

# Avaliação dos impactos do metrô na acessibilidade da população de baixa renda aos postos de trabalho em Fortaleza

Renan Monteiro Carioca Freire<sup>1</sup>, Carlos Felipe Grangeiro Loureiro<sup>2</sup>, André Soares Lopes<sup>3</sup>,  
Francelino Franco Leite de Matos Sousa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, UFC, renanmcarioca@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará, UFC, felipe@det.ufc.br

<sup>3</sup>Universidade de Fortaleza, UNIFOR, soareslopes@gmail.com

<sup>4</sup>Centro Universitário Christus, UniChristus, francolms@gmail.com

## Recebido:

20 de abril de 2019

## Aceito para publicação:

7 de novembro de 2019

## Publicado:

12 de novembro de 2019

## Editor de área:

Sara Ferreira

## Palavras-chaves:

Avaliação de políticas públicas em transporte urbano,  
Planejamento da acessibilidade,  
Transporte Público.

## Keywords:

Evaluation of public policies in urban transport,  
Accessibility planning,  
Public transportation.

DOI:10.14295/transportes.v27i3.2022



## RESUMO

O paradigma de planejamento de transportes vigente, cujo foco reside não só na mobilidade das pessoas mas especialmente na sua acessibilidade às atividades urbanas, se baseia em princípios de sustentabilidade e equidade visando reduzir desigualdades socioespaciais, promovendo assim melhor qualidade de vida e justiça social. Nesse contexto de tomada de decisão, este trabalho teve o objetivo de avaliar os impactos advindos das melhorias operacionais propostas nas linhas Sul e Oeste do Metrofor sobre a problemática do acesso aos postos de trabalho da população de baixa renda em Fortaleza. O método de avaliação *ex-ante* proposto, assumindo a premissa social do igualitarismo, emprega indicadores de acessibilidade baseados em utilidade, obtidos através do *logsum*, para levantar hipóteses relacionadas à distribuição espacial das zonas mais ou menos beneficiadas pela intervenção, assim como a dispersão dos impactos sobre o grupo socialmente mais vulnerável. Conclui-se que as ações propostas são eficazes ao elevar os níveis de acessibilidade das zonas consideradas críticas, embora com efeitos limitados se não acompanhadas de políticas públicas de uso do solo.

## ABSTRACT

The current transportation planning paradigm, which focus lies not only on people's mobility but specially on their access to urban activities, is based on sustainability and equity principles aiming to reduce socio-spatial inequalities, thus fostering better quality of life and social justice. In such a decision-making context, this paper's main objective is to assess how operational investments in Metrofor's South and West lines impact on the accessibility to jobs experienced by the low-income population in Fortaleza. The proposed *ex-ante* assessment method, assuming the egalitarianism social premise, uses a utility-based accessibility indicator, derived from the *logsum* concept, to help raise hypotheses related to the zones' spatial distribution more or less benefited from the intervention, as well as the dispersion of the impact over the most vulnerable social group. It is concluded that the proposed actions are effective in raising accessibility levels in critical zones, although with limited effects if not coupled with land-use public policies.

## 1. INTRODUÇÃO

A literatura especializada em planejamento de transportes tem realinhado seus paradigmas conceituais, morais e metodológicos, resultando em propostas de abordagens de planejamento urbano integrado que ressaltam a importância dos princípios não só da mobilidade e acessibilidade, como também da sustentabilidade e equidade (Banister, 2008; Kenworthy, 2007). Em consonância, percebe-se também a evolução das ferramentas de apoio à tomada de decisão para

que se tornem mais adequadas a esse novo paradigma, como é o caso dos métodos de avaliação de alternativas. Entretanto, mesmo antes disso, já se discutia o emprego de indicadores baseados em medidas de utilidade (Geurs e van Wee, 2004; de Jong *et al.*, 2005), assim como a inserção de teorias éticas, tais como o igualitarismo e o suficientismo, para redirecionarem a análise. O igualitarismo considera que todas as pessoas devem ser tratadas como iguais, buscando-se reduzir as diferenças entre grupos sociais distintos. Já o suficientismo pressupõe a criação de um limite mínimo aceitável de bem-estar, abaixo do qual as pessoas estariam insatisfeitas (Meyer e Roser, 2009).

Essas teorias são diretamente aplicáveis às condições de acessibilidade de segmentos populacionais às suas atividades socioeconômicas distribuídas no território urbano, em especial às oportunidades de trabalho (Garcia *et al.*, 2018). Ademais, os níveis de acessibilidade às atividades são afetados por aspectos espaciais, temporais e individuais (Geurs e van Wee, 2004), tornando complexa a avaliação da equidade nas condições de acesso de diferentes grupos sociais (van Wee e Geurs, 2011). Reconhecer o papel central das teorias do igualitarismo e do suficientismo, contemplando as condições humana e social, leva a duas questões fundamentais no processo de avaliação do planejamento urbano integrado: seu foco deve recair sobre as desigualdades socioespaciais (Rawls, 1971) e na identificação dos grupos mais vulneráveis (Sen, 2009).

A problemática da baixa acessibilidade às oportunidades de trabalho, educação, cultura, saúde e lazer da população de renda mais baixa se destaca no contexto de tomada de decisão em grandes cidades de países em desenvolvimento. Este problema restringe a qualidade de vida destas populações e pode ampliar a situação de exclusão social em que vivem (Lucas, 2012; Wachs e Kumagai, 1973). Em Fortaleza, estudos recentes sobre os problemas de acessibilidade aos postos de trabalho do segmento populacional socioespacialmente mais vulnerável (Menezes, 2015; Andrade, 2016; Lima, 2017) evidenciam tal fenômeno, embora restritos a análises de caracterização e diagnóstico da situação atual, sem avançar na avaliação de alternativas de solução.

Como intervenção em implantação para mitigar essa problemática, insere-se o Sistema Metroviário de Fortaleza (Metrofor), cujo traçado corta a periferia tanto a noroeste quanto a sudoeste da cidade, regiões onde há grande concentração da população de baixa renda e pouca oferta de postos de trabalho, historicamente concentrados na sua região central. Atualmente, as linhas Sul e Oeste do Metrofor operam com capacidade reduzida, com previsão de incremento para transformá-lo em sistema de alta capacidade. Ressalta-se também que o sistema de metrô não possui integração tarifária com o sistema urbano de ônibus, função prevista para futuro próximo. Apesar da implantação do Metrofor estar em andamento, incluindo uma linha de VLT e uma nova de metrô (Leste), as avaliações dos seus impactos nos níveis de acessibilidade aos empregos das regiões atendidas ainda são incipientes.

