

## O IMPACTO DO CUSTO MONETÁRIO DOS DESLOCAMENTOS SOBRE A EQUIDADE DA ACESSIBILIDADE AO EMPREGO POR TRANSPORTE PÚBLICO NO RIO DE JANEIRO

**Daniel Herszenhut**

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ  
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA

**Rafael Henrique Moraes Pereira**

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA

**Licínio da Silva Portugal**

**Matheus Henrique de Sousa Oliveira**

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

### RESUMO

Estimativas de acessibilidade frequentemente se baseiam em medidas que utilizam apenas o tempo de viagem como fator de impedância dos deslocamentos, desprezando outros fatores que também restringem a capacidade de locomoção de indivíduos, como o preço das viagens. Este trabalho analisa o caso da cidade do Rio de Janeiro para ilustrar como a incorporação do custo monetário ao fator de impedância de uma medida de oportunidades cumulativas impacta a análise de equidade da distribuição espacial da acessibilidade ao emprego por transporte público. A fim de estimar desigualdades socioespaciais no acesso a empregos, foram calculadas matrizes de viagem porta-a-porta em alta resolução espacial e consideradas simultaneamente diferentes restrições de tempo e custo monetário das viagens. Observou-se que quanto maior a restrição orçamentária, maior a discrepância de acessibilidade entre os mais ricos e mais pobres. O estudo mostra que análises de transporte e equidade que não consideram os custos monetários das viagens tendem a subestimar a desigualdade no acesso a oportunidades de emprego.

### ABSTRACT

Accessibility estimates are often based on measures that only take into account travel time impedance, ignoring other factors that hinder the access of individuals to activities, such as trip monetary cost. This paper examines how and to what extent incorporating monetary cost in a cumulative opportunity measure impacts transportation equity analysis, looking at transit job accessibility in the city of Rio de Janeiro. In order to estimate socio-spatial job accessibility inequalities, high spatial resolution door-to-door travel matrixes have been calculated under different travel time and monetary cost thresholds. It has been found that considering tighter monetary constraints reveal larger accessibility gaps between the richest and the poorest income groups. The study shows how transport equity analysis that overlook the monetary cost of transit trips tend to underestimate social and spatial inequalities in access to opportunities.

### 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o número de trabalhos que utiliza a acessibilidade como ferramenta de análise de políticas de transportes vem crescendo. Esses estudos buscam avaliar de que forma essas políticas impactam áreas e grupos sociais distintos (Lucas *et al.*, 2016), motivados pelos entendimentos de que maiores níveis de acessibilidade estão relacionados a maiores potenciais de realização e satisfação pessoal (Martens, 2012) e de que políticas de transportes devem, entre outras coisas, conferir níveis mínimos de acessibilidade a determinados destinos, priorizar grupos em desvantagem e reduzir desigualdades no acesso a oportunidades (Pereira *et al.*, 2017). A estimativa do nível de acesso a oportunidades de indivíduos em uma região é feita através de medidas de acessibilidade, que permitem avaliar o impacto tanto do sistema de transportes quanto do uso solo sobre a capacidade de acesso da população a atividades (Geurs e van Wee, 2004). Por ser de simples interpretação, comunicação e operacionalização, a medida mais frequentemente utilizada é a de oportunidades cumulativas, na qual soma-se o número de oportunidades alcançáveis por deslocamentos de custo menor ou igual a um valor limite previamente estabelecido (El-Geneidy *et al.*, 2016; Geurs e van Wee, 2004).

Este custo é tipicamente representado somente pelo tempo de viagem (Venter, 2016), ainda que este seja apenas um dos fatores que limita a capacidade de acesso de indivíduos a atividades. Notavelmente, o custo monetário dos deslocamentos também impede que pessoas alcancem seus destinos de desejo e, conseqüentemente, restringe a capacidade de acesso ao território, embora poucos estudos que o incorporaram às medidas utilizadas (Bocarejo *et al.*, 2014; El-Geneidy *et al.*, 2016). Avaliações de sistemas de transporte público são especialmente sensíveis a este fator, visto que o preço de uma viagem pode variar conforme a linha e o modo utilizado, o operador de cada serviço e a distância percorrida. Assim, o custo monetário de um deslocamento nesses sistemas não é necessariamente proporcional à sua duração (Venter, 2016). A representação do custo monetário em uma medida, portanto, tende a afetar de forma diferenciada as estimativas feitas para regiões distintas dentro de uma mesma área de estudo, alterando a distribuição espacial da acessibilidade e análises de equidade que dependam desta.

Utilizando um estudo de caso do município do Rio de Janeiro, este artigo avalia como a incorporação de um valor limite de custo monetário a uma medida de oportunidades cumulativas impacta análises de equidade baseadas na distribuição espacial da acessibilidade ao emprego por transporte público. Diversos trabalhos se comprometeram a realizar diagnósticos detalhados das desigualdades no acesso a oportunidades no Rio de Janeiro (e.g. Carneiro *et al.*, 2019; Pereira, 2018; Pereira *et al.*, 2019). Este estudo, por sua vez, avança a literatura com uma contribuição metodológica ao mostrar que a utilização de medidas que ignoram os custos monetários dos deslocamentos falha em retratar os reais níveis de acessibilidade e de equidade no acesso a oportunidades, utilizando a cidade do Rio como plano de fundo. O emprego foi escolhido como atividade de análise porque a garantia de acesso a postos de trabalho é essencial para evitar a exclusão social de indivíduos, uma vez que promove a capacidade financeira necessária para suportar outros aspectos da vida (Allen e Farber, 2019).

