

## USO DA METODOLOGIA *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS* NA COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA LOGÍSTICA URBANA DAS PRINCIPAIS CIDADES BRASILEIRAS

**Selma Setsumi Isa**  
**Giset N. Montoya M.**  
**Orlando Fontes Lima Jr.**

Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes LALT, FEC  
UNICAMP, Campinas, São Paulo, Brasil

**Reinaldo Fioravanti**

Inter-American Development Bank, Washington, D.C., USA

### RESUMO

A logística urbana é um componente-chave para o acesso de bens e serviços pela população, sendo que se bem organizada pode produzir efeitos positivos para a economia local com baixo impacto nos níveis de congestionamento, acidentes e emissões de poluentes. O Brasil enfrenta problemas como o baixo investimento em infraestrutura de transportes, falta de dados sobre o fluxo urbano de cargas e sobre a produtividade nas entregas urbanas, entre outros. Assim, o objetivo deste artigo é a aplicação da metodologia DEA para analisar a eficiência da logística urbana nas principais cidades do Brasil através da comparação de algumas características e indicadores disponíveis relacionados à logística urbana. Como resultado deste estudo, temos que as cidades que usam menos recursos, como frota de caminhões e tempo de deslocamento, para atender cidades com características semelhantes, são as mais eficientes.

### ABSTRACT

Urban logistics is an integral part of the access of goods and services by the population and if is well-organized might produce positive effects at the local economy with low impact on traffic congestion, accidents and pollutant emissions. Brazil faces problems such as low investment in transportation infrastructure, difficulty in raising data of urban flow of cargo and over the results of mobility policies that impact urban deliveries. Therefore, the aim of this article is to apply a DEA methodology to analyze the efficiency of urban logistics in the main Brazilian cities through comparison of some characteristics and available indicators related to urban logistics. As a result of this study, cities that use less resources to serve similar cities, are more efficient.

### 1. INTRODUÇÃO

Em 2016, 54,5% da população mundial viviam em cidades e a projeção é de atingir 60% em 2030. O número de megacidades, regiões metropolitanas com mais de 10 milhões de habitantes, também segue a mesma tendência, sendo que as regiões em desenvolvimento são as que concentram o maior número de megacidades. Na América Latina e Caribe temos São Paulo, Cidade do México, Buenos Aires, Rio de Janeiro e Lima e com projeções de Bogotá fazer parte deste grupo até 2030 (UN, 2017).

A concentração de residentes, empregos, serviços, produção, entre outros, faz com que mais de 80% do PIB (Produto Interno Bruto) seja gerado nas cidades (WB, 2019), tornando-se essencial um fluxo de carga eficiente, de forma a contribuir para o desenvolvimento da região. Uma logística urbana ineficiente interfere diretamente na qualidade de vida da população e na economia local, uma vez que a concentração de veículos de carga pode provocar mais congestionamentos, riscos de acidentes e emissões de poluentes. Os custos logísticos também são afetados, foi constatado que o custo de entrega aumenta em média 151% em Barranquilla (Colômbia), 47% em Santiago (Chile) e 108% em São Paulo (Brasil) devido aos congestionamentos (Holguín-Veras *et al.*, 2016).

A Logística Urbana depende de vários fatores, como a densidade populacional, o formato da

cidade, o planejamento urbano e a distribuição dos estabelecimentos comerciais e logísticos, a infraestrutura viária, o nível de congestionamento, regulamentações de trânsito e cultura da população, entre outros.

Considerada principalmente de responsabilidade do setor privado, não é comum o monitoramento de indicadores de Logística Urbana da cidade. Algumas pesquisas no Brasil sobre eficiência e Logística Urbana foram realizadas, mas com o foco na análise da eficiência de soluções específicas, não foram encontrados dados sobre as cidades e nem sobre a comparação da eficiência entre elas. Adicionalmente, os atores envolvidos na logística urbana (*stakeholders*), como os fornecedores, clientes, operadores logísticos, poder público e população local, geralmente possuem interesses diferentes e muitas vezes divergentes dos outros atores, fazendo com que uma solução possa ser considerada eficiente para um dos atores e ineficiente para os demais.

