

Proposta de construção de indicador de caracterização da acessibilidade na região metropolitana de Fortaleza

Hélio Henrique Holanda de Souza¹, Carlos Felipe Grangeiro Loureiro²

¹Agência Reguladora do Estado do Ceará, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, hhhsouza@gmail.com

²Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, felipe@det.ufc.br

Recebido:

7 de dezembro de 2017

Aceito para publicação:

17 de julho de 2018

Publicado:

31 de dezembro de 2018

Editor de área:

Helena Beatriz Cybis

Palavras-chaves:

Acessibilidade;
Escolha Discreta;
Logsum;
Indicador;
Caracterização.

Keywords:

Accessibility;
Discrete choice;
Logsum;
Indicators;
Characterization.

DOI:10.14295/transportes.v26i4.1546

**RESUMO**

A compreensão da problemática é essencial na construção de soluções adequadas aos problemas de mobilidade e acessibilidade urbanas. Assim, indicadores que possam caracterizar e diagnosticar estes problemas devem ser melhor investigados. Este trabalho propõe um indicador de caracterização da acessibilidade com base no *logsum*, comumente utilizado como medida do excedente do consumidor, apresentando características que favorecem seu uso como medida de desempenho do sistema de transportes. Para propor o indicador, utiliza-se como referência uma representação geral da problemática da mobilidade e acessibilidade e uma tipologia de problemas baseada nos princípios da equidade e sustentabilidade, verificando sua aplicabilidade na Região Metropolitana de Fortaleza. Conclui-se que o método proposto permite a estimativa de indicadores adequados para analisar problemas de acessibilidade desde que no cálculo do *logsum* ponderado, bem como na definição e calibração das funções utilidade, sejam consideradas as especificidades de cada tipo de problema que se pretende caracterizar e diagnosticar.

ABSTRACT

Understanding problems is essential in developing appropriate solutions to urban mobility and accessibility issues. Thus, indicators that may characterize and diagnose such problems should be better investigated. This work proposes an indicator for the characterization of accessibility based on the *logsum*, commonly used as a measure of consumer surplus, presenting features that favor its use as a transport system's performance measure. The indicator's proposition is referenced on a general representation of the mobility and accessibility problem setting, as well as on a typology of accessibility problems based on equity and sustainability principles, verifying its applicability in Fortaleza's Metropolitan Region. The conclusion is that the proposed method allows the estimation of adequate indicators to analyze accessibility problems, provided that in the weighted *logsum* measurement, as well as in the definition and calibration of the utility functions, one considers the specificities of each type of problem to be characterized and diagnosed.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a avaliação dos sistemas de transportes tem se voltado para a sua oferta, o que muitas vezes se reflete em um processo de planejamento destinado a propor soluções, focado na realização de um conjunto de metas predefinidas, em vez de se concentrar na identificação das reais necessidades e nos problemas enfrentados pelos usuários e outros *stakeholders*. Com a incorporação do conceito de mobilidade no planejamento urbano, aumentam-se as preocupações do processo de planejamento em relação aos aspectos da demanda por transportes, permitindo uma análise mais detalhada dos desequilíbrios na relação oferta-demanda, ou seja,

reforçando a necessidade da identificação, caracterização e diagnóstico dos problemas associados ao sistema (Garcia, 2016). A autora também ressalta que as relações entre transporte e uso do solo ganham destaque quando o planejamento da mobilidade é associado ao da acessibilidade urbana. Essa mudança de paradigma reforça a ênfase na demanda e no acesso dos indivíduos às suas principais atividades. Para van Wee (2016), a acessibilidade é um conceito-chave nas políticas de transportes em todo o mundo. Segundo o autor, há diferentes definições para a acessibilidade, a maioria incluindo os destinos e as atividades, assim como a resistência à viagem. Quanto mais opções para chegar a destinos alternativos ou para cumprir atividades com menor resistência à viagem (tempo, custos, esforço), maior o nível de acessibilidade.

A complexidade do sistema de transportes, assim como das relações entre este e os sistemas de atividades e uso do solo, demanda rigor metodológico na sua compreensão. Entretanto, como afirmam Meyer e Miller (2001), o tratamento dado à fase de análise da problemática é preterido à fase de elaboração e avaliação de alternativas, tendendo normalmente a ser bastante geral e abstrato, não utilizando todo o potencial da modelagem. Propostas de intervenção que não sejam embasadas em um diagnóstico robusto da problemática podem reduzir a eficácia do esforço de planejamento. Entende-se, portanto, que as medidas de desempenho consideradas na avaliação dos impactos das alternativas de ação devem ser pensadas como instrumento para a caracterização e o diagnóstico dos problemas de acessibilidade, ou seja, como indicadores da intensidade e magnitude dos problemas, assim como das suas relações de causalidade, incorporando a desutilidade do deslocamento e a utilidade proporcionada pelas atividades.

