

Área de Interesse: Economia Pernambucana

Título do Artigo: A Eficiência dos Bairros de Recife em Não Gerarem Acidentes de Tráfego com Vítimas

Autor: Bruno Toshio Ogava;

Graduando em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Pernambuco, bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET Economia), email: bruno\_ogava@hotmail.com; Rua São Sebastião, 60; Apartamento 901; Piedade, Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco; CEP: 54410-500; Telefone: (81) 99789-0865.

# A Eficiência dos Bairros de Recife em Não Gerarem Acidentes de Tráfego com Vítimas

## Resumo

O artigo tem como objetivo identificar e ordenar os bairros da cidade do Recife pelas suas eficiências em não gerarem acidentes de tráfego com vítimas. Para a obtenção das medidas de eficiência foi empregado o método DEA com orientação *input*, sendo considerados ambos os modelos de retornos constantes de escala e retornos variáveis de escala. Os *inputs* escolhidos foram o número de semáforos e o número de equipamentos de monitoramento e fiscalização de trânsito, enquanto os *outputs* escolhidos foram o inverso do número de acidentes de tráfego com vítimas, o número de habitantes e o inverso da distância do centróide do polígono até o centro de negócios, todos referentes ao bairro considerado. Os resultados apontam 5 e 11 DMUs eficientes, mas apenas 3 e 4 usadas como *benchmark* nos modelos CRS e VRS, respectivamente. 6 e 3 DMUs apresentaram desempenho inferior a 0,35 nos modelos CRS e VRS, respectivamente.

**Palavras chaves:** Acidentes de tráfego; Análise Envoltória de Dados; Eficiência; Recife.

## Abstract

The article identifies and sorts the neighborhoods of Recife by their efficiencies in preventing traffic accidents with victims. The DEA method was used to obtain efficiency measures with input orientation, using both constant and variable returns to scale. The inputs chosen were the quantity of traffic lights and traffic monitoring equipment, while the outputs chosen were the inverse of the quantity of traffic accidents with victims, of the inhabitants and the inverse distance of the polygon centroid to the business center - all of these referring to the considered neighborhood. The results show 5 and 11 efficient DMUs, but only 3 and 4 used as benchmark in CRS and VRS models respectively. 6 and 3 DMUs presented lower performance to 0.35 in CRS and VRS models respectively.

**Key-words:** Traffic accidents; Data Envelopment Analysis; Efficiency; Recife.

JEL: R420

## 1 Introdução

As condições de mobilidade e os fatores que as influenciam sempre foram um tópico recorrente na literatura de Economia Urbana, com o tempo de deslocamento casa-trabalho (*commuting*) recebendo especial destaque. Entretanto, existem outros produtos resultantes do sistema de tráfego que são igualmente não desejáveis e costumemente desconsiderados.

Mayeres, Ochelen e Proost (1996) lista seis custos marginais sociais associados ao transporte viário, sendo eles: custos associados a recursos privados; custos de tempo; acidentes; poluição do ar; mudanças climáticas; e barulho. Tais custos são considerados externalidades por serem impostos a terceiros e por não serem contabilizados pelo mercado, tão logo os reduzir implica em também reduzir ineficiências sociais.

Desses custos sociais, os acidentes merecem especial destaque pelo caráter letal que podem assumir, resultando em perdas incalculáveis para os entes próximos a vítima. Por isso é necessário esforço para a redução dos mesmos, mas dada a escassez de recursos públicos é preciso priorizar áreas problemáticas e resolver o problema de forma mais incisiva.

O presente artigo busca identificar e ordenar os bairros da cidade do Recife pelas suas eficiências em não gerarem acidentes de tráfego com vítimas. Para isso trata a estrutura de prevenção de acidentes como uma função de produção, na qual semáforos e equipamentos de monitoramento e fiscalização de tráfego são usados para reduzir o número de acidentes. O método de mensuração de eficiência utilizado foi a Análise Envoltória de Dados, uma vez que não há forma matemática definida da função de produção de interesse. O número de habitantes do bairro e a distância do centróide do mesmo até o centro de negócios foram usados como controles.

Este trabalho está organizado em mais quatro seções, além desta introdução. A Seção 2 o método de Análise Envoltória de Dados é apresentado e discutido. Na Seção 3 são discutidos os *inputs* e *outputs* utilizados, além da descrição dos dados referentes aos mesmos. A Seção 4 apresenta e discute os resultados, e na Seção 5 são apresentadas as conclusões.

## 2 Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (em inglês conhecida como Data Envelopment Analysis ou DEA) é uma técnica de programação linear, a qual pode ser utilizada para analisar a eficiência relativa de unidades tomadoras de decisão (Decision Making Unit - DMU). Sendo esta uma técnica de análise não paramétrica, nos permite comparar a combinação de insumos (*input*) e produtos (*outputs*) de uma dada DMU com a combinação de insumos e produtos de outra DMU de referência (*benchmark*), assim é possível medir a eficiência relativa da DMU em questão.

Farrell (1957) desenvolveu uma medida de eficiência que veio a dar origem ao método. Este trabalho cunhou o termo eficiência alocativa ao mensurar as eficiências relativas das DMUs no caso onde há apenas um *input* e um *output*. Tais avaliações de eficiência podem considerar duas orientações, uma na qual a DMU busca reduzir o volume do insumo utilizado dado um certo nível de produção, denominada "orientação insumo"; e outra na qual a DMU busca aumentar a quantidade produzida dado o nível de insumo utilizado, denominada "orientação produto".