Segue esta introdução, na seção 2, uma revisão cobrindo trabalhos que introduziram o custo monetário a medidas de acessibilidade, dando destaque à forma como o fizeram. Na seção 3 apresentam-se os dados utilizados e o procedimento metodológico adotado no estudo de caso. Na seção 4 os resultados são apresentados e discutidos, e na seção 5 são feitas conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## 2. MEDIDAS DE ACESSIBILIDADE E O CUSTO MONETÁRIO

Medidas de acessibilidade podem ser divididas em quatro diferentes grupos (baseadas em infraestrutura, utilidade, pessoas e localidades), cada uma delas apresentando suas vantagens e desvantagens. Entendendo que não há uma medida predominantemente melhor que as demais, a escolha de qual utilizar depende da natureza do estudo e costuma considerar critérios como: a aderência a critérios teóricos (serem sensíveis a mudanças no sistema de transportes, serem sensíveis a mudanças no uso do solo, serem sensíveis a restrições temporais e levarem em consideração necessidades e habilidades individuais), a usabilidade em avaliações sociais e econômicas, a facilidade de operação e a clareza de comunicação (Geurs e van Wee, 2004). Medidas baseadas em utilidade e pessoas, por exemplo, satisfazem a maior parte dos critérios teóricos, mas são de difícil operacionalização e interpretação. Já medidas baseadas em localidades (grupo ao qual pertencem as medidas de oportunidades cumulativas) são muito utilizadas por serem facilmente implementadas, porém não apresentam um respaldo teórico tão sólido quanto os dois grupos anteriormente citados (*ibid*).

A incorporação do custo monetário a medidas baseadas em localidades, no entanto, as torna

mais aderentes aos critérios teóricos. Estas se tornam mais sensíveis a restrições orçamentárias de indivíduos, bem como a mudanças no sistema de transportes, por passar a considerar tarifas distintas para cada modo de transporte. O valor das tarifas pode aumentar desigualdades em termos de acesso a oportunidades, entre outros casos, quando, em uma mesma região, serviços de transporte público similares são oferecidos a diferentes preços e níveis de serviço (Conway e Stewart, 2019), relegando pessoas com maiores restrições orçamentárias a serviços mais baratos e de menor qualidade.

Via de regra, a grande maioria dos estudos que utilizam medidas baseadas em localidades mede a acessibilidade considerando apenas os custos de tempo de viagem (El-Geneidy *et al.*, 2016; Venter, 2016). Os trabalhos que consideram também o custo monetário o fazem utilizando uma função de custo generalizado, em que tarifa e tempo de viagem são agregados em uma mesma base (seja tempo ou dinheiro) com o auxílio de um valor monetário do tempo. Este valor do tempo pode ser tomado como constante (El-Geneidy *et al.*, 2016; Guzman e Oviedo, 2018; Guzman *et al.*, 2017; Liu e Kwan, 2020; Ma *et al.*, 2017), com base, por exemplo, no salário mínimo (e.g. El-Geneidy *et al.*, 2016) ou em modelos estatísticos (e.g. Ma *et al.*, 2017), ou como variável, derivado seja das características socioeconômicas de residentes do local de origem dos deslocamentos (Bocarejo *et al.*, 2014; Bocarejo e Oviedo, 2012; Oviedo *et al.*, 2019; van Dijk *et al.*, 2015), seja da remuneração média dos empregos no local de destino (Lionjanga e Venter, 2018; Venter, 2016).

Alguns desses estudos trabalham não apenas com o custo de cada deslocamento, mas também com a renda dos residentes de cada local de origem, efetivamente incorporando o comprometimento da renda com gastos em transporte público como fator de impedância (Bocarejo *et al.*, 2014; Bocarejo e Oviedo, 2012; Liu e Kwan, 2020). De forma análoga, estudos que trabalham com a remuneração média nos locais de destino tomam como variável de sua função de impedância o potencial salário líquido após descontados gastos em transporte público (Lionjanga e Venter, 2018; Venter, 2016). Tais abordagens geram estimativas de acessibilidade mais refinadas que são sensíveis às características individuais de residentes, como renda, e dos empregos a eles disponíveis, como remuneração média.

O uso de funções de custo generalizado, no entanto, apresenta algumas desvantagens. A agregação de tempo e dinheiro em uma mesma base torna a interpretação dos resultados mais complexa, implicando em uma perda de comunicabilidade. Também não se observa na literatura um padrão no método de definição dos valores de tempo utilizados, muitas vezes feita de forma pouco sistemática e arbitrária, o que torna difícil a comparação dos resultados de diferentes estudos. Trabalhos que tomam o valor do tempo como constante para todos os deslocamentos, por não levar em consideração diferenças na percepção deste valor entre grupos socioeconômicos distintos, possivelmente resultam em estimativas pouco precisas para certos segmentos da população. O uso de valores variáveis derivados da renda de determinados grupos, no entanto, pode também não se mostrar adequado, por considerar o tempo de indivíduos ricos mais valioso do que o de indivíduos pobres. Principalmente em casos em que o custo é expresso monetariamente (Goodwin, 1974), nos quais o tempo de viagem é multiplicado pelo valor do tempo, superestimando os custos de indivíduos ricos, análises de acessibilidade possivelmente favoreceriam grupos historicamente privilegiados.

Apesar das desvantagens citadas, poucos trabalhos encontrados na literatura agregam o custo monetário dos deslocamentos às medidas de acessibilidade utilizadas sem fazer uso de uma

função de custo generalizado. Conway e Stewart (2019) e Rodriguez *et al.* (2017) utilizam uma medida de oportunidades cumulativas em que tratam custo monetário e tempo de viagem de forma independente, estabelecendo valores limites distintos para cada fator de impedância (e.g. limitando tempos de viagem a 60 minutos e tarifas a \$5,00). Neste caso, tal como hoje é feito com os limites de tempo de viagem, os limites de custo monetário podem ser estabelecidos com base tanto em valores médios de gasto em transporte quanto em valores considerados desejáveis ou justos. Individualidades de grupos populacionais também podem ser consideradas, tomando como referência valores relacionados, por exemplo, ao comprometimento de renda de grupos vulneráveis com gastos em transporte público. Esta abordagem ainda preserva a fácil comunicação e interpretação de medidas de oportunidades cumulativas e não requer o estabelecimento arbitrário e possivelmente problemático de um valor do tempo.

Independente da métrica adotada para estimar a acessibilidade, a inserção do custo monetário em medidas baseadas em localidades as tornam mais aderentes aos critérios teóricos estabelecidos por Geurs e van Wee (2004). Isto se dá principalmente por passarem a representar as políticas tarifárias de cada local de estudo, atributos dos sistemas de transportes até então ignorados, por levarem em consideração características individuais de grupos populacionais distintos e por terem sua sensibilidade à distribuição espacial das oportunidades aumentada. Nenhum trabalho dentre os citados, entretanto, busca avaliar explicitamente de que forma a introdução do custo monetário a uma medida baseada em localidades impacta uma análise de equidade em termos de acesso a oportunidades. O estudo de caso descrito a seguir busca expandir tal compreensão e preencher esta lacuna da literatura.