O presente trabalho tem como objetivo, portanto, propor e aplicar, à luz dos princípios do novo paradigma de planejamento urbano integrado, um método de avaliação dos impactos de intervenções em sistemas de transportes sobre o problema da baixa acessibilidade aos postos de trabalho da população de mais baixa renda, cativa do transporte público, aqui aplicado ao sistema Metrofor em Fortaleza. Este objetivo é alcançado inicialmente a partir da revisão do estado da arte relacionado à mensuração da acessibilidade (seção 2). Em seguida, discute-se como os princípios éticos podem auxiliar a redirecionar a avaliação de alternativas, apresentando-se então a proposta metodológica de avaliação dos impactos sobre o grupo mais vulnerável (seção 3). Na seção 4, realiza-se a avaliação comparativa *ex-ante* dos impactos advindos

das melhorias operacionais propostas nas linhas Sul e Oeste do Metrofor, com as conclusões dessa análise apresentadas na seção 5.

## 2. LOGSUM COMO MEDIDA DE ACESSIBILIDADE

Acessibilidade é um conceito que tem se tornado central no processo de planejamento urbano integrado desde a década de 1960, surgindo como uma medida do potencial de oportunidades de interação entre o homem e o meio (Hansen, 1959). Neste trabalho, entende-se acessibilidade como a facilidade com a qual indivíduos acessam atividades, dadas a distribuição espacial do uso do solo e a oferta do sistema de transportes em que estes se inserem, tal qual definido por Geurs e van Wee (2004).

Para medir a acessibilidade, diversas abordagens já foram propostas. Geurs e van Wee (2004) separam essas medidas em quatro tipos: 1) baseadas em *infraestrutura*: analisam o nível de serviço da infraestrutura de transporte; 2) baseadas em *localização*: analisam a acessibilidade nas localizações, tipicamente no nível macro, descrevendo o nível de acessibilidade até as atividades espacialmente distribuídas; 3) baseadas em *pessoas*: analisam a acessibilidade no nível do indivíduo, considerando as restrições temporais e espaciais; 4) baseadas em *utilidade*: analisam os benefícios econômicos que as pessoas obtêm a partir do acesso às atividades espacialmente distribuídas.

Tais abordagens, todavia, apresentam limitações características oriundas tanto à sua formulação matemática quanto à base teórica que as fundamenta, implicando diretamente na mensuração da acessibilidade em diferentes contextos. Os dois primeiros tipos de medidas citados anteriormente, apesar da menor complexidade em termos de necessidade de dados, não captam fatores referentes ao grupo social em questão, de maneira que se apresentam como muito restritivos à análise. O terceiro tipo, por sua vez, apesar de relacionar-se às características sociais do grupo de análise ao captar suas restrições de orçamento financeiro e de tempo, demanda uma grande quantidade de informações acerca da jornada das pessoas, de tal sorte que sua operacionalização é de grande dificuldade.

A escolha pela última abordagem embasa-se no fato desta ser dotada de solidez teórica, possuindo maior poder explicativo do fenômeno; porém é classificada como de mais difícil interpretação por parte dos planejadores e atores do sistema (van Wee, 2016). Para tal, a principal justificativa reside no fato de que a mensuração da utilidade, apesar de expressa por uma unidade de medida quantitativa (geralmente uma unidade monetária), não traduz adequadamente uma grandeza (Dong *et al.*, 2006). Isto significa que, embora seja possível atribuir uma unidade à medida (resolvendo o que o autor denomina de '*scale condition*'), o seu valor absoluto não transmite significado algum (recaindo no '*level condition*' ou ausência de grandeza), consoante com o conceito primordial de utilidade. Desta forma, a compreensão do indicador baseado em utilidade apresenta-se como mais difícil quando comparada, por exemplo, a um indicador apoiado apenas no tempo de viagem, posto que este se refere diretamente a um atributo da viagem. Apesar disso, a análise pode ser viabilizada por meio da relativização dos valores do indicador de utilidade, oriundos do mesmo modelo de escolha discreta.

Os indicadores de acessibilidade baseados em utilidade tem sua base teórica na Economia de Bem-Estar, na qual a utilidade do deslocamento é entendida como o preço global a ser pago por um indivíduo para realizar tal deslocamento, o que equivale à contrapartida da utilidade do bem ou serviço consumido (Marshall, 1920), obtido na realização da atividade na outra ponta

da viagem. Assume-se, assim, que as percepções e preferências dos indivíduos podem ser aliadas aos atributos da viagem para originar um indicador, cuja uma das vantagens é a agregação de informações relativas aos dispêndios gerais da viagem, podendo não se limitar somente aos custos financeiros e de tempo.

No contexto da modelagem de escolha discreta, este indicador é reconhecido pela máxima utilidade esperada em uma situação de escolha, sendo equivalente à utilidade da alternativa escolhida. Ao se calcular o indicador para uma situação de escolha de modos ou rotas de viagem, está se obtendo insatisfação dos indivíduos ao se deslocarem e, portanto, a própria acessibilidade (de Jong *et al.*, 2005; Kohli e Daly, 2006; Small e Verhoef, 2007). Os aspectos matemáticos deste processo são discutidos por Ben-Akiva e Lerman (1985) que determinam o valor da utilidade máxima esperada no contexto do uso de modelos *logit* (Equação 1).

$$E(CS_n) = E[\max(U_{nk})] = \frac{1}{\alpha_n} \ln\left(\sum_k e^{V_{kn}}\right) + \frac{\gamma}{\mu} \quad (1)$$

A expressão  $\ln\left(\sum_k e^{V_{kn}}\right)$  fornece a máxima utilidade de deslocamento esperada para um indivíduo dado um conjunto de escolhas, oriundo da formulação *logit*. A parcela final, por sua vez, é definida pela divisão da constante de Euler-Mascheroni ( $\gamma$ ) pelo coeficiente de dispersão ( $\mu$ ), sendo fruto da operação matemática e não possuindo relevância em termos de fenômeno. Devido à sua forma matemática, este indicador é comumente denominado *logsum*. A divisão da expressão pelo coeficiente de utilidade marginal do custo financeiro,  $\alpha_n$ , transforma a utilidade em unidades monetárias; transformação esta que é de interesse para análises econômicas. Portanto, o *logsum* serve como uma medida de conveniência do conjunto de alternativas oferecido aos tomadores de decisão (Small e Verhoef, 2007) por meio de uma agregação das utilidades, a partir de uma interação competitiva entre as alternativas ( $k$ ) para um grupo de pessoas ( $n$ ), passando a ser apenas uma medida para o grupo “ $n$ ”.

