neto, L. B.; Soares De Mello, J.C.C.B.; Gomes, E.G. (2005). ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, (3):493-503.

Meza, L. A.; Neto, L. B.; Soares De Mello, J.C.C.B.; Gomes, E.G.; Coelho, P.H.G. (2005). Free software for decision analysis: a software package for data envelopment models. In *7th International Conference on Enterprise Information Systems - ICEIS 2005*, v. 2, p. 207-212.

Mouzas, S. (2006). Efficiency Versus Effectiveness in Business Network. *Journal of Business Research*, 59 (10/11): 1124-32.

Nishiuchia H., Todoroki T. and Kishi Y. (2015). A Fundamental Study on Evaluation of Public Transport Transfer Nodes by Data Envelop Analysis Approach Using Smart Card Data. *Transportation Research Procedia*, 6:391 – 401

Savage, L. J. (1972). The foundations of statistics. Courier Corporation, USA

Shephard, R. (1970). Theory of cost and production functions. Princeton University Press, Princeton, USA.

Yamada, Y.; Matui, T. and Sugiyama, M. (1994). New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37, n. 2:158-167.