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) deram continuação aos estudos sobre eficiência alocativa ao desenvolver o método DEA. Assumindo retornos constantes de escala, os autores generalizaram a medida de eficiência proposta por Farrell (1957) para o caso onde há mais de um *input* e/ou mais de um *output*, aumentando consideravelmente a aplicabilidade e robustez do método.

Banker, Charnes e Cooper (1984) aprimoraram o método desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) para o caso onde há retornos variáveis de escala. Os autores decomposeram a medida de eficiência para retornos constantes de escala em

duas outras medidas, uma referente a eficiência técnica e outra referente a eficiência de escala. A relação entre essas é dada por:

$$\theta_{CRS} = \theta_{VRS} * ES \quad (1)$$

Onde  $\theta_{CRS}$  é a eficiência relativa dada pelo modelo que assume retornos constantes de escala;  $\theta_{VRS}$  é a medida de eficiência técnica; e  $ES$  é o fator referente a escala de produção. Portanto, se o fator de escala for estatisticamente igual a 1, teremos uma igualdade entre as eficiências dadas pelos dois modelos e podemos assumir retornos constantes de escala.

O conceito básico por trás da Análise Envoltória de Dados é criar uma DMU virtual para cada DMU real para então comparar ambas. Esta DMU virtual gera mais *outputs* para uma mesma quantidade de *inputs* dada ou utiliza menos *inputs* para produzir uma quantidade de *outputs* dada, a depender da orientação considerada. Matematicamente, a DMU virtual é uma combinação convexa de outras DMUs reais, sendo essas consideradas as *benchmarks*.

As medidas de eficiência calculadas pelo método DEA seguem o conceito de eficiência de Pareto-Koopmans, onde uma DMU é eficiente se, e somente se, nenhum *input* pode ser reduzido sem que algum *output* também seja reduzido, ou que algum outro *input* seja aumentado; ou que nenhum dos *outputs* pode ser aumentado sem que algum *input* seja aumentado, ou que algum outro *output* seja reduzido.

DEA é uma técnica determinística de análise alternativa a análise de regressão. Em relação a essa, DEA apresenta a vantagem de não ser necessário assumir uma forma funcional para a função de produção, também não é necessário fazer nenhuma suposição sobre a distribuição das variáveis. Em contrapartida, por ser um método não-paramétrico, há uma grande limitação quanto a realização de testes estatísticos para os resultados encontrados.

### 3 Modelo

Como o objetivo do presente artigo é mensurar a eficiência dos bairros de Recife em não gerarem acidentes, então parece natural que as DMUs utilizadas sejam os bairros da cidade do Recife para os quais existem observações para todas as variáveis de *inputs* e *outputs*. A Figura 1 mostra os bairros elegíveis como DMUs sobre a cidade do Recife. Ao todo foram utilizados 27 bairros, os quais se concentram nas zonas sul e central da cidade. Todos os bairros utilizados foram classificados pelo Censo Demográfico 2010 como integrantes da zona urbana.

A orientação escolhida para o modelo DEA foi a orientação *input*, pois os fatores usados para prevenir acidentes são alocativamente controláveis, em contrapartida os acidentes surgem como consequência do sistema de tráfego, não sendo diretamente controláveis.

Os *inputs* e *outputs* escolhidos estão listados abaixo, estando a descrição e justificativa para a escolha dos mesmos nas subseções que seguem.

#### **Inputs:**

- Número de semáforos no bairro;
- Número de equipamentos de monitoramento e fiscalização de trânsito no bairro;

#### **Outputs:**

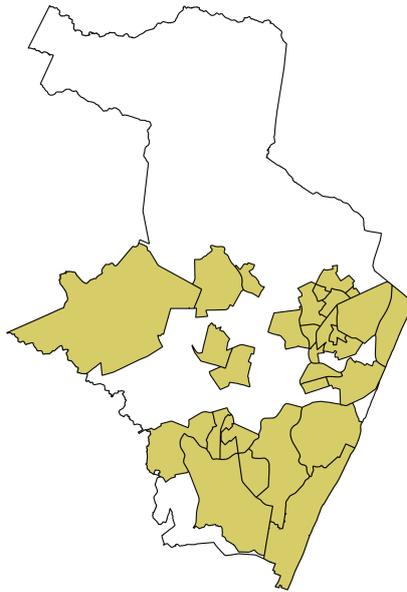


Figura 1: DMUs

- Inverso do número de acidentes de trânsito com vítimas ocorridos no bairro;
- Número de habitantes do bairro;
- Inverso da distância do centróide do polígono do bairro até o centro urbano.

### 3.1 Número de semáforos no bairro

O número de semáforos foi escolhido como *input* porque são uma forma de sinalização luminosa utilizada para controle de tráfego, portanto é sensato inferir que estes têm papel fundamental na redução de acidentes de trânsito. Além disso, semáforos geralmente são acompanhados por uma faixa de pedestres, organizando o fluxo de pedestres que atrevessem a rua ou avenida na qual o aparelho está instalado, corroborando para a redução de acidentes.

Os dados foram fornecidos pela Companhia de Trânsito e Transporte Urbano (CTTU) e referem-se ao ano de 2015. Embora existam especificações quanto as características, todos os aparelhos foram considerados de forma homogênea.

A Figura 2 mostra a distribuição de semáforos pelos bairros considerados.

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas dos dados.