Em contrapartida, este indicador apresenta duas principais limitações (Dong *et al.*, 2006), como previamente introduzido. A primeira se refere ao fato de a utilidade não possuir unidade palpável, podendo ser corrigida a partir da divisão do seu valor por um dos coeficientes de utilidade marginal (por exemplo, do custo), de forma a atribuir ao indicador a grandeza correspondente. A segunda faz referência à ausência de nível de escala, de tal forma que o indicador não possui um número absoluto com significado concreto, necessitando de um valor de referência para o qual se realiza a análise. Todavia, posto que a análise realizada neste trabalho é intrinsecamente comparativa, a ausência de nível não se apresenta como empecilho à avaliação de alternativas; embora não permita a interpretação direta da grandeza dos valores dos indicadores.

### 3. PROPOSTA METODOLÓGICA

Mesmo reconhecendo o papel central da acessibilidade no novo paradigma de planejamento urbano integrado, e assumindo que uma medida baseada em utilidade é uma das mais adequadas para representá-la, ainda faz-se necessário decidir qual a distribuição justa de acesso (Golub e Martens, 2014). Como visto anteriormente, duas teorias divergem sobre a análise da equidade da distribuição de acessibilidade: enquanto o igualitarismo foca nas diferenças de acessibilidade entre grupos de indivíduos, buscando um mesmo nível para todos, o suficientismo propõe que todos os indivíduos recebam um nível mínimo de acessibilidade (Lucas *et al.*, 2016). Nesta análise, propõe-se avaliar a acessibilidade a partir da teoria do igualitarismo, já que reconhecer as diferenças entre grupos de indivíduos pode contribuir na definição de alternativas de solução voltadas especificamente para esses grupos.

Deve-se identificar quais sejam os grupos mais vulneráveis como base para a aplicação desses princípios. Neste sentido, Thomopoulos *et al.* (2009) realizam uma revisão das categorias de equidade importantes em avaliações *ex-ante* de políticas, projetos e planos de transportes. Nessas categorias estão incluídas a equidade social, que se refere aos impactos de características sociais, econômicas e pessoais de um indivíduo, grupo ou região; e a equidade espacial, que insere na análise a localização geográfica do indivíduo, grupo ou região afetada por um projeto de infraestrutura de transportes. Dessa forma, um processo de planejamento que promova a equidade e o igualitarismo deve selecionar como intervenção aquela solução que melhor compense as diferenças de acessibilidade entre os grupos de indivíduos, resultando em maior equidade social, e que atue também minimizando as diferenças entre as regiões de análise para que seja alcançada a equidade espacial. A construção do método apresentado neste trabalho foi pausada, portanto, na inclusão do princípio da equidade na avaliação de uma determinada intervenção no sistema de transportes, considerando a teoria do igualitarismo para nortear a análise dos impactos da intervenção sobre a acessibilidade.

### 3.1. Indicadores adotados

De início, duas premissas são assumidas. Primeiro, o grupo social analisado é caracterizado por não possuir acesso direto aos automóveis particulares. Isto significa que, no cálculo do *logsum* ( $S_{ij,c}$ ), considera-se uma alternativa a partir do caminho mínimo entre as zonas obtido utilizando a rede de Transporte Público (TP) e, na outra, utilizando modos não-motorizados apenas. Segundo, no cálculo desta utilidade, divide-se seu resultado pelo módulo do coeficiente de utilidade marginal do custo financeiro da viagem ( $\beta_c$ ) para resolver o problema de escala apresentado por esta abordagem. O primeiro indicador utilizado representa a acessibilidade aos postos de trabalho dos residentes da zona “i” em um cenário “c” ( $A_{i,c}$ ) e é matematicamente calculado como a média ponderada do *logsum* ( $S_{ij,c}$ ) pela quantidade de empregos em cada zona a ser acessada ( $E_j$ ) (Equação 2).

$$A_{i,c} = \frac{\sum_j S_{ij,c} E_j}{\sum_j E_j} \quad (2)$$

Para as análises do caso de Fortaleza, são considerados dois cenários. O cenário atual de operação do sistema (denominado de “Base”) apresenta as linhas Sul e Oeste do Metrofor ainda com *headways* longos (20 min) e sem integração com o restante do TP. O cenário alternativo (denominado de “Alt”) considera uma intervenção operacional para redução dos *headways* médios (6 min) e integração tarifária entre metrô e o restante do TP. Deste modo, o segundo indicador adotado representa o impacto ocasionado pela intervenção, calculado pela diferença de acessibilidade entre os cenários “Base” e “Alt” (Equação 3).

$$I_i = A_{i,alt} - A_{i,base} \quad (3)$$

### 3.2. Hipóteses levantadas

Como hipóteses a serem investigadas dos impactos (positivos ou negativos) da intervenção sobre o problema da acessibilidade, associadas a uma categorização por zona, tem-se:

H1: Aumento nos congestionamentos das linhas de ônibus devido à realocação da demanda tanto no acesso quanto na difusão do sistema metroviário, possibilitada pela integração tarifária. Esta hipótese acomete as chamadas zonas prejudicadas, identificadas a partir de valores da medida de impacto menores que zero (redução na acessibilidade entre cenários);

H2: Redução dos tempos de viagem a partir do sistema de ônibus, associados a melhorias pouco significativas das viagens que contemplem o modo ferroviário. Isto ocorreria pelo aumento na fluidez das rodovias devido à redução da sua demanda por outros grupos de usuários. Esta hipótese acomete as chamadas zonas ligeiramente beneficiadas, identificadas a partir de valores de impacto entre zero e um desvio padrão positivo;

H3: Forte incremento no nível de acessibilidade, resultado direto da intervenção. Acredita-se que esta melhora significativa ocorra por se tratar de áreas com maior número de usuários ativos do sistema no cenário alternativo, sendo beneficiados pela redução dos tempos de espera associados a melhorias no acesso e/ou difusão do sistema devido à integração tarifária. Esta hipótese acomete as chamadas zonas fortemente beneficiadas, identificadas a partir de valores de impacto no nível de acessibilidade maiores que um desvio padrão positivo.