Neste contexto, o objetivo geral do presente artigo é propor um método de construção de um indicador que quantifique as diferenças nos níveis de acessibilidade entre zonas de uma determinada região, possibilitando a caracterização da problemática integrada dos transportes e uso do solo, e podendo ser aplicado posteriormente como medida de desempenho na avaliação de alternativas para sua solução. Para tanto, será apresentada a seguir uma proposta de representação da problemática que servirá como balizadora da proposta de indicadores de acessibilidade (seção 2); será também discutido o papel do *logsum* como medida de acessibilidade (seção 3), sendo proposto um método para sua determinação (seção 4); e por fim será verificada a aplicabilidade do método proposto na Região Metropolitana de Fortaleza (seção 5). Vale ressaltar que o método proposto neste artigo faz parte de um procedimento mais amplo em desenvolvimento para contemplar ainda o diagnóstico dos problemas de acessibilidade urbana e das suas relações de causa e efeito.

2. REPRESENTAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Para Soares *et al.* (2018), a primeira fase do processo de planejamento, aqui entendida como a compreensão da problemática, é condição para se definir e priorizar objetivos de modo a propor e avaliar alternativas de intervenção. Somente é possível encontrar soluções adequadas por meio de um diagnóstico que mensure a intensidade dos problemas e avalie suas relações de causa-efeito. Assim, a caracterização e o diagnóstico da problemática são etapas fundamentais no processo de planejamento, pois precedem e definem as demais etapas de formulação e avaliação de alternativas. Neste contexto, a modelagem matemática, estatística e computacional possui papel fundamental no processo do planejamento urbano integrado, uma vez que possibilita a representação da situação atual dos subsistemas de transportes e uso do solo, para posteriormente permitir a previsão de seus comportamentos dadas as mudanças ou intervenções

em quaisquer de seus elementos, podendo ser usada tanto na etapa de compreensão da problemática quanto para a avaliação de políticas públicas (De la Barra, 1989; Miller, 2009; Papa *et al.*, 2015). Assim, uma representação confiável da problemática através da modelagem e uso de indicadores ajudaria aos planejadores a caracterizar e diagnosticar os problemas de forma mais objetiva, proporcionando uma melhor tomada de decisão (Lopes *et al.*, 2018).

Portanto, na fase de compreensão da problemática, a modelagem dos indicadores deve assumir primordialmente o papel de ajudar a explicar o comportamento da demanda por transportes, a partir das características das atividades socioeconômicas e do subsistema de uso do solo, assim como das percepções dos usuários quanto a oferta dos serviços. Seu resultado permite relacionar causa e efeito entre os problemas e estimar a intensidade da problemática, facilitando uma posterior hierarquização dos problemas, definição de objetivos e construção de soluções melhores e mais adequadas aos problemas. Conforme mencionado anteriormente, esse novo paradigma remete a problemas de acessibilidade e a medidas de impedância entre as atividades e as pessoas que querem acessá-las, mas quais são os tipos de problemas que normalmente se pretende compreender com o auxílio da modelagem? A priori é útil assumir uma representação geral da problemática da mobilidade e acessibilidade, como a de Garcia *et al.* (2018) apresentada na Figura 1, pois possibilita uma proposta de indicadores de acessibilidade que possam ser utilizados em diversas situações.

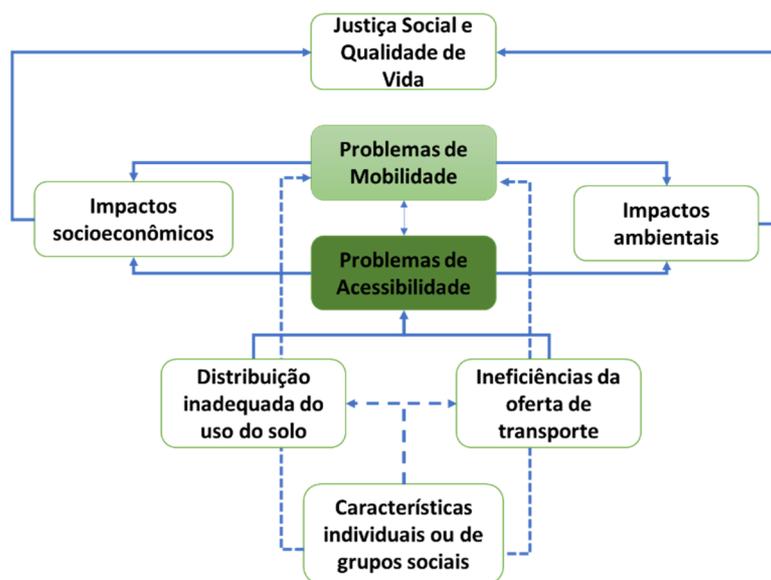


Figura 1: Relação causal da acessibilidade e mobilidade

Fonte: adaptado de Garcia *et al.* (2018).