### 3. DADOS E MÉTODOS

#### 3.1. Dados utilizados

Dados de diferentes fontes foram utilizados no estudo de caso. A contagem da população e sua renda são provenientes dos resultados do levantamento feito pelo IBGE no Censo 2010, organizado a nível de setor censitário, disponibilizados pelo órgão em seu site.

Os dados de emprego provêm da base de dados do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana. Foram feitas projeções de número de empregos por zonas de análise de tráfego para os anos de 2012, 2017 e 2022, baseadas em dados da RAIS e em investimentos de transporte projetados no plano (CENTRAL, 2016). Como o estado do Rio de Janeiro passa por uma crise econômica desde meados de 2016, as projeções de anos posteriores a este foram desconsideradas, tendo sido utilizada neste trabalho a estimada para o ano de 2012. Dados públicos mais atualizados, como os disponibilizados pela RAIS 2018, estão agregados a nível de bairro, o que implica numa resolução muito baixa para os fins deste estudo.

Os dados relativos à rede viária e à infraestrutura para pedestres da cidade foram extraídos do *OpenStreetMap*, com o auxílio da ferramenta *HOT Export Tool*, em abril de 2020. Por fim, dados da rede de transporte público do município, organizados em formato GTFS, foram obtidos junto à Fetranspor e à SuperVia mediante solicitação por e-mail, e representam a operação do sistema de transportes em um típico dia útil do mês de novembro de 2018.

#### 3.2 Estimativa da acessibilidade

Uma medida de oportunidades cumulativas foi escolhida para estimar a acessibilidade ao emprego no município do Rio de Janeiro. Ela pode ser descrita conforme a Equação 1:

$$A_i = \sum_{j=1}^n E_j \times f(t_{ij}) \times g(c_{ij})$$
$$f(t_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{se } t_{ij} \leq T \\ 0, & \text{se } t_{ij} > T \end{cases} \quad (1)$$
$$g(c_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{se } c_{ij} \leq C \\ 0, & \text{se } c_{ij} > C \end{cases}$$

em que  $A_i$ : acessibilidade ao emprego na origem  $i$   
 $E_j$ : quantidade de empregos no destino  $j$   
 $n$ : número de unidades espaciais que cobrem a área de estudo  
 $t_{ij}$ : tempo de viagem entre a origem  $i$  e o destino  $j$   
 $T$ : valor limite de tempo de viagem  
 $f(t_{ij})$ : função de valor de 1 caso  $t_{ij}$  seja menor ou igual a  $T$ , e 0 caso contrário  
 $c_{ij}$ : custo monetário entre a origem  $i$  e o destino  $j$   
 $C$ : valor limite de custo monetário  
 $g(c_{ij})$ : função de valor de 1 caso  $c_{ij}$  seja menor ou igual a  $C$ , e 0 caso contrário

Uma das limitações desta medida é que ela não considera o efeito da competitividade por atividades e de qualidades particulares de indivíduos (Geurs e van Wee, 2004; Martens e Golub, 2012). Por outro lado, ela se mostra adequada para análises de equidade ao estimar o resultado da ação conjunta da distribuição espacial de atividades e de características temporais e espaciais do sistema de transportes, desta forma traduzindo a disponibilidade de serviços de transportes na possibilidade de participar de atividades (Martens e Golub, 2012). Ainda, medidas de oportunidades cumulativas são frequentemente utilizadas por serem de fácil operacionalização, interpretação e comunicação, além de requererem relativamente poucos dados, se comparadas a outras medidas (Geurs e van Wee, 2004). Estão sujeitas, no entanto, à escolha arbitrária de valores limites e à suposição de que todas as oportunidades alcançáveis a custos menores do que estes são igualmente acessíveis (*ibid*).

Para minimizar este problema, este estudo calculou a acessibilidade considerando quatro valores limites de custo monetário distintos, tornando possível a comparação das avaliações de equidade derivadas destas estimativas. São eles: R\$ 4,75; R\$ 7,13; R\$ 9,50; e o caso em que não há restrição monetária, padrão adotado por trabalhos que consideram apenas o tempo de viagem. Nos casos em que há restrição monetária, os valores correspondem a gastos mensais em transporte público equivalentes a 20%, 30% e 40% do salário mínimo (R\$ 1045,00), respectivamente, assumindo uma jornada de 22 dias de trabalho por mês e duas viagens por dia (deslocamento casa-trabalho). O salário mínimo foi utilizado como referência de forma a tornar os valores limites compatíveis com as restrições orçamentárias de indivíduos financeiramente vulneráveis. O valor equivalente a um comprometimento de 20% desta renda com gastos em transporte foi determinado com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares realizada em 2017 e 2018, que mostra que, em média, os gastos em transportes no Sudeste correspondem a 17,5% das despesas mensais de famílias da região (IBGE, 2019). Os demais valores (30% e 40%) foram utilizados para analisar os efeitos de limites de custo monetário progressivamente mais altos sobre as estimativas de acessibilidade.

O resultado de avaliações de equidade em termos de acessibilidade está sujeito ao efeito de fronteira do problema de unidade de tempo modificável, viés estatístico relacionado a escolha arbitrária de valores limites de tempo de viagem (Pereira, 2019). De forma a mitigar este



problema, a acessibilidade foi estimada também considerando diferentes valores de tempo, sendo eles, 30, 60, 90 e 120 minutos.

O município do Rio de Janeiro foi dividido em uma grade hexagonal constituída de 302 hexágonos de aproximadamente 2,44 km de diagonal curta. O tamanho das células que constituem a grade foi escolhido de maneira a conferir à pesquisa uma resolução relativamente detalhada, mas que permitisse realizar as estimativas de acessibilidade com um computador de uso pessoal. É importante notar, no entanto, que avaliações de equidade em termos de acessibilidade estão sujeitas ao problema de unidade de área modificável, viés estatístico relacionado às formas de agregação espacial de dados, e que análises feitas a baixas resoluções espaciais podem levar a perdas de informação e a resultados pouco precisos, se comparadas a análises feitas a resoluções mais altas (Pereira *et al.*, 2019).