### 3.3. Método de avaliação

A avaliação tem início com a caracterização da situação atual (cenário “Base”) pela análise da distribuição espacial das atividades, seguida da análise espacial e não espacial da acessibilidade. Com foco em um grupo social específico (população de baixa renda), avalia-se apenas a distribuição espacial do indicador (Equação 2). Esta representação ilustra o nível de equidade espacial, permitindo localizar as regiões com maiores impedâncias de acesso. Em seguida, de posse das medidas de acessibilidade para o cenário “Alt”, a análise se divide em quatro etapas (Figura 1).

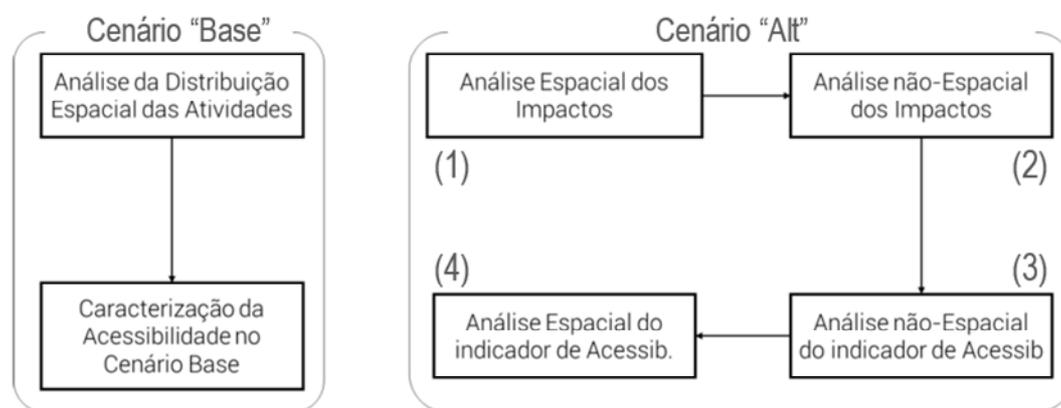


Figura 1. Método de avaliação para o cenário “Base” e para o cenário “Alt”.

Na primeira etapa da avaliação (Figura 1 – item 1), realiza-se a análise da distribuição espacial do indicador de impacto (Equação 3), buscando-se avaliar a intervenção como promotora da igualdade de oportunidades e verificar a incidência dos impactos sobre as zonas em piores condições. As hipóteses levantadas *a priori* acerca dos impactos subsidiarão uma interpretação qualitativa e espacial dos impactos da intervenção. Pretende-se verificar se a intervenção atua melhorando a acessibilidade das regiões mais problemáticas, contribuindo para a equidade espacial. Para isso, analisa-se a coincidência espacial entre os indicadores de impacto e de acessibilidade do cenário base, sendo desejável que os benefícios mais intensos ocorram sobre as regiões mais críticas. Espera-se que a solução promotora da igualdade de oportunidades favoreça os indivíduos do grupo social desfavorecido, que possuem níveis mais baixos de acessibilidade. Em complemento, os benefícios mais intensos devem ocorrer sobre as regiões mais populosas, atingindo assim mais indivíduos. No outro extremo, busca-se também analisar se os impactos

negativos, especialmente os mais intensos, atuam sobre regiões populosas e cujos níveis de acessibilidade são críticos no cenário base.

Na segunda etapa (Figura 1 – item 2), analisa-se a distribuição não-espacial dos impactos, verificando quantas pessoas são beneficiadas com a intervenção, e não mais a zona em que isso ocorre. Nesta análise, quantifica-se o número de pessoas ou domicílios cuja acessibilidade se elevou após a intervenção. Em seguida, busca-se analisar a distribuição dos impactos por meio do seu histograma, possibilitando analisar a forma e a dispersão dos impactos sobre a população. Finda a análise dos impactos, parte-se para a análise da acessibilidade no cenário “Alt”. Na terceira etapa (Figura 1 – item 3), caracteriza-se a distribuição da acessibilidade dentro do grupo no cenário “Alt” a partir de uma perspectiva não-espacial. Deve-se medir a dispersão da variável já que uma grande dispersão aponta para maior desigualdade dentro do grupo analisado. Propõe-se ainda descrever a forma da distribuição do indicador sobre a população por meio do histograma.

Na quarta etapa (Figura 1 – item 4), analisa-se a distribuição espacial do indicador de acessibilidade para avaliar os efeitos da intervenção sobre o problema. Primeiro, o indicador é analisado de forma isolada, apenas no cenário “Alt”, para se identificar que regiões tem melhor e pior situação de acessibilidade. Em seguida, de forma integrada, compara-se a distribuição espacial da acessibilidade em ambos os cenários “Base” e “Alt” para ilustrar como a intervenção do sistema de transportes atuou sobre a equidade espacial do indicador. O enfoque da análise está na capacidade da intervenção em reduzir os níveis de desigualdade do sistema. Assim, caso o quartil que represente a população crítica (em pior situação) de acessibilidade seja mais positivamente alterado do que o seu equivalente para a população em melhor situação, considera-se que a intervenção teve efeito mitigador da desigualdade.

#### 4. APLICAÇÃO

Inicia-se a avaliação dos impactos de investimentos em aspectos operacionais do Metrofor pela caracterização do problema a partir do indicador de acessibilidade baseado em utilidade, comparando-o com o indicador baseado em tempo de viagem. Tais melhorias operacionais referem-se a: (i) aumento de frequência (onde o *headway* na situação atual é de 20 minutos para ambas as linhas, sendo reduzido para 6 minutos no cenário com a intervenção); (ii) integração tarifária com o Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza (SIT-FOR), dado que no cenário “Base” as linhas Oeste e Sul custam, respectivamente, R\$ 2,00 e R\$ 3,20 e, no cenário “Alt” com a intervenção, assume-se a livre integração temporal com os ônibus urbanos em qualquer ponto da rede, com tarifa única de R\$ 3,20 (valores em Julho/18).

A finalidade é verificar a validade da aplicação do indicador de *logsum* por meio da comparação das distribuições espaciais da acessibilidade, destacando suas vantagens e limitações em relação a indicadores da abordagem infraestrutural. O modelo de escolha discreta utilizado para o cálculo da acessibilidade neste estudo é baseado em uma regressão *logit*, considerando os atributos de tempo total do deslocamento (agregando o tempo no veículo e de espera na parada) e custo marginal da viagem. A estimação se deu a partir de uma pesquisa de preferência declarada realizada em 2015, na qual estavam disponíveis três atributos, com três níveis cada: o tempo se deslocando, o tempo em espera e o custo do deslocamento. Utilizou-se um desenho de experimento completo, mas dada a inviabilidade de apresentar 27 situações de decisão aos entrevistados, o desenho foi subdividido em nove blocos cada um com três situações cada. Esses

blocos eram ortogonais entre si e garantiam a observação dos efeitos primários de cada atributo, os únicos de interesse para essa análise. A aplicação realizada em 20 locais da cidade de Fortaleza selecionados aleatoriamente, originou uma coleta de 2665 observações. Para o grupo de interesse, definido como a população com renda domiciliar de até 3 salários mínimos, foram coletadas 1241 observações.