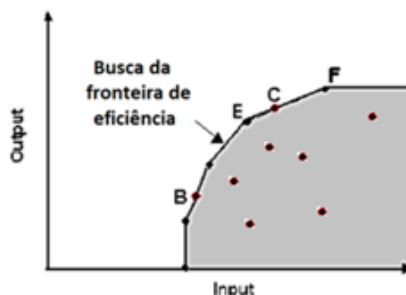
Devido ao grande número de variáveis que influenciam a eficiência e também dos diferentes *trade-offs* entre os atores envolvidos no processo, há uma complexidade de se avaliar a eficiência da logística urbana nas cidades.

Com o objetivo de desenvolver uma metodologia de comparação da eficiência logística das cidades considerando algumas de suas características-chaves e elementos disponíveis da logística urbana, a metodologia DEA (*Data Envelopment Analysis*) foi avaliada e aplicada nas principais cidades brasileiras, a partir de dados públicos e de fácil acesso, resultando em uma análise multivariada entre elas, conforme apresentado na Metodologia e Resultados.

### **1.1 Data Envelopment Analysis - DEA**

O modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA) foi inicialmente desenvolvido por Charnes *et al.* (1978) com o objetivo de avaliar a eficiência relativa de sistemas similares de produção econômica. No entanto, Hashimoto *et al.* (1991) observaram que é possível adotar uma perspectiva mais ampla, na qual o modelo também é apropriado para comparar qualquer conjunto de unidades homogêneas em múltiplas dimensões.

Segundo Novaes (2001), o DEA tem sido utilizado como um processo para mensurar a eficiência relativa de um grupo de *Decision Making Units* - DMU. O modelo identifica as melhores práticas a partir das fronteiras da eficiência (Figura 1). No caso de múltiplas entradas e saídas, a análise será simplificada se consegue reunir todos esses índices em uma única medida de produtividade. De forma análoga, as entradas podem ser ponderadas, formando uma única expressão. Para que a organização obtenha eficiência econômica, ela deve primeiro demonstrar eficiência técnica (Nold e Edwards, 2000). Assim, o objetivo da DEA é definir o limite de produção de um determinado conjunto de unidades, identificar a envoltória formada pelas DMUs eficientes e maximizar as taxas de eficiência para fornecer as referências de benchmarking.



**Figura 1:** Fronteiras da eficiência

O DEA original foi entendido como conjuntos de dados que incluem uma mistura de dados precisos e imprecisos (ordinais, tipos de dados de intervalo) (Despotis e Smirlis, 2002; Chen e Zhu, 2003). Especialmente para o problema de apoiar a seleção de produtos, o modelo foi proposto para medir indicadores qualitativos de desempenho, como "custo-benefício" (Smirlis *et al.*, 2004), que podem ser usados para identificar as melhores eficiências.

A eficiência do DEA é representada para cada DMU, a partir da razão entre a soma ponderada dos componentes do vetor de saídas ou *outputs* e a soma ponderada dos componentes do vetor de entradas ou *inputs*, utilizadas no processo de produção. Na programação matemática, é definida como a equação 1.

$$Eficiência = \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}} \quad (1)$$

O modelo de programação fracionária proposto por Charnes *et al.* (1978) transformam o modelo (equação 1) em problemas de programação linear da equação 2,

$$\max h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &\leq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ u_r, v_i &\geq 0 \end{aligned}$$

Em que:

- $h_0$  = Função Objetivo. Medida de eficiência
- $v_i$  y  $u_r$  = são as ponderações das variáveis de entrada e saída procuradas
- $y_{r0}$  = output i-ésimo da DMU j-ésima
- $x_{i0}$  = input i-ésimo da DMU j-ésima

Diferentes fatores influem nos resultados do modelo, como as restrições impostas nas ponderações e a orientação do modelo (Paiva, 2000). Este último, pode ser classificado como: *Input* orientado, *Output* orientado e modelos independentes da orientação.