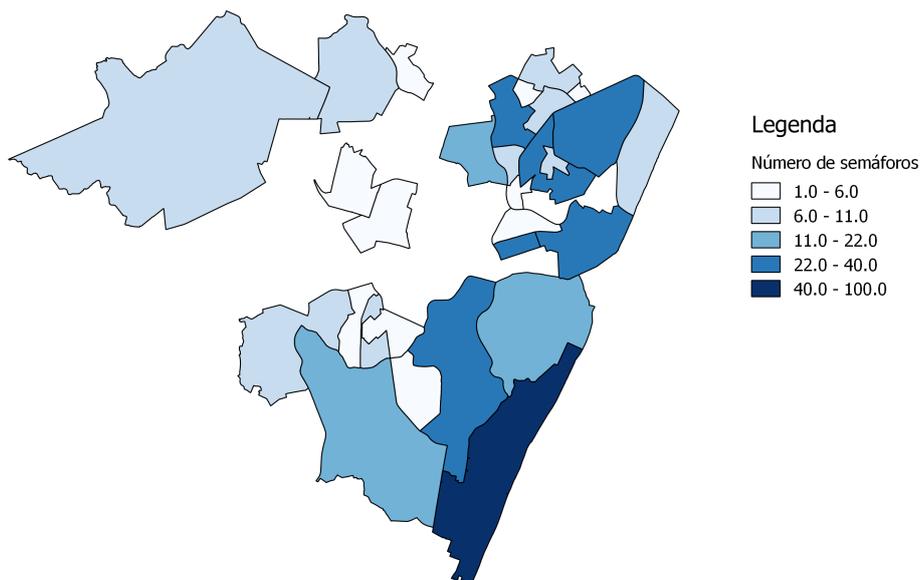


Figura 2: Número de semáforos por bairro

<b>Variable</b>	<b>Mean</b>	<b>Std. Dev.</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
Semáforos	15.815	19.801	1	100

Tabela 1: Número de semáforos por bairro

### 3.2 Número de equipamentos de monitoramento e fiscalização de trânsito no bairro

O trabalho de Golob e Recker (2003) mostra, segundo evidências, que há influência da velocidade de tráfego sobre os acidentes ocorridos, embora tal influência seja menor do que a provocada pelo volume de tráfego. Portanto, o controle da velocidade das vias é relevante para a redução do número de acidentes ocorridos.

Para manter o controle da velocidade das vias são utilizados equipamentos de monitoramento e fiscalização de trânsito, por isso o número de tais equipamentos no bairro é considerado um *input*.

Os dados foram fornecidos pela Companhia de Trânsito e Transporte Urbano e referem-se ao ano de 2015. Não foi feita nenhuma distinção quanto ao tipo de equipamento, uma vez que todos têm papel semelhante no controle de tráfego, apesar de realizarem tarefas distintas. Foram considerados como equipamentos lombadas eletrônicas, fiscais eletrônicos, DEV, totens e lincês. Câmeras de monitoramento não foram consideradas.

A Figura 3 mostra a distribuição de equipamentos de monitoramento e fiscalização de trânsito pelos bairros considerados.

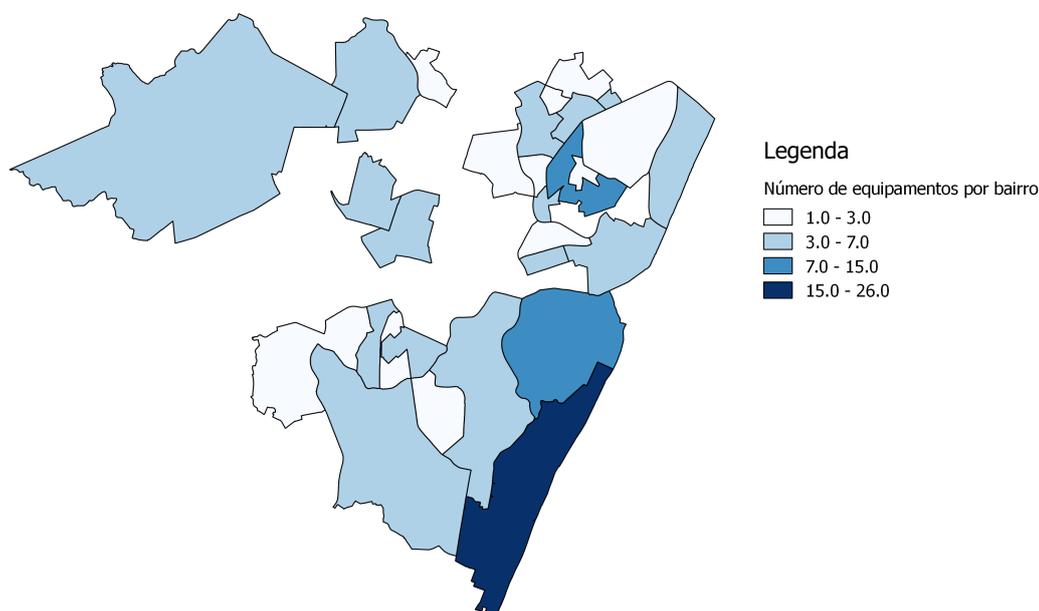


Figura 3: Número de equipamentos por bairro

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas dos dados.

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Equipamentos	5.111	5.147	1	26

Tabela 2: Número de equipamentos por bairro

### 3.3 Inverso do número de acidentes de trânsito com vítimas ocorridos no bairro

Como não existem dados do número de acidentes de trânsito que deixaram de ocorrer por conta da presença de semáforos e equipamentos de monitoramento e fiscalização é necessário fazer uso de uma variável *proxy*. Portanto, os dados utilizados são referentes ao número de acidentes de trânsito com vítimas que ocorreram no bairro.

Por se tratar de um *output*, calculou-se o inverso do número de acidentes para que o valor tivesse sentido lógico. Assim, quanto maior o número de acidentes ocorridos no bairro, se torna mais difícil para a DMU ser considerada eficiente.