Na calibração dos modelos de escolha discreta, utilizou-se a maximização do *log-likelihood* realizada com o auxílio do *software Biogeme*. O atributo tempo de espera não se mostrou significativo em nenhuma das calibrações realizadas, o que induziu ao agrupamento do tempo de espera e de deslocamento, sendo ambos ponderados pelo coeficiente calibrado para o tempo de deslocamento. Portanto, o modelo mais adequado possui como parâmetros uma constante específica da alternativa, um coeficiente de utilidade marginal do custo e um coeficiente de utilidade marginal do tempo de deslocamento, apresentados nas Equações 4 e 5.

$$V_{coletivo} = 0,151 - 0,3318 \times t(\text{min}) - 0,0192 \times c(R\$) \quad (4)$$

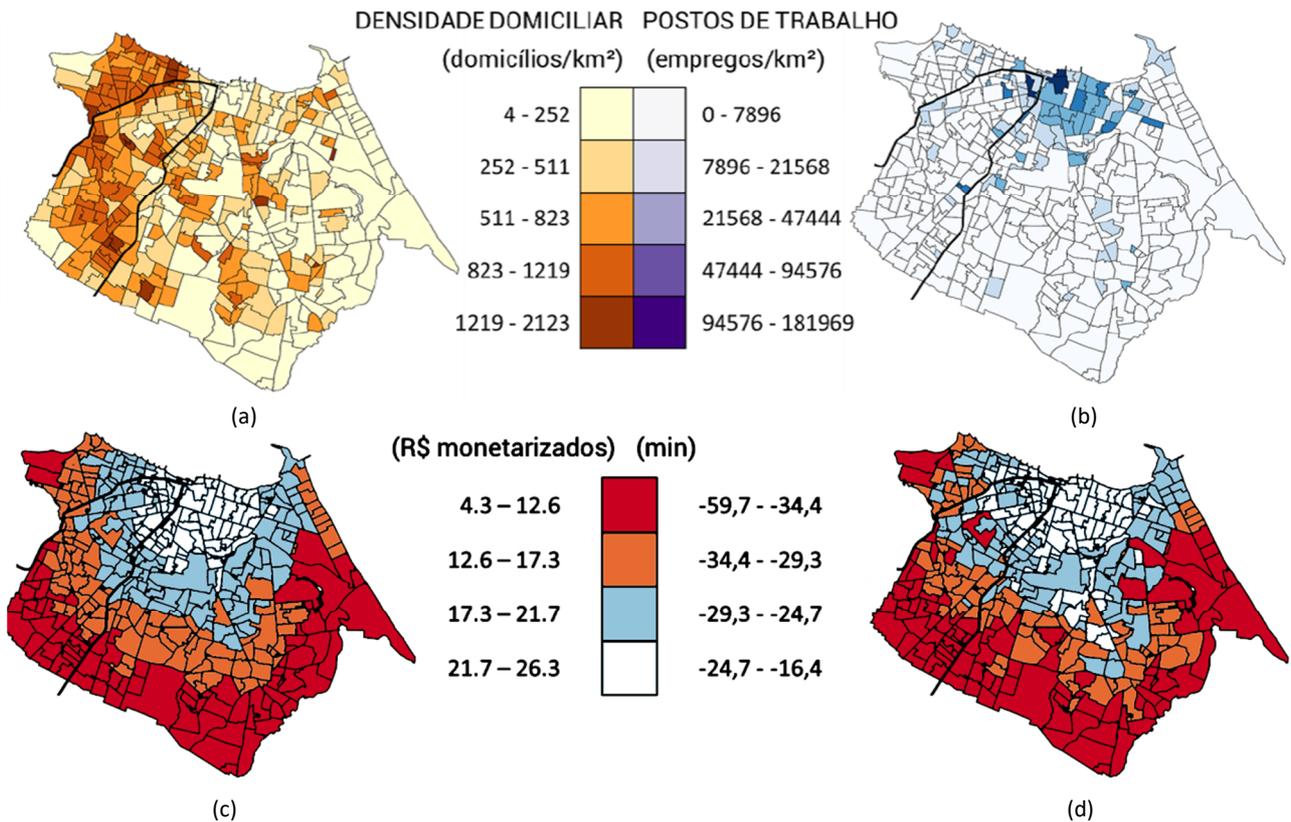
$$V_{coletivo} = 0,3318 \times t(\text{min}) \quad (5)$$

Os tempos e custos de deslocamento entre as zonas foram calculados valendo-se dos submodelos de transportes da plataforma TRANUS, calibrados para Fortaleza (Andrade, 2016), incorporando no ano base os congestionamentos causados a partir do padrão estimado dos deslocamentos. Para o cenário “Alt”, o submodelo permitiu considerar a realocação dos modos de transporte da demanda e suas interações com a oferta, como na redução do congestionamento pelo aumento da demanda por TP, ou da saturação em linhas de ônibus. Os empregos, fator de ponderação no indicador de acessibilidade, foram estimados pelos vínculos empregatícios e estabelecimentos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS, 2010) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) para 2015 e captam o impacto da distribuição espacial das atividades.