A proposta dos autores é que as características dos indivíduos ou grupos sociais podem ser causa da distribuição inadequada do uso do solo, de ineficiências na oferta de transporte, ou ainda de problemas de mobilidade. Já os problemas de distribuição inadequada do uso do solo e ineficiências na oferta de transporte podem gerar problemas de acessibilidade que, por sua vez, podem resultar dialeticamente em problemas de mobilidade. Essa problemática da acessibilidade e mobilidade impacta direta ou indiretamente na socioeconomia, no meio ambiente, na justiça social e na qualidade de vida das populações urbanas. Garcia *et al.* (2018) também propõem que os problemas de acessibilidade e mobilidade podem ser categorizados em quatro tipos, conforme Figura 2.

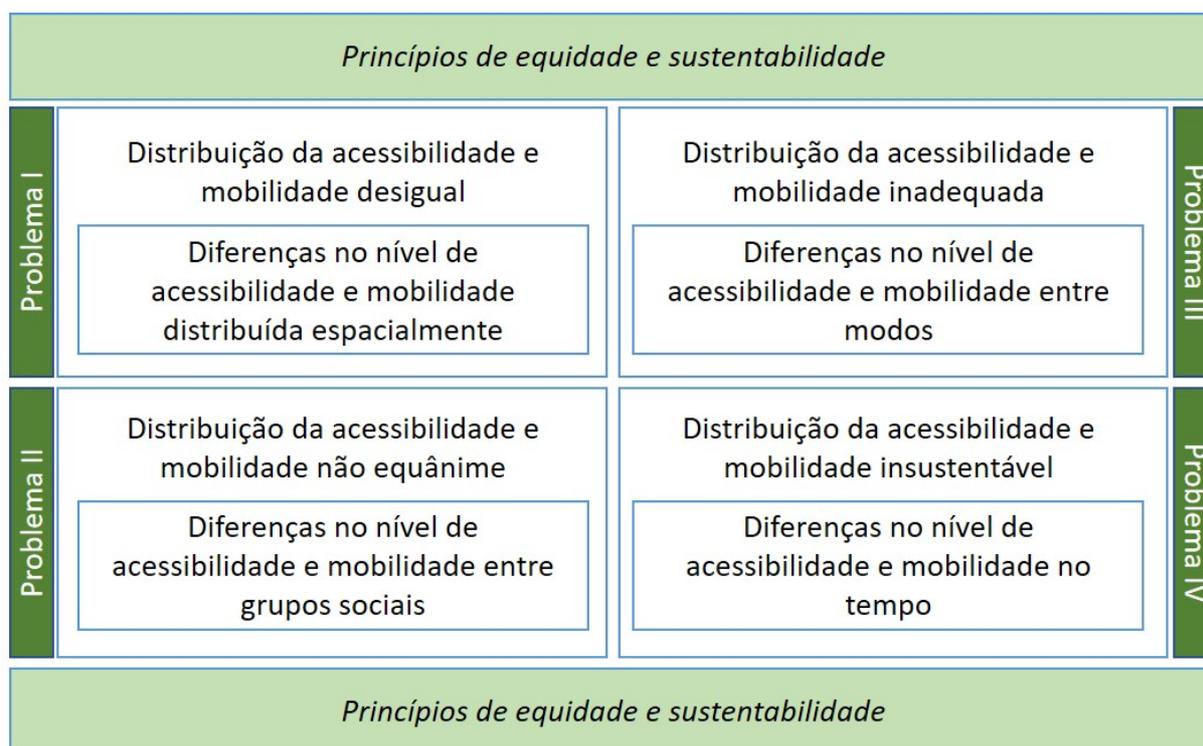


Figura 2: Tipologia de problemas de acessibilidade e mobilidade

Fonte: adaptado de Garcia *et al.* (2018).