Os dados foram fornecidos pela Companhia de Trânsito e Transporte Urbano e referem-se ao ano de 2015. Não foi feita nenhuma distinção quanto ao tipo de veículo envolvido ou quanto ao número de vítimas. O acidente foi considerado apenas como ocorrência.

A Figura 4 mostra a distribuição de acidentes de trânsito com vítimas pelos bairros considerados.

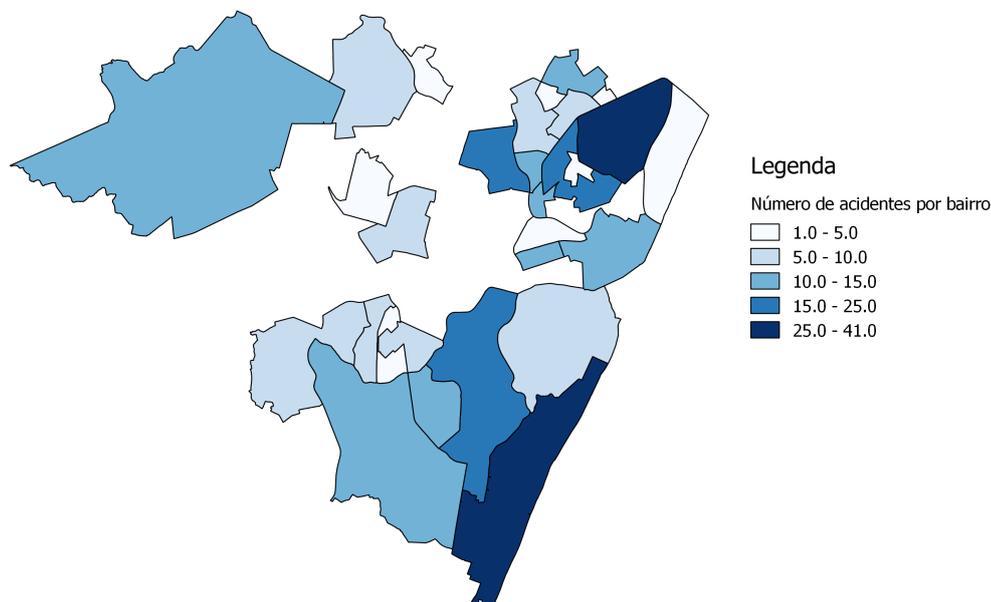


Figura 4: Número de acidentes por bairro

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos dados referentes ao inverso do número de acidentes de trânsito com vítimas ocorridos em cada bairro.

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Inv Acidentes	0.211	0.266	0.024	1

Tabela 3: Inverso do número de acidentes

### 3.4 Número de habitantes do bairro

Graham e Glaister (2003) evidenciaram uma relação positiva entre o número de pedestres vítimas de acidentes e a densidade urbana, embora tal trabalho tenha considerado as variáveis em nível cidades, não parece absurdo supor que tal relação também exista a um nível de agregação abaixo.

Outro trabalho a apontar densidade populacional como variável influente sobre as condições de tráfego foi Barbosa e Neto (). Mais especificamente, o estudo mostrou que existe relação entre a densidade populacional e o tempo de deslocamento casa-trabalho (*commuting*) e foi feito com base na Região Metropolitana do Recife.

Golob e Recker (2003) também mostraram que existe relação positiva entre os acidentes de tráfego e o volume de veículos, sendo esta mais significativa que a relação entre acidentes e velocidade de tráfego.

O número de habitantes de cada bairro foi escolhido como variável para o modelo DEA por servir de *proxy* tanto para a densidade populacional, quanto para o volume de veículos, uma vez que quantos mais habitantes um bairro tem, maior deve ser o número de pessoas se deslocando por ele e portanto expostas a acidentes de tráfego. Essa variável foi utilizada como *output* por não ser diretamente controlável.

Os dados foram extraídos do Censo Demográfico 2010.

A Figura 5 mostra a distribuição do número de habitantes dos bairros considerados.

A Tabela 4 apresenta as estatísticas descritivas dos dados referentes ao número de habitantes de cada bairro.

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Habitantes	25026.926	26656.951	507	122922

Tabela 4: Número de habitantes do bairro

### 3.5 Inverso da distância do centróide do polígono do bairro até o centro de negócios

Como pode ser visto em Brueckner (2011), a distância até o centro de negócios é um dos determinantes para as condições de tráfego numa cidade que segue o modelo monocêntrico de crescimento. Tal fenômeno ocorre porque quanto mais próxima do centro de negócios uma área de ponderação está, maior deve ser o número de veículos que passam por ela, visto que a mesma serve de acesso para este mesmo centro de negócios. Tão logo essa medida também serve de *proxy* para o volume de veículos.

O uso de outra variável *proxy* para o número de veículos foi necessário pelo fato do número de habitantes por bairro não funcionar tão bem para os bairros cujo uso da terra é voltado principalmente para negócios, de modo a terem poucos habitantes, embora um grande número de veículos passe por eles. Tal problema fica evidente quando se olha para a DMU referente ao bairro do Recife, pelo qual passa diariamente um grande número de veículos, porém nele residem apenas 602 habitantes.