Existem várias aplicações do método DEA em transporte, na indústria, área de serviços, desempenho de projetos, meio ambiente e em outras áreas de pesquisas nacionais ou internacionais. Alguns trabalhos recentes e o objetivo de aplicação são listados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Trabalhos recentes e o objetivo de aplicação

Autor	Ano	Objetivo de pesquisa
Bray, Caggiani e Ottomanelli.	2015	Analisar a eficiência de sistemas e serviços de transporte.
Rezaee, Izadbakhsh e Yousefi, S.	2016	Medir o desempenho dos sistemas de transporte.
Dos santos	2016	<i>Aquaponics</i> como agricultura urbana inovadora.
Holden, Richard, et al.	2016	Desempenho do problema do benchmarking no monitoramento das emissões de gases de efeito estufa em empresa do transporte de carga.
Khushalani e Ozcan	2017	Analisa a eficiência da produção de qualidade em hospitais.
Shen e Hermans	2017	Fornecer uma diretriz para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade capaz de avaliar o impacto da mobilidade na qualidade de vida urbana.
do Castelo Gouveia e Clímaco	2018	Avaliar Políticas Fiscais de Combustíveis para combater as Emissões de Carbono do Transporte Rodoviário.

## 2. METODOLOGIA

O modelo desenvolvido tem foco na análise quantitativa e supera a abordagem tradicional baseada no simples cálculo de indicadores de produtividade parcial, pois tem a vantagem de facilitar um tratamento multidimensional, sem implicar na necessidade de sistematizar e processar múltiplos indicadores cruzados. O DEA trata-se de uma metodologia não paramétrica sistematizada (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978), fornece uma perspectiva sistêmica e integrada para estudar, de forma comparativa, o desempenho das unidades de produção (variáveis) sob análise. Assim, a partir dessa metodologia é possível especificar a fronteira de eficiência, no caso deste trabalho, a fronteira de eficiência da logística urbana, baseadas em algumas características-chaves das cidades e de dados relacionados à logística.

O modelo DEA usado neste trabalho foi o *Output Orientado*, que apresenta ganhos de escala constante, o qual constrói uma envoltória do tipo linear. Segundo Paiva (2000), o modelo maximiza o movimento em direção à fronteira por meio do aumento proporcional dos *outputs*, mantendo constante os *inputs*.

Como premissa do estudo, os dados utilizados foram extraídos de *websites* de instituições públicas nacionais ou de metodologia usando dados abertos, de forma a manter uma consistência na base de dados e com custo baixo de obtenção de dados. Assim, os dados utilizados, considerados como variáveis do modelo são (Tabela 2):

**Tabela 2:** Indicadores usados para o modelo DEA

Indicador	Descrição	Base
PIB	Produto Interno Bruto do município (R\$ ano)	IBGE
População	Número de habitantes do município (unidades)	IBGE
Área Urbana	Área com grande concentração de residências (mancha urbana) (km <sup>2</sup> )	EMBRAPA
Frota de caminhões	Veículos cadastrados nos órgãos de trânsito dentro das categorias (Caminhão, caminhonete, camionete e utilitários) (unidades)	DETRAN

Número de Áreas de Armazenagem	Número de empresas de manuseio e armazenagem cadastradas no município (unidades)	IBGE
Número de Estabelecimentos Geradores de Carga	Número de empresas cadastradas e que geram carga como Comércio, Indústria, Setor Hoteleiro e Restaurantes (unidades)	IBGE
Tempo de deslocamento	Média do tempo estimado de deslocamento de um veículo entre um ponto distante 5 km até o centro utilizando (Minutos)	Calculado a partir Google Earth e Google Maps
Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)	Quantidade de CO <sub>2</sub> emitido considerando o indicador Frota de Caminhões, a média nacional de idade da frota e os fatores de emissões (kg)	Calculado a partir do Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários e dados do DETRAN.
Emissão de Material Particulado (MP)	Quantidade de MP emitido considerando o indicador Frota de Caminhões, a média nacional de idade da frota e os fatores de emissões (kg)	

Os indicadores *Tempo de Deslocamento*, *Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)* e *Emissão de Material Particulado (MP)* foram construídos com o objetivo de comparar a fluidez no trânsito e os potenciais níveis de emissões de poluentes das cidades estudadas. Estes indicadores construídos possuem limitações e não representam o real nível de congestionamento da cidade ou de emissões de poluentes, mas são importantes para completar a base comparativa entre as cidades. Abaixo são apresentadas as formas de cálculo destes indicadores.