No Problema Tipo I, distribuição desigual da acessibilidade e mobilidade no espaço, diferenças nos valores dos indicadores devem ser mensuradas em algum nível de agregação (zonas de tráfego, por exemplo) para toda a área de interesse, podendo ser analisadas para grupos sociais específicos. Caso o interesse seja caracterizar e diagnosticar distribuições não equânimes nos níveis de acessibilidade e mobilidade entre grupos sociais, recai-se no Problema Tipo II. Já no Problema Tipo III, diferenças de acessibilidade e mobilidade entre modos de transporte, deve-se comparar desigualdades que venham a comprometer a escolha modal, especialmente em contextos de usuários cativos do transporte público ou não-motorizado. Por fim, no Problema Tipo IV, diferenças nos níveis de acessibilidade e mobilidade ao longo do tempo, busca-se avaliar a sustentabilidade dos padrões atuais analisando a evolução da problemática sobre as gerações futuras, ou seja, realizando uma análise de prognóstico.

Considerando essa tipologia de problemas, surge a necessidade de se incorporar nos indicadores a percepção do usuário, dado que se deseja diagnosticar os problemas efetivamente percebidos por estes, por meio de medidas de desutilidade da viagem. Assim, na próxima seção discute-se sobre o *logsum* e a possibilidade de utilizá-lo como base para indicadores que possam caracterizar a problemática da acessibilidade urbana.

3. LOGSUM COMO MEDIDA DE ACESSIBILIDADE

Para Geurs e van Wee (2004), a acessibilidade é formada por quatro componentes: uso do solo, transporte, componente temporal e componente individual. O componente de uso do solo consiste nas quantidades, qualidade e distribuição espacial das atividades. O componente de transporte diz respeito à desutilidade do deslocamento, isto é, à impedância de realizá-lo em termos de utilidade. O componente temporal representa as restrições de tempo, ou seja, a disponibili-

dade das atividades e dos indivíduos ao longo do dia. Por sua vez, a componente individual reflete as necessidades, habilidades e oportunidades dos indivíduos. Em um trabalho mais recente (Geurs e van Wee, 2013), os mesmos autores classificam as medidas de acessibilidade como sendo baseadas: na infraestrutura, na localização, no indivíduo e na utilidade.

Segundo Geurs e van Eck (2001), as medidas de acessibilidade baseadas na infraestrutura, tais como tempos de viagem, congestionamento e velocidade operacional, ainda apresentam grande importância nas políticas de transportes, embora haja uma frequente referência à necessidade de mudança no paradigma das medidas de desempenho na direção de medidas de acessibilidade passiva baseadas na localização das atividades. Por outro lado, existem ainda medidas baseadas em utilidade que captam as percepções e preferências dos indivíduos ou grupos sociais. Estas últimas, segundo Cascetta *et al.* (2013) e Koenig (1980), apresentam a importante vantagem de ter uma base teórica sólida na teoria da utilidade aleatória que fornece uma ligação direta à tradicional teoria microeconômica. Ou ainda, como aponta van Wee (2016), essas medidas: incluem diretamente a utilidade das opções de escolha; são consistentes com os modelos de transportes que são usados para mensurar o impacto do comportamento dos usuários; são capazes de lidar com mudanças nas distribuições espaciais de origens e destinos; assim como consideram uma variedade de opções de escolha caracterizadas por vários atributos distintos.

Dentre as medidas de acessibilidade baseadas na utilidade, destaca-se o *logsum* que é comumente entendido como uma medida do excedente do consumidor ou da variação do bem-estar proporcionado por uma intervenção ou política pública. Para ser aplicado como uma medida de acessibilidade, basta que a função utilidade adotada tenha como argumentos atributos relacionados com o custo do deslocamento e das atividades (Geurs *et al.*, 2010; De Jong *et al.*, 2007; De Jong *et al.*, 2005; Handy e Niemeier, 1997). A forma de cálculo é a mesma de quando o *logsum* é utilizado para estimar o excedente do consumidor para fins de avaliação de alternativas de investimento (p.ex., no método de análise custo-benefício), mas como medida de acessibilidade sua interpretação é diferente. No primeiro caso, mede-se a variação no bem-estar acrescido por um projeto ou política adotada; já no segundo caso, mede-se a acessibilidade percebida pelos usuários dada uma determinada escolha frente a um conjunto de alternativas (Van Wee, 2016; Bhat *et al.*, 2015; Börjesson *et al.*, 2014; Geurs *et al.*, 2010; Niemeier, 1997), apresentando portanto potencial como indicador a ser utilizado na compreensão da problemática, hipótese motivadora deste trabalho.