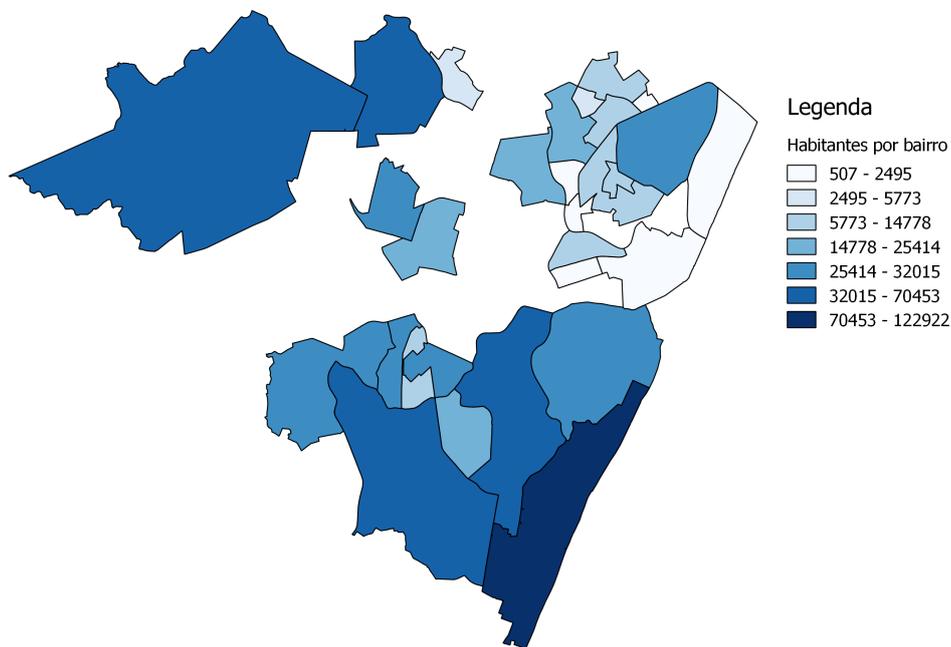


Figura 5: Número de habitantes do bairro

A distância considerada foi a do centróide (também conhecido como centro de massa) do polígono referente ao bairro até o epicentro de negócios da cidade do Recife, sendo este o Marco Zero (Praça Rio Branco). Tal distância foi medida em graus, a mesma unidade de medida usada para coordenadas geográficas, sendo obtidas através da malha digital usada pelo Censo Demográfico 2010.

A escolha do Marco Zero como epicentro de negócios foi feita segundo Barbosa e Neto (2016) e Seabra, Neto e Menezes (2016). Para esse último:

Além dos aspectos históricos, evidências empíricas corroboram com a escolha do Marco Zero (Praça Rio Branco) como epicentro comercial. A RPA 1, região político-administrativa onde fica localizado o Marco Zero, figura como a região economicamente mais importante do Recife tanto em função da presença do centro administrativo municipal e estadual, representados respectivamente pela PCR e pelo Palácio do Governo, quanto por causa da concentração de empresas dos setores de saúde, bancário e de tecnologia.

Por se tratar de um *output*, calculou-se o inverso da distância do centróide do polígono do bairro até o Marco Zero. Assim, quanto mais distante do epicentro de negócios, se torna mais difícil para a DMU ser considerada eficiente.

A Figura 6 mostra as localizações dos centróides dos polígonos dos bairros considerados e a localização do Marco Zero.

A Tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas dos dados referentes ao inverso da distância do centróide do polígono do bairro até o Marco Zero. Vale ressaltar que, dada

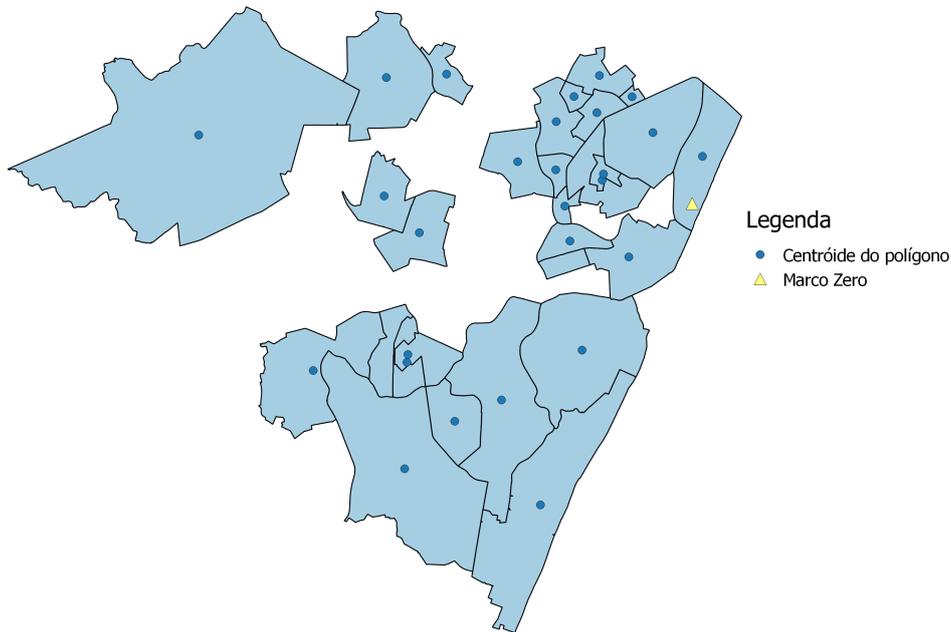


Figura 6: Centróides e Marco Zero

a escala geográfica e a unidade de medida, o valor de tais distâncias se encontra dentro do intervalo  $[0,1]$ , logo o valor de seu inverso é maior que um.

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Inv Distância	29.765	19.65	9.438	96.732

Tabela 5: Inverso da distância

## 4 Resultados

Não há intuição clara quanto a natureza dos retornos de escala do processo produtivo abordado no presente artigo. Logo, foram calculadas as medidas de eficiência sob as hipóteses de retornos constantes de escala e retornos variáveis de escala.