#### 4.1. Caracterização da Situação Atual

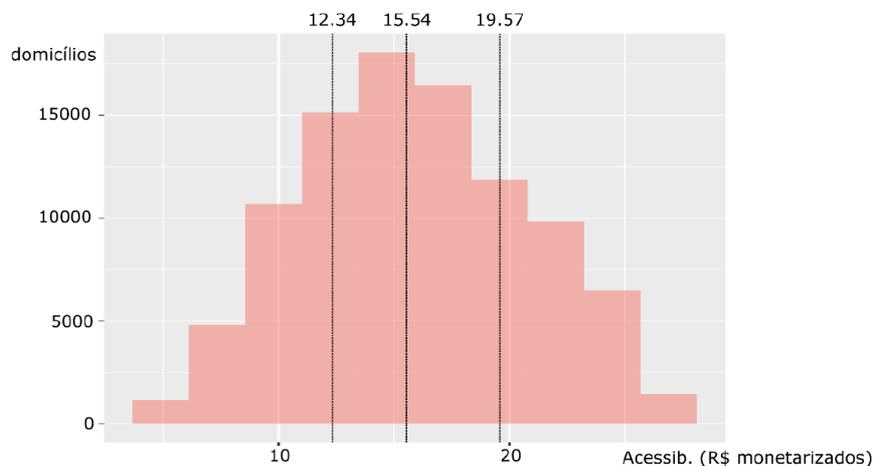
Analisou-se a distribuição espacial dos domicílios da população de renda mais baixa, cativa do sistema de TP (Figura 2a). Utilizou-se para tal os dados do Censo (IBGE, 2010), espacializados segundo zoneamento proposto por Andrade (2016). Desta análise espacial, observa-se a presença dominante do grupo de interesse na periferia oeste da cidade, com pouca participação na sua região central, onde há forte concentração espacial dos empregos (Figura 2b). A comparação dos dois mapas aponta que o estrato de renda mais baixa da população localiza-se majoritariamente nas regiões onde há pouca presença de postos de trabalho, o que evidencia a contribuição da distribuição espacial das atividades à severidade do problema.

A Figura 2 apresenta ainda a distribuição espacial da acessibilidade aos postos de trabalho. Observa-se um padrão em que a região central da cidade possui melhores níveis de acesso. Este padrão se aproxima da distribuição espacial dos postos de trabalho (Figura 2b). Assim, pode-se identificar as regiões periféricas como críticas, especialmente as zonas ao sul da cidade, que possuem os menores valores do indicador. Tal padrão é complementado por aquele observado na caracterização da acessibilidade por tempo de viagem (Figura 2d), corroborando o indicador baseado em utilidade (Figura 2c). Todavia, ressalta-se pelo menos duas limitações da medida de utilidade. Aplicada à acessibilidade, ela não pode ser interpretada como utilidade positiva, mesmo quando seus valores são monetizados. Decorre disto que o indicador não gera valores absolutos. Mesmo assim, estas limitações não impedem a interpretação da distribuição espacial da acessibilidade, sendo ela relativa entre zonas.



**Figura 2.** Distribuição de domicílios de baixa renda (a) e postos de trabalho (b); distribuição espacial do indicador de acessibilidade baseado em utilidade (c) e no tempo (d)

A análise da localização dos domicílios deste estrato populacional indica que este grupo, apesar de localizar-se sobretudo na periferia oeste, ainda possui presença significativa na região sudoeste e sul da cidade, regiões onde os níveis de acessibilidade apresentam seus valores mais baixos. A análise não-espacial corrobora esta ideia (Figura 3) dada a sua baixa dispersão, refletida pelo coeficiente de variação de 30,3%. Em relação à sua forma, a distribuição apresenta leve assimetria à direita, com menores amplitudes nos dois quartis inferiores (cujos limites são R\$ 12,34 e R\$ 15,54), considerados os mais críticos. Isto implica em maior homogeneidade do fenômeno para os domicílios em regiões mais críticas.



**Figura 3.** Histograma do indicador de acessibilidade no cenário “Base”

### 4.2. Avaliação da Intervenção

Segundo as hipóteses levantadas (seção 3.2), a redução do congestionamento de vias na região central (com maior concentração de empregos e localização das principais estações do metrô), pela transferência de usuários do modo rodoviário para o ferroviário, deveria gerar benefícios difusos em toda a cidade, além de benefícios concentrados ao longo da linha.

Etapa (1): A análise confirma esta hipótese, onde se observa a predominância da categoria de *zonas ligeiramente beneficiadas*, distribuídas por toda a cidade (Figura 4). Analogamente, as *zonas prejudicadas* apresentam grande dispersão pela cidade. Já as *zonas fortemente beneficiadas* concentram-se ao longo da linha Sul, sem observações ao longo da linha Oeste, o que indica que as intervenções não promovem o sistema metroferroviário como alternativa competitiva nesta região. Estas zonas fortemente beneficiadas ao sul ganham tanto pela redução no tempo de espera quanto pelo acesso à estação do metrô.

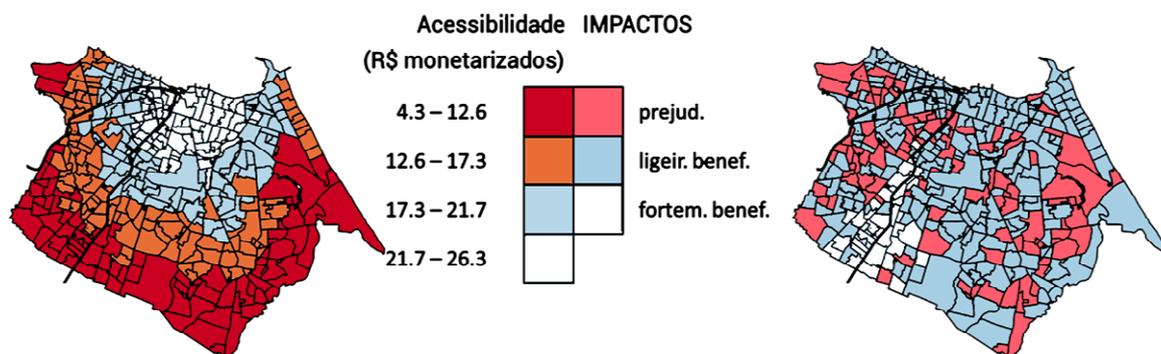


Figura 4. Acessibilidade no cenário “Base” (esquerda) e impactos das intervenções (direita)

Etapa (2): Quando analisado o aspecto não-espacial dos impactos, percebe-se que a parcela de domicílios prejudicados, que sofrem redução na acessibilidade entre os cenários, é bastante numerosa, próxima de 30% de todo o grupo (Figura 5). Entretanto, a intensidade desse prejuízo é muito pequena, já que mais de 90% dos casos se concentram em perdas menores que 1/2 desvio padrão. Quando comparadas, percebe-se que a amplitude dos benefícios é maior, apesar de sua maioria (53,9% do todo; 77,2% dos beneficiados) serem apenas ligeiramente beneficiados.