As rotas de transporte público entre os centroides de cada célula foram calculadas usando o *OpenTripPlanner*, programa de código aberto de roteamento multimodal. Para cada par de origem e destino foram calculados até 10 itinerários distintos de transporte público, e não apenas o itinerário mais rápido, como é usualmente feito na literatura (e.g. El-Geneidy *et al.*, 2016; Ma *et al.*, 2017), uma vez que indivíduos sob restrições orçamentárias podem optar por modos mais lentos em troca de uma economia de dinheiro. A fim de representar a oferta de transporte público no sistema durante o pico da manhã, o horário de partida de cada viagem foi estabelecido como 08:00h.

O tempo de viagem foi considerado como o somatório da duração de todas as etapas de um deslocamento de porta-a-porta, incluindo a caminhada da origem ao ponto de embarque, a espera do veículo no ponto, o tempo dentro do veículo, a duração de eventuais transbordos e a caminhada do ponto de desembarque até o destino. O custo monetário das viagens foi calculado em uma etapa de processamento dos dados após a sua coleta, na qual tomou-se como premissa que o usuário de transporte público possui um cartão Riocard Mais, com o qual tem direito a descontos e gratuidades em modos públicos mediante certas regras (Riocard Mais, 2020).

### 3.3 Avaliação da equidade

A próxima etapa consiste em avaliar como análises de desigualdade no acesso a empregos entre grupos de renda e regiões da cidade variam conforme as diferentes estimativas de acessibilidade, calculadas segundo a descrição na seção anterior. Dois indicadores de desigualdade distintos foram utilizados, buscando superar limitações associadas ao uso do Índice de Gini e da Curva de Lorenz, frequentemente empregados em análises similares na literatura (e.g. Lucas *et al.*, 2016). Para isto, os hexágonos da grade gerada foram categorizados em decis de renda de acordo com a renda média de seus habitantes.

O primeiro indicador utilizado foi a Razão de Palma, resultado da divisão entre a acessibilidade média dos 10% mais ricos e a acessibilidade média dos 40% mais pobres. Esta métrica foi originalmente desenvolvida por Palma (2011) para refletir mais adequadamente desigualdades nos extremos da distribuição de renda de uma população, uma vez que o autor nota que o índice de Gini tende a ser estatisticamente mais responsivo a mudanças no meio da distribuição.

O outro indicador utilizado foi o Índice de Theil, medida de discrepância entre a distribuição de uma variável (no caso, a acessibilidade) e a distribuição de população entre grupos (Conceição e Ferreira, 2000). Quando cada membro da população é tratado de forma individual

o índice pode ser descrito conforme a Equação 2:

$$T = \sum_{p=1}^n \frac{y_p}{Y} \ln \left[ \left( \frac{y_p}{Y} \right) / \left( \frac{1}{n} \right) \right] \quad (2)$$

em que T: Índice de Theil da distribuição da acessibilidade  
 $y_p$ : acessibilidade do indivíduo p  
Y: total de acessibilidade da população  
n: número de indivíduos na população

De forma similar ao Índice de Gini, o Índice de Theil sempre assume valores positivos e quanto maior seu valor, mais desigual é uma determinada distribuição. O Gini, entretanto, não permite identificar quais grupos detêm maiores valores de acessibilidade, contabilizando apenas o desvio da distribuição observada em relação a uma distribuição hipotética em que toda a população possui a mesma acessibilidade. Devido à própria natureza de locais com altos níveis de acessibilidade, próximos a atividades e supostamente vibrantes, grupos populacionais específicos podem optar por morar em locais de baixa acessibilidade na busca de certos atributos que considerem desejáveis (indivíduos de renda muito alta frequentemente decidem morar em condomínios fechados distantes do centro, por exemplo, buscando maior privacidade e segurança). Caso estes locais tenham seus níveis de acessibilidade aumentados por uma determinada política, o Índice de Gini poderá sofrer uma queda, sem que na verdade grupos vulneráveis tenham se beneficiado desta política.

O Índice de Theil, por sua vez, possui uma propriedade que permite decompor o nível total de desigualdade de uma população pelos níveis de desigualdade entre e intragrupos (Conceição *et al.*, 2000). Isto é possível quando a população é dividida em grupos mutualmente excludentes e completamente exaustivos (ou seja, que cubram toda a população e não apresentem interseções). Nestes casos, sua formulação se dá conforme a Equação 3:

$$T = T^E + T^I$$
$$T^E = \sum_{i=1}^m \frac{Y_i}{Y} \ln \left[ \left( \frac{Y_i}{Y} \right) / \left( \frac{n_i}{n} \right) \right] \quad (3)$$
$$T^I = \sum_{i=1}^m \frac{Y_i}{Y} T_i$$