### 4.1 Eficiência com retornos constantes de escala (CRS)

O modelo que assume retornos constantes de escala trata a função de produção como homogênea de grau 1. Isto é, ao se realizar um aumento proporcional em todos os *inputs*, deve acontecer um aumento nas mesmas proporções para cada *output*. Matematicamente, tal hipótese é escrita como:

$$f(\lambda x_1, \lambda x_2) = \lambda f(x_1, x_2) \quad (2)$$

Onde  $f$  é a função de produção e  $x_1$  e  $x_2$  são os *inputs* utilizados.

A Figura 7 mostra a distribuição espacial dos coeficientes de eficiência, enquanto a Tabela 6 contém as estatísticas descritivas para os mesmos.

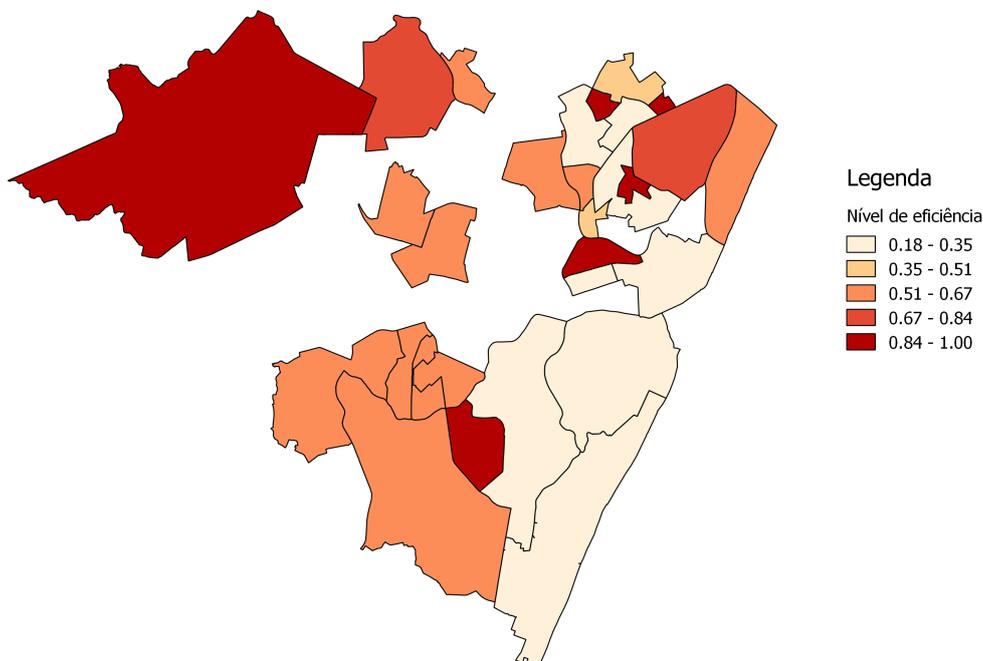


Figura 7: Eficiência com retornos constantes de escala

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
$\theta_{CRS}$	0.59	0.269	0.182	1

Tabela 6: Eficiência com retornos constantes de escala

As DMUs que se revelaram eficientes sob tal hipótese ( $\theta_{CRS} = 1$ ) foram as referentes aos bairros: Ipsep, Ilha Joana Bezerra, Torreão, Aflitos e Várzea. Entre estas DMUs, as que não serviram como *benchmark* para nenhuma outra foram as referentes aos bairros de Torreão e Aflitos, logo só aparecem como eficientes por estarem na parte da fronteira de eficiência que é paralela a um dos eixos dos *inputs* e *outputs*.

Ipsep, Ilha de Joana Bezerra e Várzea serviram como *benchmark* para 19, 7 e 19 DMUs, respectivamente. Portanto, são essas três DMUs que servem como referência para a não-produção de acidentes de trânsito com vítimas.

As DMUs que se destacaram por péssimo desempenho foram as referentes aos bairros: Pina, Boa Vista, Espinheiro, Boa Viagem, São José, Imbiribeira e Graças. Todas essas sete DMUs apresentaram  $\theta_{CRS}$  menor que 0,35<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Valor de uma das quebras naturais dos dados. Valores menores que esse são indicados na Figura 7 pela cor mais clara

## 4.2 Eficiência com retornos variáveis de escala (VRS)

Como a Equação 1 evidencia, no modelo com retornos variáveis de escala, o grau de eficiência do modelo com retornos constantes de escala é decomposto como produto entre o grau de eficiência técnica e o fator de escala. Como, neste caso, o nível de produção é fortemente determinado por fatores não controláveis, o coeficiente de maior interesse é o da eficiência técnica.

### 4.2.1 Eficiência técnica

A Figura 8 mostra a distribuição espacial dos coeficientes de eficiência técnica, enquanto a Tabela 7 contém as estatísticas descritivas para os mesmos.