#### *Tempo de Deslocamento:*

- A partir do *Google Earth* foi localizado o ponto central de cada cidade, o qual foi estabelecido como o ponto de chegada.
- Para cada cidade, quatro pontos iniciais foram criados, quando possível, considerando uma linha reta ao Norte, Sul, Leste e Oeste, distante 5 km do ponto de chegada, usando as ferramentas do próprio software.
- Esses pontos foram localizados no *Google Maps*, e seus endereços foram considerados como pontos de partida.
- Utilizando as ferramentas do software, o tempo de deslocamento foi calculado para rota entre o ponto inicial e de chegada, considerando uma data e horário fixos, no caso, 9 am. da quarta-feira, dia 21 de novembro de 2018.
- O indicador é o resultado da média dos tempos de deslocamento estimados mínimos e máximos do *Google Maps* para todas as rotas criadas na cidade.

#### *Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de Material Particulado (MP):*

- Considerou-se os dados da *Frota de Caminhões* da Tabela 2.
- Parametrizou-se para o cálculo, a distância percorrida de 10 km.
- A partir do parâmetro de 10 km e da idade média da frota (ANTT, 2019) foram calculados os consumos médios de diesel e emissões de CO<sub>2</sub> da frota de cada cidade, utilizando os dados publicados em MMA (2014) (Tabelas 18 e 24 do Inventário Nacional de Emissões atmosféricas 2012).

As cidades escolhidas para a aplicação da metodologia foram as capitais dos estados e do Distrito Federal e as cidades de Guarulhos e Santos, ambas situadas no estado de São Paulo e

com o principal aeroporto e porto do país, respectivamente. Considerando as cidades e os indicadores estabelecidos, a base de dados para a análise do Modelo DEA é ilustrada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Base para a análise do Modelo DEA

Número	Cidade	PIB	População	Área Urbana	Estabelecimentos geradores de carga	Frota de caminhões	Área de Armazenagem	Tempo de deslocamento	CO <sub>2</sub>	MP
1	Aracaju	16.689.205.541	648.939	115	8.918	41.238	6	17	124	14
2	Belém	30.234.646.200	1.485.732	199	11.412	63.102	17	17	188	21
3	Belo Horizonte	87.860.377.287	2.501.576	314	51.541	337.268	35	20	931	88
4	Boa Vista	9.328.989.842	375.374	133	3.535	34.802	6	13	99	10
5	Brasília	235.298.323.118	2.974.703	889	50.156	265.120	65	12	709	61
6	Campo Grande	26.077.687.831	885.711	332	14.704	97.054	22	17	320	39
7	Cuiabá	23.029.519.722	607.153	244	12.273	73.957	23	13	233	26
8	Curitiba	84.814.730.652	1.917.185	412	57.229	258.627	96	25	817	93
9	Florianópolis	19.249.869.421	492.977	153	12.780	55.227	10	17	139	10
10	Fortaleza	60.913.865.007	2.643.247	285	36.278	157.044	25	25	477	54
11	Goiânia	48.175.177.302	1.495.705	422	37.654	185.539	45	11	561	61
12	Guarulhos	55.137.982.518	1.365.899	193	54.415	101.378	57	25	360	48
13	João Pessoa	18.684.284.735	800.323	138	10.954	50.916	11	22	144	15
14	Macapá	9.840.751.752	493.634	128	3.879	25.677	9	14	72	7
15	Maceió	21.111.616.922	1.012.382	139	10.876	48.559	15	25	149	18
16	Manaus	72.009.918.414	2.145.444	427	14.135	126.205	37	17	373	40
17	Natal	21.844.933.525	877.640	119	13.625	61.785	17	20	175	18
18	Palmas	8.456.256.385	291.855	17	4.683	29.522	4	13	93	11
19	Porto Alegre	73.330.174.200	1.479.101	306	37.659	132.718	60	24	382	40
20	Porto Velho	14.981.434.900	519.531	140	6.170	44.094	8	15	142	18
21	Recife	49.917.462.436	1.637.834	142	22.223	110.195	51	20	357	46
22	Rio Branco	8.642.342.915	401.155	117	79	26.168	-	18	81	10
23	Rio de Janeiro	339.067.194.550	6.688.927	925	86.208	365.368	188	31	1030	105
24	Salvador	59.422.785.427	2.857.329	260	32.924	144.851	38	28	419	44
25	Santos	21.883.694.666	432.957	52	9.325	40.847	83	25	145	14
26	São Luís	28.630.194.384	1.094.667	283	12.065	68.361	19	17	209	25
27	São Paulo	694.951.155.538	12.176.866	950	264.406	1.242.165	321	33	3500	332
28	Teresina	19.466.590.654	861.442	220	12.289	66.568	14	18	211	27
29	Vitória	21.649.265.126	358.267	56	8.442	38.912	9	14	111	11