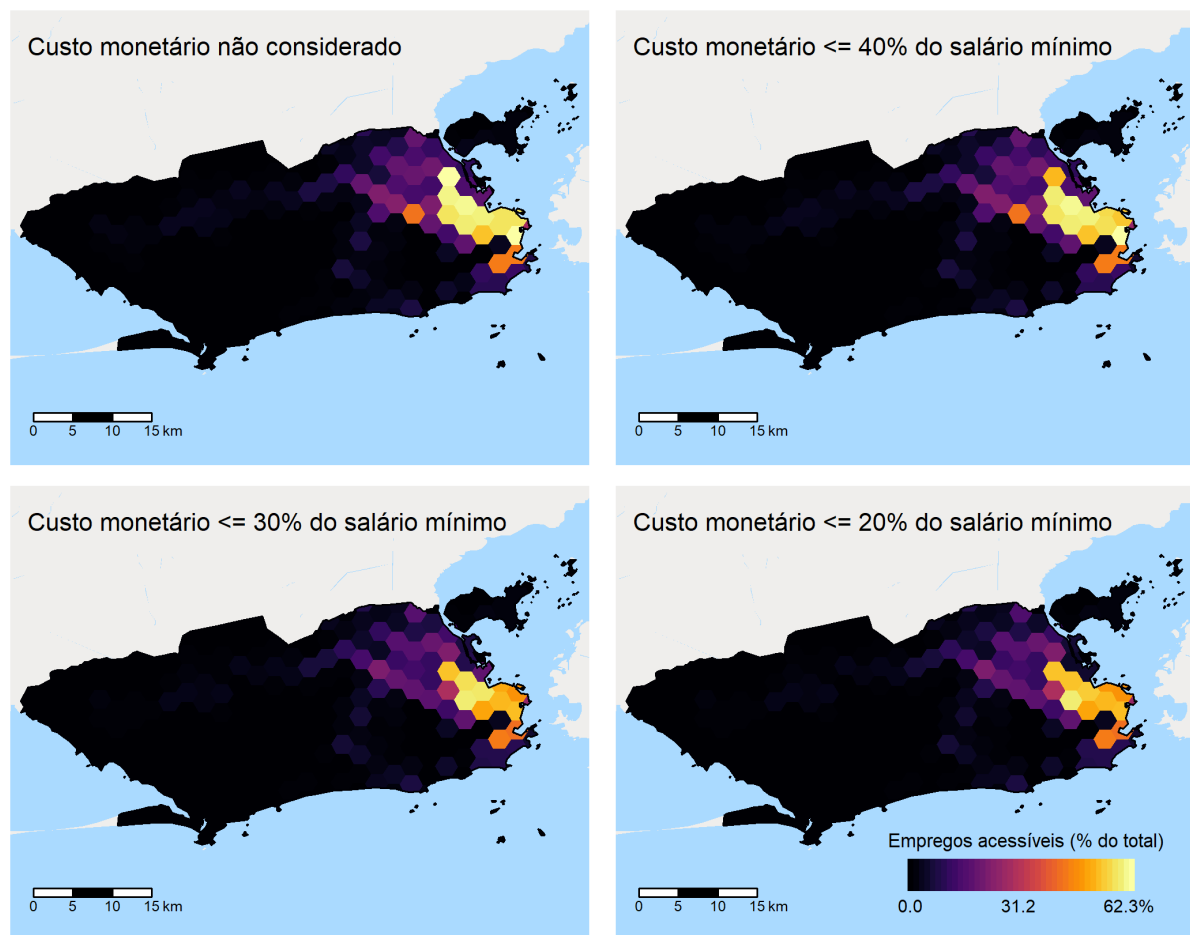
em que  $T^E$ : componente entregrupos do Índice de Theil  
 $T^I$ : componente intragrupos do Índice de Theil  
 $Y_i$ : total de acessibilidade do grupo i  
 $n_i$ : número de indivíduos do grupo i  
m: número de grupos em que a população foi dividida

Os grupos utilizados nesta pesquisa foram os decis de renda segundo os quais cada hexágono foi classificado. O componente entregrupos, assim, diz respeito à desigualdade entre decis de renda, ao passo que o intragrupos se refere à desigualdade entre membros de um mesmo decil.

Por fim, os níveis médios de acessibilidade de cada grupo foram comparados com os níveis médios da população como um todo, permitindo a identificação de privilégios sistemáticos dentro do município: quanto maior a média de um determinado decil em relação à média geral, mais privilegiado é o mesmo.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a distribuição espacial da acessibilidade ao emprego por transporte público no município do Rio de Janeiro em até 60 minutos de viagem. Observa-se, seja qual for o valor limite de custo monetário estabelecido, uma grande concentração de acessibilidade no Centro da cidade. Isto se dá principalmente em virtude da grande aglomeração de empregos na região, mas é também reflexo da opção pela representação gráfica de estimativas feitas com um valor limite de tempo de viagem relativamente curto, para os padrões do Rio de Janeiro. Como é de se esperar, no entanto, quanto menor o valor limite de custo monetário, menor é a quantidade de empregos que pode ser alcançada a um mesmo tempo de viagem. Restrições de custo monetário limitam a escolha dos modos utilizados e as possibilidades de integração modal, efetivamente impedindo que usuários de transporte público usufruam de serviços existentes para aumentar seus níveis de acessibilidade. Observa-se que, ainda que haja uma diminuição da acessibilidade no território de forma geral, essas restrições afetam diferentes regiões da cidade, e conseqüentemente grupos populacionais, de maneira distinta.