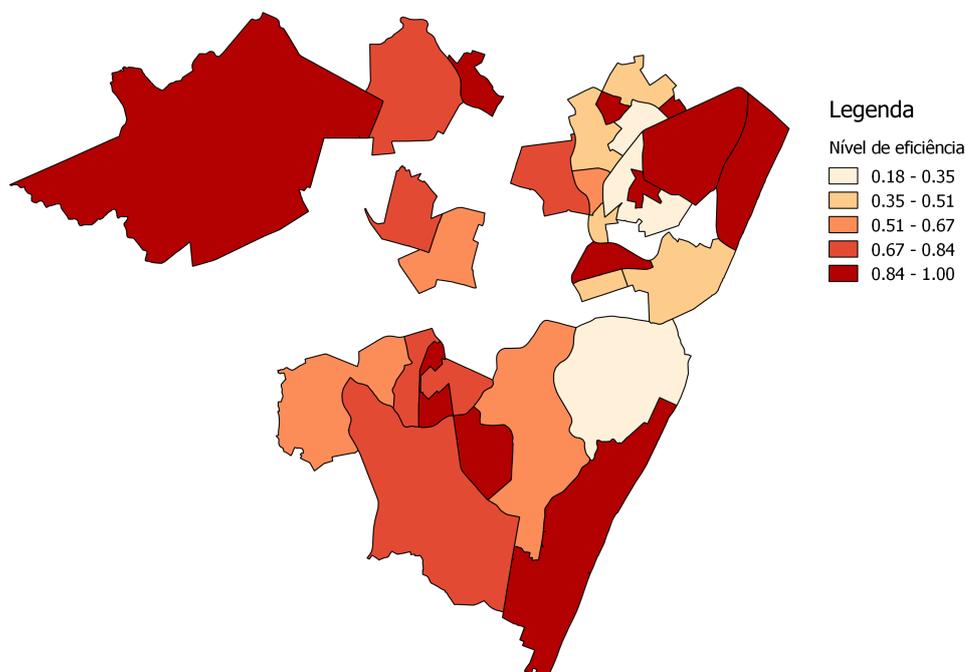


Figura 8: Eficiência técnica com retornos variáveis de escala

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
$\theta_{VRS}$	0.721	0.276	0.186	1

Tabela 7: Eficiência técnica com retornos variáveis de escala

Ao todo 11 DMUs se revelaram eficientes sob a hipótese de retornos variáveis de escala ( $\theta_{VRS} = 1$ ). As DMUs eficientes foram as mesmas que apresentaram  $\theta_{CRS} = 1$ , além das referentes aos bairros: Caçote, Poço, Santo Amaro, Boa Viagem, Recife e Soledade. Entre estas DMUs, as que não serviram como *benchmark* para nenhuma outra foram as referentes aos bairros de Torreão, Aflitos, Caçote, Poço, Santo Amaro,

Recife e Soledade, logo não são ideais para a realização de uma análise mais profunda, já que sua eficiência não necessariamente se deve a capacidade alocativa das mesmas.

Neste modelo apenas três DMUs apresentarem péssimo desempenho ( $\theta_{VRS} \leq 0,35$ )<sup>2</sup>, sendo estas as DMUs referentes aos bairros: Pina, Boa Vista e Espinheiro.

A média do coeficiente de eficiência técnica para retornos variáveis de escala é cerca de 0,13 maior do que a média do coeficiente de eficiência no modelo com retornos constantes de escala, com o desvio padrão tendo se mantido praticamente o mesmo. Os resultados atentam para a importância da hipótese de retornos de escala considerada, visto que as DMUs apresentam desempenho significativamente melhor no segundo modelo.

Quando  $\theta_{CRS}$  e  $\theta_{VRS}$  são confrontados, o caso mais emblemático é o de Boa Viagem. A DMU apresenta um péssimo desempenho se forem considerados retornos constantes de escala, porém aparece como uma das DMUs eficientes no outro caso (a diferença entre  $\theta_{VRS}^{BV}$  e  $\theta_{CRS}^{BV}$  é de aproximadamente 0,76). O desempenho dessa é, então, fortemente influenciado pelo fator de escala. A importância desse é melhor abordada a seguir.

#### 4.2.2 Fator de escala

Uma vez que a função de produção não seja homogênea de grau 1, o nível de produção passa também a influenciar a eficiência de uma DMU. Mesmo a DMU alocando seus recursos de forma eficiente, essa poderia estar em situação melhor caso optasse por produzir em nível maior ou menor, a depender se está em situação de ganhos crescentes de escala ou ganhos decrescentes de escala. Usamos o coeficiente do fator de escala para medir o quanto a eficiência é influenciada pelo nível de produção, onde um valor igual a 1 indica que a DMU está operando sob retornos constantes (nível eficiente) e valores menores que 1 significam operação em nível ineficiente.

A Figura 9 mostra a distribuição espacial dos coeficientes do fator de escala, enquanto a Tabela 8 contém as estatísticas descritivas para os mesmos.

Variable	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Escala	0.825	0.187	0.24	1

Tabela 8: Fator de escala

Assumindo a hipótese de retornos variáveis de escala: cinco DMUs operam com retornos constantes, sendo aquelas que apresentaram  $\theta_{CRS} = 1$  e  $\theta_{VRS} = 1$ ; treze DMUs operam com retornos crescentes; e nove DMUs operam com retornos decrescentes.

Como a média do coeficiente do fator de escala é razoavelmente alta e o desvio padrão não é elevado, é possível supor que grande parte das DMUs estão operando próximas ao nível ótimo de produção. De fato, dois terços das DMUs apresentam fator de escala superior a 0,84<sup>3</sup>.