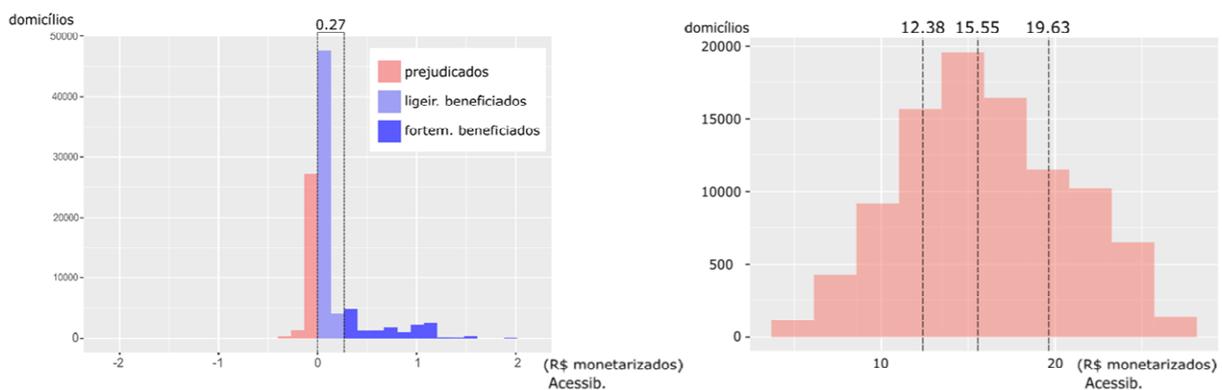


Figura 5. Histograma dos impactos (esquerda) e da distribuição das medidas de acessibilidade no cenário “Alt” (direita)

Etapa (3): Ao se comparar as distribuições não-espaciais dos indicadores de acessibilidade nos cenários “Alt” e “Base”, percebe-se que as formas são bastante semelhantes (Figura 6). Ambas apresentam baixa dispersão (coeficientes de variação: “Base” = 30,3% e “Alt” = 29,6%) e leve assimetria à direita. Isto indica que os quartis de níveis mais baixos de acessibilidade são menos dispersos que os últimos quartis. Por conseguinte, interpreta-se que este grupo de níveis mais críticos é afetado de maneira mais homogênea, possivelmente devido a um padrão de localização mais homogêneo que o grupo localizado nos quartis superiores. Em uma análise comparativa das distribuições (Figura 6), percebe-se que as principais alterações ocorrem na cauda esquerda do histograma, que representa os domicílios de menores níveis de acessibilidade, demonstrando uma translação da região para a direita que indica melhoria no grupo mais crítico. Por outro lado, percebe-se pouca alteração no extremo direito da curva, o que aponta menor ação das melhorias operacionais do Metrofor na acessibilidade do grupo que possui os melhores níveis.

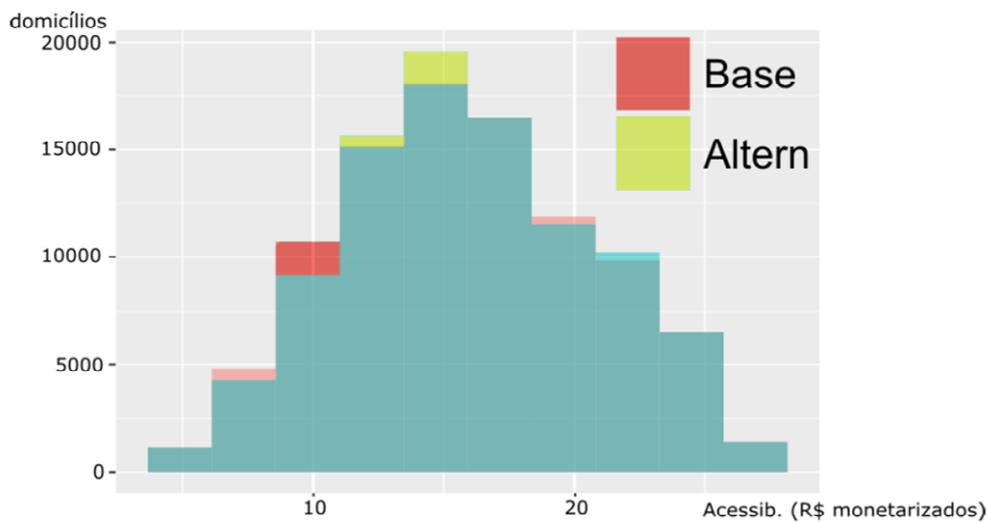


Figura 6. Histogramas do indicador de acessibilidade

Etapa (4): Por fim, a análise espacial do indicador de acessibilidade no cenário “Alt” revela um padrão muito próximo ao que é observado no cenário “Base” (Figura 7). Isto demonstra que a intervenção não alterou efetivamente o panorama geral do problema do baixo acesso aos postos de trabalho pela população de baixa renda.

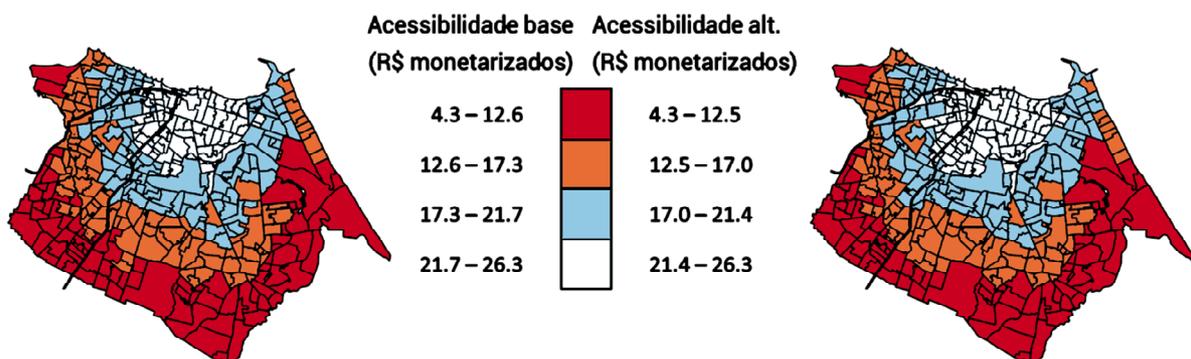


Figura 7. Distribuição espacial da acessibilidade no cenário base (à esquerda) e no cenário alternativo (à direita)

## 5. CONCLUSÕES

Reforça-se nesta análise o reconhecimento do acesso aos postos de trabalho como função essencial do sistema de transportes, principalmente em se tratando de efeitos sobre parcelas da população que estão em maior desvantagem quanto ao nível de acessibilidade. Os resultados obtidos são consistentes e ajudam a esclarecer questões fenomenológicas e metodológicas. Quanto ao fenômeno, tem-se que a avaliação de melhorias decorrentes da solução proposta em Fortaleza pode ser contemplada por dois pontos de vista: primeiro, do número de residências beneficiadas; segundo, do seu efeito sobre o panorama da acessibilidade no território da cidade como um todo. Já quanto ao método, pode-se concluir sobre a relação entre a compreensão mais sistematizada dos problemas e a eficácia das soluções propostas.