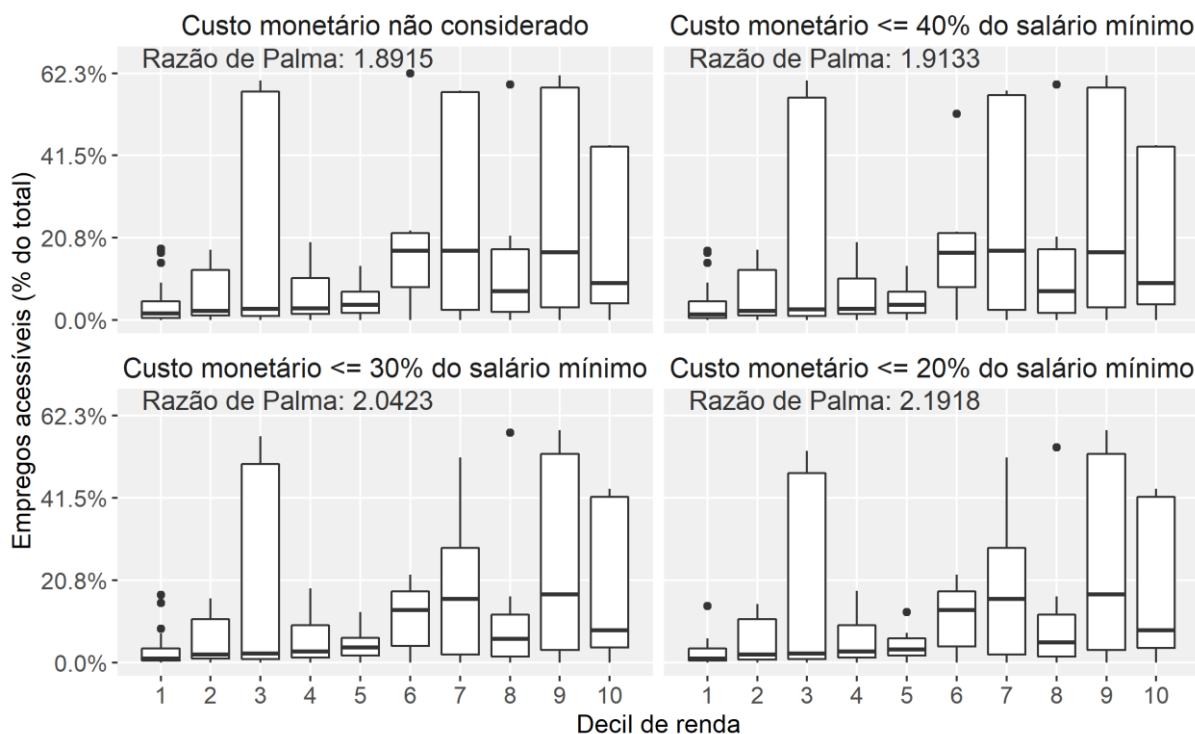


**Figura 1:** Distribuição espacial da acessibilidade ao emprego por transporte público em até 60 minutos de viagem e diferentes restrições de custo monetário na cidade do Rio de Janeiro

A distribuição da acessibilidade por decil de renda, exibida na Figura 2, torna isto evidente. Os níveis superiores de acessibilidade do terceiro e do sétimo decil são mais afetados pela inclusão do custo monetário do que os dos demais (embora os níveis medianos de todos os decis permaneçam relativamente estáveis). A figura também mostra que a Razão de Palma tende a



crescer com a diminuição do valor limite de custo monetário, destacando que estimativas de acessibilidade na cidade do Rio de Janeiro que relevam o preço dos deslocamentos acabam por subestimar desigualdades no acesso ao emprego entre os grupos populacionais mais ricos e os mais pobres.



**Figura 2:** Distribuição da acessibilidade ao emprego por transporte público em até 60 minutos de viagem por decil de renda

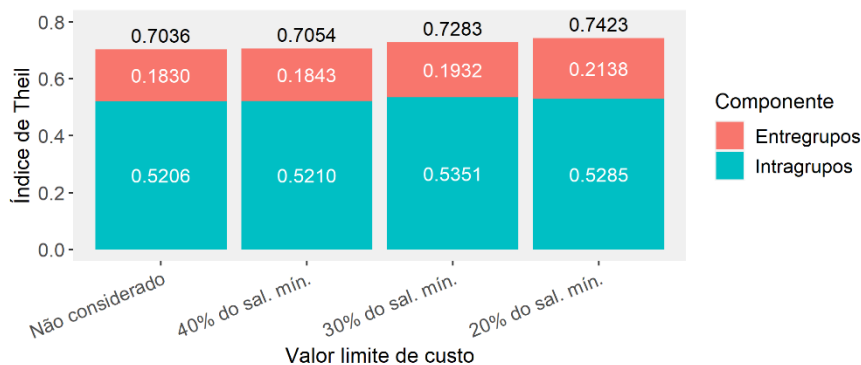
Tendências similares são observadas também em análises baseadas em estimativas de acessibilidade a 30, 90 e 120 minutos de tempo de viagem, como mostra a Tabela 1. Há uma diminuição da razão, no entanto, nas estimativas feitas com limite de 30 minutos de tempo de viagem, entre os casos com valor de custo monetário equivalentes a 40% e 30% do salário mínimo (correspondentes a deslocamentos de R\$ 9,25 e R\$ 7,13, respectivamente). Presume-se que a este tempo de viagem indivíduos do decil de renda mais rico dependam de deslocamentos com custo entre esses dois valores para alcançar certas aglomerações de emprego, hipótese a se confirmar em trabalhos futuros.

**Tabela 1:** Razão de Palma da distribuição da acessibilidade a diferentes limites de tempo de viagem e custo monetário

Tempo de viagem (minutos)	Valores limite de custo monetário (porcentagem do salário mínimo gasto em transporte público ao longo de um mês)			
	Não considerado	40%	30%	20%
30	2,5376	2,5522	1,9861	2,0533
60	1,8915	1,9133	2,0423	2,1918
90	1,5036	1,5897	2,1823	2,3608
120	1,1367	1,2108	1,6750	1,7787

A Figura 3 mostra que não apenas a desigualdade entre os mais ricos e mais pobres aumenta

com a inclusão do custo monetário nas estimativas de acessibilidade, mas também a desigualdade do sistema como um todo e, de maior interesse a este trabalho, a entre decis de renda. Novamente, este crescimento da desigualdade com a diminuição dos limites de custo monetário não é observado apenas em análises feitas com um determinado tempo de viagem. Análises iguais utilizando estimativas feitas com tempos de 30, 90 e 120 minutos também mostram um aumento da desigualdade entre grupos, como apresentado na Tabela 2. Tem-se como exceção uma pequena queda do valor deste componente quando calculado com tempo de viagem igual a 120 minutos e custo monetário igual a R\$ 9,50 (40% do salário mínimo gasto em um mês), se comparado ao calculado em uma estimativa sem considerar o custo monetário.



**Figura 3:** Índice de Theil da distribuição da acessibilidade ao emprego por transporte público em até 60 minutos de viagem

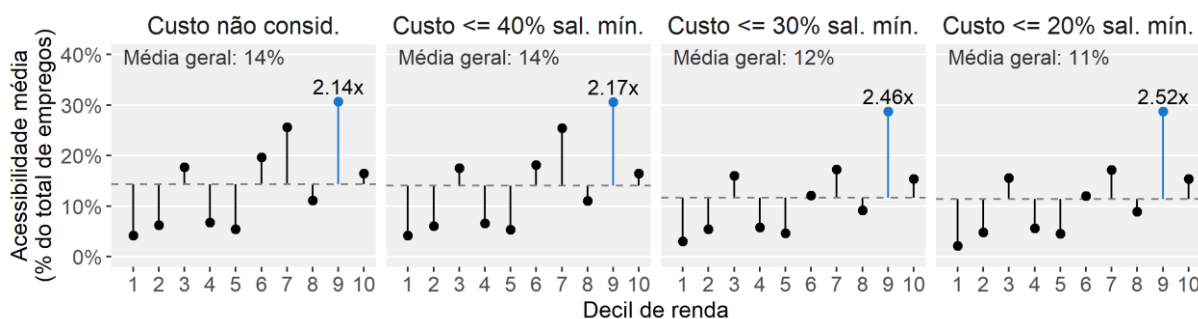
**Tabela 2:** Componente entregrupos do Índice de Theil da distribuição da acessibilidade a diferentes limites de tempo de viagem e custo monetário