## 2.1. Estruturação do DEA

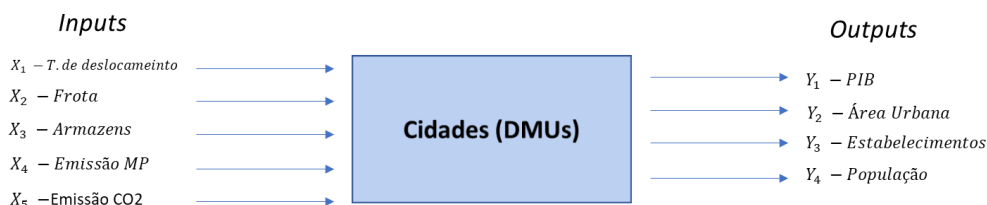
Para a estruturação do DEA foram analisados os diferentes modelos e considerando as características das diferentes cidades e suas variáveis logísticas. O modelo apresentado neste documento é o de *Output Orientado* e constitui-se de cinco *inputs* e quatro *outputs*:

- Eixo X- Como Variáveis de Entrada (*Input*), a Frota de Caminhões, o Tempo de

Deslocamento, o Número de Áreas de Armazenagem, as Emissões de CO<sub>2</sub> e MP.

- Eixo Y- Como Variáveis de Saída (*Output*) considera-se PIB, População, o Número de Estabelecimentos Geradores de Carga e a Área Urbana.

O modelo foi parametrizado para ter como *inputs*, os recursos utilizados e como *outputs*, as características da cidade e pode ser visualizado na Figura 2.



**Figura 2:** Ilustração da modelagem do problema

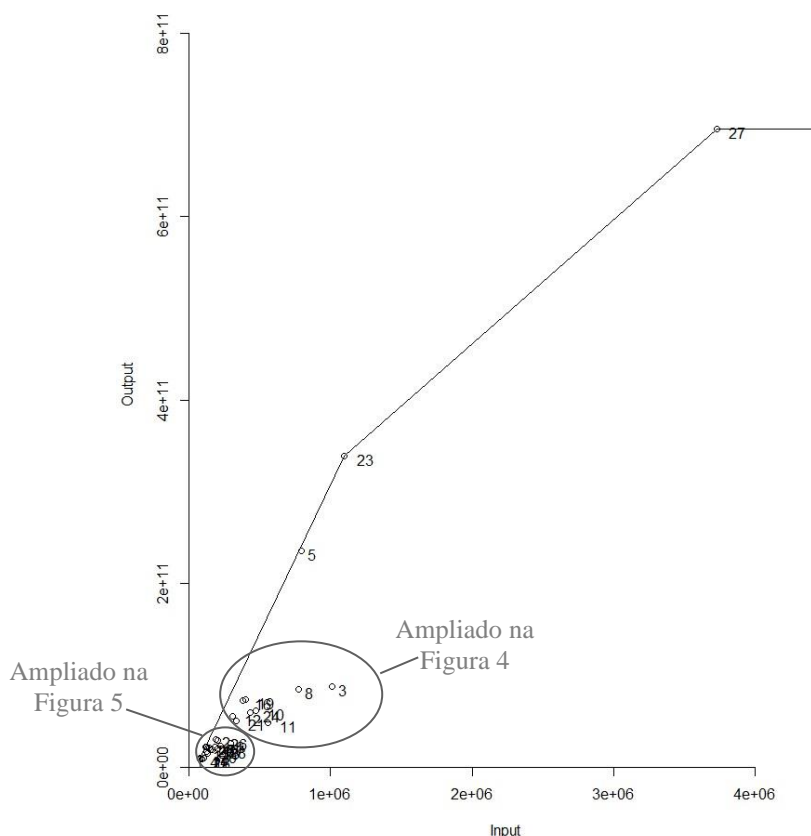
Dentro deste modelo, as cidades mais eficientes são as que, comparativamente com as outras cidades, possuem menos Frota, Áreas de Armazenagem, Tempo de Deslocamento e Emissões e possuem uma economia mais fortalecida, atendem a mais pessoas e estabelecimentos geradores de carga e abrangem maior área, ou seja, as cidades na Fronteira da Eficiência são as que possuem maior *Output* com o menor *Input*.