Do ponto de vista dos usuários impactados, é possível interpretar que a implantação de melhorias operacionais do sistema metroviário de Fortaleza será benéfica para a população de baixa renda, promovendo uma maior equidade social e espacial no acesso às oportunidades de emprego, pois beneficia principalmente zonas nas quais os níveis de acessibilidade são classificados como críticos e onde existe uma concentração maior da população de baixa renda. Percebe-se, todavia, a necessidade de medidas complementares para mitigar os impactos negativos previstos, como a readequação da frota e das linhas de ônibus para suprir a demanda realocada. Já no ponto de vista do quadro geral da problemática da acessibilidade aos empregos em Fortaleza, constata-se que intervenções restritas ao sistema de transportes, mesmo contemplando alternativas de transporte de massa como o Metrofor, tem efeitos bastante limitados quando não acompanhadas de políticas públicas de uso do solo.

Quanto às contribuições metodológicas do presente trabalho, defende-se a consonância do método de avaliação aqui proposto com o novo paradigma do planejamento de transportes no que se refere à orientação ao problema. Os resultados apontam para a necessidade de que a elaboração de alternativas de solução deva ser atrelada a um esforço melhor sistematizado de caracterização e diagnóstico dos problemas a serem resolvidos, sob pena de perder em nível de efetividade. Deve-se ressaltar, entretanto, que o indicador utilizado nesta aplicação, apesar da forte solidez teórica e do potencial de incorporação de diferentes aspectos, pode não dar suporte adequado ao diálogo por parte dos *stakeholders* do planejamento, possuindo difícil compreensão tanto em termos absolutos quanto em termos incrementais. Ou seja, sua aplicabilidade para produzir conhecimento que possibilite uma negociação de conflitos mais eficaz é restrita pela complexidade da teoria e dificuldade de representação/entendimento dos resultados por parte de atores não especialistas. Essas questões vêm ganhando espaço na literatura especializada e surgem como caminho de desdobramentos futuros para pesquisas sobre planejamento estratégico da acessibilidade e mobilidade urbanas.

### AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.

### REFERÊNCIAS

- Andrade, B. R. (2016). *Compreensão da Problemática da Periferização por Segregação Involuntária no Planejamento da Acessibilidade e Mobilidade em Fortaleza*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.10.005
- Ben-Akiva, M. E., Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand* (1st ed.). Cambridge and London: The MIT Press.
- de Jong, G., Pieters, M., Daly, A., Graafland-Essers, I., Kroes, E., Koopmans, C. (2005). *Using the Logsum as an Evaluation Measure* (Working Papers No. WR-275-AVV). DOI: 10.1016/j.tra.2005.05.002

- Dong, X., Ben-Akiva, M. E., Bowman, J. L., Walker, J. L. (2006). Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(2), 163–180. DOI: 10.1016/j.tra.2005.05.002
- Garcia, S. H. F. G., Macário, M. R. M. R., Menezes, E. D. A. G., Loureiro, C. F. G. (2018). Strategic Assessment of Lisbon's Accessibility and Mobility from an Equity Perspective. *Networks and Spatial Economics*, DOI: s11067-018-9391-4.
- Geurs, K. T., van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005
- Golub, A., Martens, K. (2014). Using principles of justice to assess the modal equity of regional transportation plans. *Journal of Transport Geography*, 41, 10–20. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2014.07.014
- Hansen, W. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2) 73-76. DOI: 10.1080/01944365908978307
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Censo Demográfico*. Rio de Janeiro, RJ.
- Kenworthy, J. (2007). Urban planning and transport paradigm shifts for cities of the post-petroleum age. *Journal of Urban Technology*, 14(2), 47–70. DOI: 10.1080/10630730701531708
- Kohli, S., Daly, A. (2006). The use of logsums in welfare estimation: application in PRISM. ©Association for European Transport and Contributors, 1–17. DOI: 10.1080/01441647.2018.1442890
- Lima, L. S. (2017). *Espraiamento urbano por autosegregação e seus impactos na acessibilidade urbana de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Lucas, K. (2012). Transport and social exclusion: Where are we now? *Transport Policy*, 20, 105–113. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.01.013
- Lucas, K., van Wee, B., Maat, K. (2016). A method to evaluate equitable accessibility: combining ethical theories and accessibility-based approaches. *Transportation*, 43(3), 473–490. DOI: 10.1007/s11116-015-9585-2
- Marshall, A. (1920). *Principles of Economics* (8th ed.). London: Macmillian and Co.
- Ministério do Trabalho e Emprego (2015). Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho. Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Ministério do Trabalho e Emprego. Brasília, DF.
- Menezes, E. D. A. G. (2015). *Metodologia para avaliação estratégica da problemática da acessibilidade urbana sob o princípio da equidade*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Meyer, L. H., Roser, D. (2009). Enough for the Future. In A. Gosseries & L. H. Meyer (Eds.), *Intergenerational Justice* (pp. 219–248). Oxford University Press. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199282951.001.0001
- Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice*. Cambridge: Harvard University Press.
- Sen, A. K. (2009). *The Idea of Justice*. London: Allen Lane & Harvard University Press.
- Small, K. A., Verhoef, E. T. (2007). *The Economics of Urban Transportation*. London: Routledge, T&F Gorup. DOI: 10.4324/9780203642306
- Thomopoulos, N., Grant-Muller, S., Tight, M. (2009). Incorporating equity considerations in transport infrastructure evaluation: current practice and a proposed methodology. *Evaluation and Program Planning*, 32(4), 351–359. DOI: 10.1016/j.evalprogplan.2009.06.013
- van Wee, B. (2016). Accessible accessibility research challenges. *Journal of Transport Geography*, 51, 9-16. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2015.10.018
- van Wee, B., Geurs, K. T. (2011). Discussing equity and social exclusion in accessibility evaluations. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 11(4), 350–367. DOI: 10.18757/ejtir.2011.11.4.2940
- Wachs, M., Kumagai, T. G. (1973). Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(5), 437–456. DOI: 10.1016/0038-0121(73)90041-4