Tempo de viagem (minutos)	Valores limite de custo monetário (porcentagem do salário mínimo gasto em transporte público ao longo de um mês)			
	Não considerado	40%	30%	20%
30	0,3033	0,3058	0,3135	0,3204
60	0,1830	0,1843	0,1932	0,2138
90	0,0340	0,0420	0,0743	0,0880
120	0,0143	0,0141	0,0300	0,0369

Esta análise realça que a desconsideração do custo monetário como fator de impedância leva a uma subestimação da desigualdade entre decis de renda no acesso ao emprego por transporte público no Rio de Janeiro, embora não nos permita discernir quais grupos detêm maiores níveis de acessibilidade. Para isto, a acessibilidade média de cada decil foi comparada com a média da população como um todo, como apresentado na Figura 4, tornando possível a identificação dos decis menos afetados pela incorporação da restrição monetária.

Como pode-se observar, a diminuição do valor limite de custo monetário nas estimativas de acessibilidade afeta de forma menos significativa os níveis médios de acessibilidade do nono decil de renda, se comparados aos dos demais. Consequentemente, a diminuição desse valor limite leva a um crescimento da razão da acessibilidade média deste decil sobre a da população como um todo (variando de 2,14, no caso em que não há restrições monetárias, a 2,52, no caso que esta restrição é mais estrita). A Tabela 3 mostra como o aumento desta razão com a diminuição do limite monetário é algo recorrente em todas as análises feitas, independentemente do valor de tempo de viagem utilizado como limite. Ou seja, análises

realizadas com base em estimativas que não consideram o custo monetário não apenas subestimam a desigualdade no acesso ao emprego entre decis de renda, mas também a concentração de acessibilidade por parte do decil que mais a detém.



**Figura 4:** Média de acessibilidade ao emprego em até 60 minutos de viagem por decil de renda

**Tabela 3:** Razão da acessibilidade média do nono decil pela acessibilidade média de toda a população a diferentes limites de tempo de viagem e custo monetário

Tempo de viagem (minutos)	Valores limite de custo monetário (porcentagem do salário mínimo gasto em transporte público ao longo de um mês)			
	Não considerado	40%	30%	20%
30	3,18	3,18	3,28	3,36
60	2,14	2,17	2,46	2,52
90	1,31	1,36	1,72	1,76
120	1,14	1,17	1,48	1,53

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se entender, através de um estudo de caso da cidade do Rio de Janeiro, como avaliações de equidade em termos de acessibilidade ao emprego por transporte público são afetadas pela inclusão do custo monetário ao fator de impedância de uma medida de oportunidades cumulativas. Os resultados do estudo mostram que as medidas cumulativas frequentemente utilizadas na literatura, por ignorarem o custo monetários das viagens, superestimam os níveis gerais de acessibilidade e subestimam a desigualdade no acesso a oportunidades. Assim, o uso destas medidas pode levar a um diagnóstico possivelmente equivocado das condições de acesso a oportunidades em um determinado local. Observou-se que quanto menor o valor limite de custo monetário utilizado (ou seja, quanto maior a restrição orçamentária imposta), maior a discrepância de acessibilidade entre os mais ricos e mais pobres do município, maior a desigualdade entre decis de renda e maior a concentração de acessibilidade por parte do decil que mais a detém. Dessa forma, análises de equidade que não levam em consideração os custos monetários das viagens tendem a subestimar a desigualdade no acesso ao emprego.

Os resultados das análises realizadas são fruto da combinação da estrutura espacial do município do Rio, que apresenta uma grande concentração de empregos na região do centro da cidade, da forma como a população ocupa o território, uma vez indivíduos de renda alta costumam morar mais perto das oportunidades de emprego, e da política tarifária vigente, graças a qual viagens de transporte público longas tendem a ser mais caras do que viagens curtas. Ainda, é importante notar que as conclusões deste estudo estão sujeitas ao problema de

área modificável, e que análises feitas a resoluções espaciais mais altas do que a utilizada tornariam os resultados mais precisos e confiáveis.