#### 2.1.1. Aspectos computacionais

Para este trabalho, foi utilizado o software *RStudio* criado por Joseph J Allaire no ano de 2011, programado em Java. C++ e JavaScript, o pacote usado foi *Benchmark and Frontier Analysis Using DEA and SFA*, criado pelo Pether Bogetofth e Lars Otto, o pacote analisa a fronteira, sob diferentes pressupostos de tecnologia (fdh. Vrs, drs, crs, irs, add / frh e fdh +), e usando diferentes medidas de eficiência (baseado em *input*, *output* gráfico hiperbólico, aditivo, super e eficiência direcional). Os métodos para representar graficamente os conjuntos de tecnologia também estão incluídos. Também há suporte a métodos comparativos baseados em análises de fronteira estocástica (SFA). Em geral, os métodos podem ser usados para resolver não apenas modelos padrão, mas também muitos outros modelos de variantes.

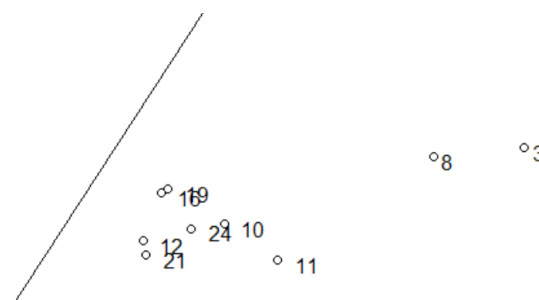
### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 3 apresenta o resultado geral do Modelo e as áreas que são ampliadas apresentadas nas Figuras 4 e 5, onde temos as cidades 5 (Brasília), 14 (Macapá), 23 (Rio de Janeiro), 27 (São Paulo) e 29 (Vitória) na Fronteira da Eficiência. Estas cidades se destacam por, comparativamente, terem os maiores valores de *outputs* para diferentes faixas de *inputs*. São Paulo é um *outlier* pela grandeza dos valores de suas variáveis de saída ao mesmo tempo que, comparativamente, utiliza poucos recursos na entrada. O mesmo ocorre com as outras quatro cidades, nas suas faixas de grandeza.



**Figura 3:** Modelo DEA aplicado nas eficiências de logística urbana nas cidades Brasileiras

Analisando as cidades 19 (Porto Alegre), 8 (Curitiba) e 3 (Belo Horizonte), nota-se que Porto Alegre é um pouco menor que as outras 2 na maioria das variáveis de saída, no entanto, a frota de Belo Horizonte e Curitiba são representativamente maiores, indicando que utilizam mais recursos para atender a suas cidades do que Porto Alegre. Na mesma faixa de cidades, a 12 (Guarulhos) e a 10 (Fortaleza) possuem PIB próximos, mas um dos recursos (inputs) de Fortaleza, a *Frota de Caminhões*, é quase 50% maior do que de Guarulhos, posicionando-a mais distante da Fronteira do que Guarulhos.

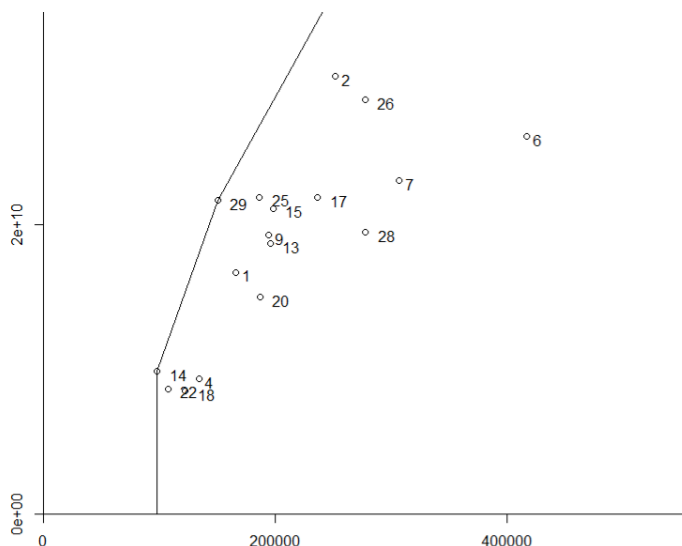


**Figura 4:** Modelo DEA aplicado nas eficiências de logística urbana nas cidades Brasileiras (Ampliado da Figura 3)

As cidades menores, representadas na Figura 5, seguem o mesmo padrão das maiores, sendo as que estão na Fronteira são as que possuem os maiores *outputs* com os menores *inputs*. Nota-se que há uma concentração de capitais brasileiras neste grupo e que as cidades na



Fronteira, 29 (Vitória) e 14 (Macapá), podem servir como modelo de estudo para as outras cidades de tamanho similar, de forma a avaliar se há oportunidades para melhorar seus próprios indicadores.