Com  $Escala = 0,240299$ , a DMU referente ao bairro de Boa Viagem é a com produção mais distante do nível ótimo, estando na região de retornos decrescentes de escala. Esse resultado não é surpreendente, uma vez que essa apresenta 2,5 vezes a quantidade

<sup>2</sup>Valor de uma das quebras naturais dos dados. Valores menores que esse são indicados na Figura 8 pela cor mais clara

<sup>3</sup>Valor de uma das quebras naturais dos dados. Valores maiores que esse são indicados na Figura 9 pela cor mais escura

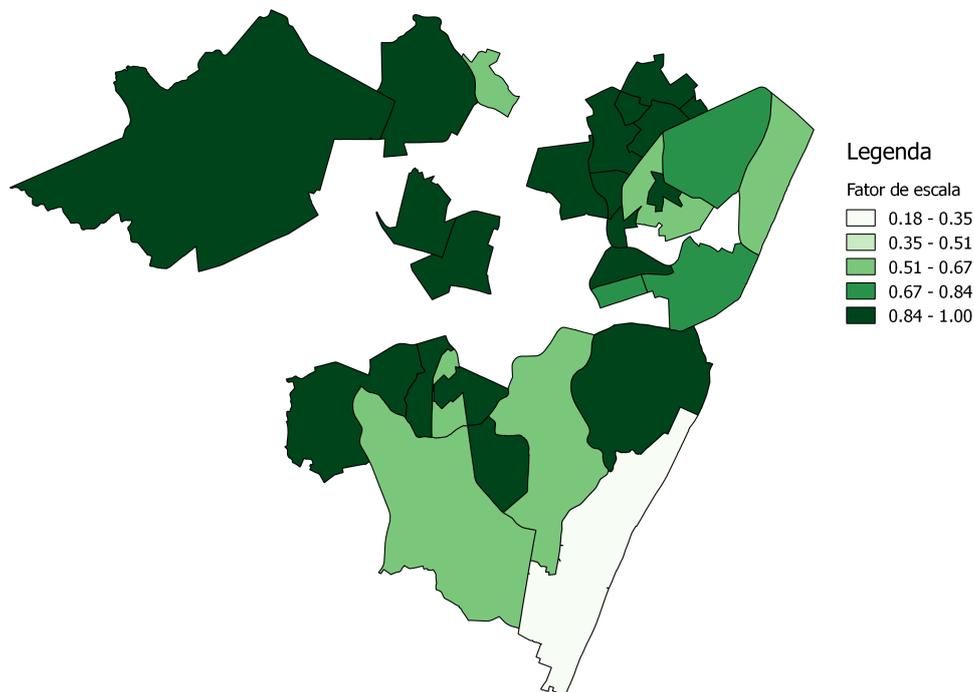


Figura 9: Fator de escala

de semáforos, 1,73 vezes a quantidade de equipamentos de monitoramento e fiscalização de trânsito e 1,74 vezes a quantidade de habitantes das respectivas segundas colocadas em tais quantidades. Portanto, embora Boa Viagem aloque seus *inputs* de forma eficiente, ela é fortemente prejudicada pelo nível de produção, o qual assumimos que as DMUs são incapazes de escolher.

## 5 Considerações Finais

O presente trabalho procurou mensurar e ordenar as eficiências dos bairros da cidade do Recife em não gerarem acidentes de trânsito com vítimas. Ao todo foram considerados 27 bairros, os quais juntos totalizaram 315 acidentes de trânsito com vítimas no ano de 2015 e continham 427 semáforos e 138 equipamentos de monitoramento e fiscalização de trânsito, no mesmo ano.

Utilizou-se o método DEA pela não necessidade de se especificar uma forma matemática para a função de produção tratada. Por causa do caráter não controlável dos *outputs* foi empregada a orientação *input*. Tanto o modelo com retornos constantes de escala quanto o modelo com retornos variáveis de escala foram considerados.

Os resultados obtidos apontam que os bairros Ipsep, Ilha Joana Bezerra e Várzea são eficientes e servem como referência nos dois modelos considerados, enquanto Boa Viagem é eficiente e serve como referência apenas no modelo com retornos variáveis de escala. Em contrapartida, os bairros Pina, Boa Vista e Espinheiro apresentaram péssimo nível de eficiência em ambos os modelos, enquanto Boa Viagem, São José, Im-

biribeira e Graças apresentaram péssimo desempenho apenas no modelo com retornos constantes de escala.

O caso discrepante de Boa Viagem revela o grande impacto que o fator de escala pode ter sobre o coeficiente de eficiência calculado, fazendo uma DMU que apresentou péssimo desempenho num modelo ser considerada eficiente no outro. De fato, as DMUs apresentaram nível de eficiência, em média, 0,13 maior no cenário com retornos variáveis de escala, embora não tenha ocorrido variação considerável no desvio padrão.

Não foi possível observar nenhum padrão de distribuição espacial nos *inputs, outputs* ou nas medidas de eficiência calculadas, mesmo com o inverso da distância ao centro de negócios tendo sido aplicado como controle.

## Referências

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, INFORMS, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.

BARBOSA, M. R. de M.; NETO, R. d. M. S. Condicionantes da mobilidade urbana: Uma análise empírica para a região metropolitana do recife.

BARBOSA, M. R. de M.; NETO, R. D. M. S. *Adensamento Urbano como Condicionante da Mobilidade nos Centros Urbanos Brasileiros: O Caso da Região Metropolitana do Recife*. [S.l.], 2016.

BRUECKNER, J. K. *Lectures on urban economics*. [S.l.]: MIT Press, 2011.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, JSTOR, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.

GOLOB, T. F.; RECKER, W. W. Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather, and lighting conditions. *Journal of transportation engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 129, n. 4, p. 342–353, 2003.

GRAHAM, D. J.; GLAISTER, S. Spatial variation in road pedestrian casualties: the role of urban scale, density and land-use mix. *Urban Studies*, SAGE Publications, v. 40, n. 8, p. 1591–1607, 2003.

MAYERES, I.; OCHELEN, S.; PROOST, S. The marginal external costs of urban transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Elsevier, v. 1, n. 2, p. 111–130, 1996.

SEABRA, D. M. da S.; NETO, R. d. M. S.; MENEZES, T. A. de. Amenidades urbanas e valor das residências: uma análise empírica para a cidade do recife. *Economia Aplicada*, v. 20, n. 1, p. 143–169, 2016.