A incorporação do custo monetário a medidas de acessibilidade traz à tona desafios operacionais e computacionais, mas também abre novas frentes de pesquisa promissoras. Trabalhos como o de Conway e Stewart (2019) buscam avaliar de que forma programas de roteamento de transporte público podem oferecer, de forma otimizada, o preço de cada viagem ao usuário final. Esta funcionalidade é importante para a popularização de pesquisas que levem este fator em consideração por não requerer seu cálculo após a coleta dos dados por parte do pesquisador, como foi necessário neste trabalho, o que torna estudos do tipo mais facilmente reproduzíveis. A introdução do custo monetário às estimativas também permite que políticas tarifárias tenham seus efeitos analisados de forma sistemática através de avaliações de equidade em termos de acesso a oportunidades, abordagem ainda não observada na literatura.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Fetranspor e à SuperVia por disponibilizarem seus arquivos GTFS mediante solicitação, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) pelo suporte financeiro. Todos os códigos utilizados neste trabalho podem ser acessados em <https://github.com/dhersz/msc-thesis>.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J., e Farber, S. (2019) Sizing up transport poverty: A national scale accounting of low-income households suffering from inaccessibility in Canada, and what to do about it. *Transport Policy*, v. 74, p. 214–223.
- Bocarejo, J. P., e Oviedo, D. R. (2012) Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments. *Journal of Transport Geography*, v. 24, p. 142–154.
- Bocarejo, J. P., Portilla, I. J., Velásquez, J. M., Cruz, M. N., Peña, A., e Oviedo, D. R. (2014) An innovative transit system and its impact on low income users: the case of the Metrocable in Medellín. *Journal of Transport Geography*, v. 39, p. 49–61.
- Carneiro, M., Toledo, J., Aurelio, M., e Orrico, R. (2019) Espreadamento urbano e exclusão social. Uma análise da acessibilidade dos moradores da cidade do Rio de Janeiro ao mercado de trabalho. *EURE (Santiago)*, v. 45, n. 136, p. 51–70.
- CENTRAL. (2016) *Relatório 5 - Análise da Evolução e Tendências Futuras do Uso do Solo*. Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Conceição, P., e Ferreira, P. (2000) *The Young Person's Guide to the Theil Index: Suggesting Intuitive Interpretations and Exploring Analytical Applications*. UTIP Working Paper Number 14. Austin, TX.
- Conceição, P., Galbraith, J. K., e Bradford, P. (2000) *The Theil Index in Sequences of Nested and Hierarchic Grouping Structures: Implications for the Measurement of Inequality through Time with Data Aggregated at Different Levels of Industrial Classification*. UTIP Working Paper Number 15. Austin, TX.
- Conway, M. W., e Stewart, A. F. (2019) Getting Charlie off the MTA: a multiobjective optimization method to account for cost constraints in public transit accessibility metrics. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 33, n. 9, p. 1759–1787.
- El-Geneidy, A. M., Levinson, D., Diab, E., Boisjoly, G., Verbich, D., e Loong, C. (2016) The cost of equity: Assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 91, p. 302–316.
- Geurs, K. T., e van Wee, B. (2004) Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, v. 12, n. 2, p. 127–140.
- Goodwin, P. B. (1974) Generalised time and the problem of equity in transport studies. *Transportation*, v. 3, p. 1–23.
- Guzman, L. A., e Oviedo, D. (2018) Accessibility, affordability and equity: Assessing 'pro-poor' public transport subsidies in Bogotá. *Transport Policy*, v. 68, p. 37–51.
- Guzman, L. A., Oviedo, D., e Rivera, C. (2017) Assessing equity in transport accessibility to work and study: The Bogotá region. *Journal of Transport Geography*, v. 58, p. 236–246.
- IBGE. (2019) *Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018 : primeiros resultados*. Rio de Janeiro, RJ.
- Lionjanga, N., e Venter, C. (2018) Does public transport accessibility enhance subjective well-being? A study of

- the City of Johannesburg. *Research in Transportation Economics*, v. 69, p. 523–535.
- Liu, D., e Kwan, M. P. (2020) Measuring Job Accessibility Through Integrating Travel Time, Transit Fare And Income: A Study Of The Chicago Metropolitan Area. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, v. 0, n. 0, p. 1–15.
- Lucas, K., van Wee, B., e Maat, K. (2016) A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation*, v. 43, n. 3, p. 473–490.
- Ma, Z. (Eric), Masoud, A. R., e Idris, A. O. (2017) Modeling the Impact of Transit Fare Change on Passengers' Accessibility. *Transportation Research Record*, v. 2652, n. 1, p. 78–86.
- Martens, K. (2012) Justice in transport as justice in accessibility: applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the transport sector. *Transportation*, v. 39, n. 6, p. 1035–1053.
- Martens, K., e Golub, A. (2012) A justice- theoretic exploration of accessibility measures. *Accessibility Analysis and Transport Planning: Challenges for Europe and North America*, p. 195–210.
- Oviedo, D., Scholl, L., Innao, M., e Pedraza, L. (2019) Do Bus Rapid Transit Systems Improve Accessibility to Job Opportunities for the Poor? The Case of Lima, Peru. *Sustainability*, v. 11, n. 10.
- Palma, J. G. (2011) Homogeneous Middles vs. Heterogeneous Tails, and the End of the 'Inverted-U': It's All About the Share of the Rich. *Development and Change*, v. 42, n. 1, p. 87–153.
- Pereira, R. H. M. (2018) Transport legacy of mega-events and the redistribution of accessibility to urban destinations. *Cities*, v. 81, p. 45–60.
- Pereira, R. H. M. (2019) Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. *Journal of Transport Geography*, v. 74, p. 321–332.
- Pereira, R. H. M., Banister, D., Schwanen, T., e Wessel, N. (2019) Distributional effects of transport policies on inequalities in access to opportunities in Rio de Janeiro. *Journal of Transport and Land Use*, v. 12, n. 1, p. 741–764.
- Pereira, R. H. M., Schwanen, T., e Banister, D. (2017) Distributive justice and equity in transportation. *Transport Reviews*, v. 37, n. 2.
- Riocard Mais. (2020) Tarifas. Obtido 22 de junho de 2020, de [www.cartaoriocard.com.br/rcc/institucional/tarifas](http://www.cartaoriocard.com.br/rcc/institucional/tarifas)
- Rodriguez, C., Peralta-Quirós, T., Guzman, L. A., e Reyes, S. A. C. (2017) Accessibility, affordability, and addressing informal services in bus reform. *Transportation Research Record*, v. 2634, p. 35–42.
- van Dijk, J., Krygsman, S., e de Jong, T. (2015) Toward spatial justice: The spatial equity effects of a toll road in Cape Town, South Africa. *Journal of Transport and Land Use*, v. 8, n. 3, p. 95–114.
- Venter, C. J. (2016) Assessing the potential of bus rapid transit-led network restructuring for enhancing affordable access to employment – The case of Johannesburg's Corridors of Freedom. *Research in Transportation Economics*, v. 59, p. 441–449.

---

Daniel Herszenhut ([daniel.santos@pet.coppe.ufrj.br](mailto:daniel.santos@pet.coppe.ufrj.br))  
Rafael Henrique Moraes Pereira ([rafael.pereira@ipea.gov.br](mailto:rafael.pereira@ipea.gov.br))  
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA  
SBS Q. 1, Ed. BNDES – Brasília, DF, Brasil  
Licínio da Silva Portugal ([licinio@pet.coppe.ufrj.br](mailto:licinio@pet.coppe.ufrj.br))  
Matheus Henrique de Sousa Oliveira ([matheus@pet.coppe.ufrj.br](mailto:matheus@pet.coppe.ufrj.br))  
Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ  
Av. Horácio Macedo, 2030. Bloco H – Rio de Janeiro, RJ, Brasil