**Figura 5:** Modelo DEA aplicado nas eficiências de logística urbana nas cidades Brasileiras (Ampliado da Figura 3)

#### 4. CONCLUSÕES

O DEA, uma metodologia não paramétrica sistematizada, fornece uma perspectiva sistêmica e integrada para estudar, de forma comparativa, o desempenho das unidades de produção (variáveis) sob análise e tem sido utilizada para medir o desempenho de organizações em vários setores.

Neste trabalho, o DEA foi aplicado com o objetivo de analisar a eficiência da logística urbana através de variáveis obtidas a partir de pesquisa de dados secundários relacionados à logística urbana e às características das cidades, uma vez que poucos são os trabalhos que analisam a eficiência logística do ponto de vista da cidade e não da solução de logística urbana estudada.

A partir da aplicação do DEA, considerando o modelo de *output* orientado, os resultados obtidos apresentados nas Figuras 3, 4 e 5, mostram que as cidades na Fronteira da Eficiência são as que, comparativamente, apresentam maiores *outputs*: PIB, População, Número de Estabelecimentos Geradores de Carga e Área Urbana com as menores utilizações de recursos: Frota de Caminhões, Tempo de Deslocamento, Número de Áreas de Armazenagem, Emissões de CO<sub>2</sub> e MP.

Segundo Othman (2010), o DEA tem algumas limitações e em diferentes casos a análise DEA não é adequada para ser comparada com um máximo teórico. Algumas das desvantagens evidenciadas a partir da aplicação do modelo são questões relacionadas ao tamanho da amostra, onde um número maior de DMUs aumentará as chances de encontrar unidades próximas ao limite de produção. Em segundo lugar, o DEA não oferece um modelo de previsão do desempenho do conjunto de DMUs analisados e deve ser considerado, específico

para as amostragens usadas, o que significa que o modelo resultante é aplicável apenas a esses dados.

No caso desta modelagem apresentada, devido à falta de dados disponíveis, foram utilizados dados que melhor se aproximassem dos que seriam essenciais para comparar a eficiência da logística urbana nas cidades. A variável *Frota de Caminhões* não reflete a frota circulante na cidade, mas sim a registrada, sendo suscetível a grande variação entre o que realmente atende à cidade e o que foi registrada na mesma. Da mesma forma, os indicadores *Emissões de GEE* e *Emissões de MP*, como são calculadas com base na informação da *Frota de Caminhões*, também estão sujeitas à variação entre a frota circulante e registrada.

Apesar das limitações dos dados, como é utilizada a mesma base de comparação para todos, os resultados já fornecem indícios que podem ser explorados para avaliar a eficiência da logística urbana nas cidades, sendo que há oportunidades para próximos estudos de aperfeiçoar os indicadores apresentados e de incluir novos que melhorem o modelo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTT (2019) Idade Média dos Veículos, disponível em:  
[http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/20272/Idade\\_Media\\_dos\\_Veiculos.html](http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/20272/Idade_Media_dos_Veiculos.html). Acesso em 15/05/2019.
- Bray. S. Caggiani. L. e Ottomanelli. M. (2015) Measuring transport systems efficiency under uncertainty by fuzzy sets theory-based Data Envelopment Analysis: theoretical and practical comparison with traditional DEA model. *Transportation Research Procedia*, v. 5. p.186-200.
- Bogetoft e Otto 2018. Package 'Benchmarking'. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/Benchmarking/Benchmarking.pdf>. Acesso em 13/06/2016.
- Charnes. A. Cooper. W. W. e Rhodes. E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, v.2. n.6. p.429-444.
- Chen. Y. e Zhu. J. (2003). DEA models for identifying critical performance measures. *Annals of Operations Research*, v.124. p.225-244.
- Despotis. D. K. e Smirlis. Y. G. (2002) Data envelopment analysis with imprecise data. *European Journal of Operational Research*, v.140. n.1. p.24-36.
- DETRAN (2018). Frota de Veículos. Departamento Nacional de Transito. Disponível em:  
<http://www.denatran.gov.br/estatistica/237-frota-veiculos>. Acesso 13/06/2016.
- Do Castelo Gouveia, M., e Clímaco, I. (2018) Assessment of Fuel Tax Policies to Tackle Carbon Emissions from Road Transport—An Application of the Value-Based DEA Method Including Robustness Analysis. *In: Energy Management—Collective and Computational Intelligence with Theory and Applications*. Springer, Cham. p. 167-191
- Dos Santos. M. J. P. L. (2016) Smart cities and urban areas—Aquaponics as innovative urban agriculture. *Urban forestry & urban greening*, v.20. p. 402-406.
- EMBRAPA (2015) Metadados: Áreas Urbanas no Brasil em 2015. Disponível em:  
[http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas\\_urbanas\\_br\\_15/metadata\\_read](http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15/metadata_read). Acesso 13/06/2016.
- Hashimoto. A. (1997) A ranked voting system using a DEA/AR exclusion model: A note. *European Journal of Operational Research*, v.97. v.3. p.600-604.
- Holden. R. Xu. B. Greening. P. Piecyk. M. e Dadhich. P. (2016) Towards a common measure of greenhouse gas related logistics activity using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 91. p.105-119.
- Holguín-Veras, J. Sánchez-Díaz. I. e Browne. M. (2016) Sustainable urban freight systems and freight demand management. *Transportation Research Procedia*, v.12. p. 40-52.
- IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/>. Acesso 13/06/2016.
- Khushalani. J. e Ozcan. Y. A. (2017) Are hospitals producing quality care efficiently? An analysis using Dynamic Network Data Envelopment Analysis (DEA). *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 60. p.15-23.
- MMA (2014) 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013–

- Ano-base 2012: Relatório final. MMA. Brasília. DF. Brasil.
- Nold Hughes. P. A. e Edwards. M. E. (2000) Leviathan vs. Lilliputian: A Data Envelopment Analysis of government efficiency. *Journal of Regional Science*, v.40. n.4. p.649-669.
- Novaes. A. G. (2001). Rapid-transit efficiency analysis with the assurance-region DEA method. *Pesquisa Operacional*, v.21. n.2. p.179-197.
- Othman, M., Foo, L. Y., Karim, M. S. A., e Aziz, Y. A. (2010) Total factor productivity efficiency changes in a Malaysian hotel chain. *International Journal of Revenue Management*, v.4, p. 327-343.
- Paiva Junior. H. D. (2000). Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a abordagem integrada DEA/AHP. Teses de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.
- Rezaee. M. J. Izadbakhsh. H. e Yousefi. S. (2016) An improvement approach based on DEA-game theory for comparison of operational and spatial efficiencies in urban transportation systems. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v.20. p. 1526-1531.
- Shen. Y. e Hermans. E. (2017) Developing a sustainable urban mobility index: Methodological steps. *Emerging Trends in the Development and Application of Composite Indicators*. p. 20-37. IGI Global.
- Smirlis. Y. G. Despotis. D. K. Jablonsky. J. e Fiala. P. (2004) Identifying" best-buys" in the market of prepaid mobile telephony: An application of imprecise DEA. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v.3. n.01. p.167-177.
- Smirlis. Y. G. Zeimpekis. V. e Kaimakamis. G. (2012) Data envelopment analysis models to support the selection of vehicle routing software for city logistics operations. *Operational Research*, v.12. n.3. p.399-420.
- UN (2017). World Population Prospects 2017. United Nations. Disponível em:  
<https://population.un.org/wpp/Publications/>. Acesso 13/06/2016.
- WB (2019) Urban Development. World Bank. Disponível em:  
<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment>. Acesso 13/06/2016.

---

Selma Setsumi Isa (selma.isa@terra.com.br)  
Giset N. Montoya M ([g143402j@g.unicamp.br](mailto:g143402j@g.unicamp.br))  
Orlando Fontes Lima Jr. (oflimaj@fec.unicamp.br)  
Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes, LALT  
Faculdade de Engenharia Civil, FEC  
Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP  
R. Albert Einstein, 951, 3º Piso, Sala 2 - Campinas – SP  
Reinaldo Fioravanti (reinaldof@iadb.org)