Para se entender a formulação do *logsum*, recorre-se à definição de Small e Rosen (1981) que, assumindo as premissas dos modelos de utilidade aleatória, defenderam que a função de probabilidade de escolha pode ser considerada a curva de demanda Marshalliana de uma alternativa (escolha) particular; bem como ao que explicaram Kohli e Daly (2006) ao propor que o excedente do consumidor pode ser definido como a máxima utilidade, em termos monetários, que um indivíduo recebe escolhendo uma alternativa. Assim o excedente do consumidor será equivalente à utilidade indireta de uma alternativa que é escolhida por um indivíduo para maximizar sua utilidade. Portanto, considerando que somente se observa o valor esperado do excedente do consumidor, tem-se:

$$E(EC_n) = \frac{1}{\alpha_n} E(\max_i (U_{in} \forall i)) \quad (1)$$

Em que EC_n é o excedente do consumidor para o indivíduo n ; α_n é a utilidade marginal da renda do indivíduo n ; e U_{in} é a utilidade individual de n quando a alternativa i é escolhida. A partir desta formulação, e graças às contribuições de Williams (1977), McFadden (1978), Ben-Akiva e Lerman (1979), e Small e Rosen (1981), tem-se:

$$\frac{dE(\max_i(U_{in}))}{dV_{in}} = P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_i e^{V_{in}}} \quad (2)$$

$$E(\max_i(U_i)) = \int \frac{e^{V_{in}}}{\sum_i e^{V_{in}}} = (\ln \sum_i e^{V_{in}}) + C \quad (3)$$

$$E(EC_n) = \left(\frac{1}{\alpha_n} \ln \sum_i e^{V_{in}}\right) + C \quad (4)$$

Em que P_{in} é a probabilidade da alternativa i ser escolhida pelo indivíduo n ; V_{in} é a parcela sistemática da utilidade da alternativa i ; e C é uma constante desconhecida que representa o fato de que o nível absoluto da utilidade não pode ser mensurado. Por sua vez, como afirmam Kohli e Daly (2006), Train (2009) e De Jong *et al.* (2005), o *logsum* se resume ao $\ln \sum_i e^{V_{in}}$ ou ao logaritmo natural do denominador da função de probabilidade de um modelo logit. Portanto, em um contexto de medida de acessibilidade, pode-se entender o *logsum*, segundo Small e Verhoef (2007), como uma medida resumo da conveniência (máxima utilidade esperada) do conjunto de alternativas.

4. MÉTODO PROPOSTO

4.1. Formulação e Calibração das Funções Utilidade

O primeiro passo para modelar a acessibilidade por meio do *logsum* é calibrar as funções utilidade; para tanto, antes se faz necessário especificar as funções, definir um projeto de experimento e coletar os dados. Entretanto, como utilizou-se na aplicação apresentada na seção 5 uma base de dados já existente, não houve a necessidade de definir o projeto de experimento para coletar os dados. De qualquer forma, estas duas etapas da modelagem dependem da especificação e da precisão desejadas. Com relação à especificação, esta pode ser subdividida na definição dos atributos que deverão compor a função utilidade e o modelo de escolha discreta a ser utilizado. Como atributos foram utilizados aqueles que representam a impedância ao deslocamento, como exposto no item sobre a base de dados. Por sua vez, com relação ao modelo de escolha discreta adotado, o fato da análise se restringir ao sistema de transporte público implicou no uso do modelo mais simples (modelo logit multinomial), pois nesse caso não há problemas com relação a premissa de IIA (Independência das Alternativas Irrelevantes), o que implicaria no uso de um modelo GEV (*Generalized Extreme Value*) como o *Nested*; do mesmo modo, não há interesse na variação aleatória das variáveis explicativas, o que implicaria em modelos do tipo *Mixed*.

Contudo, há diferenças na equação proposta para a função utilidade e na forma de estimativa do *logsum* para cada categoria da tipologia de problemas de acessibilidade. Para caracterizar o Problema Tipo I, deve-se obter a medida de acessibilidade para cada zona independentemente do grupo social ou modo disponível. Neste caso, optou-se pela seguinte formulação:

$$V_i = \alpha_i + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \beta_4 \cdot X_4 + \beta_5 \cdot X_5 \quad (5)$$

Em que V_i é a parte sistemática, α_i é a constante específica do modo i , X_j são respectivamente custo, tempo de caminhada, tempo de espera, número de transbordos e tempo de viagem.

Já para o Problema Tipo II, o objetivo é identificar a diferença de acessibilidade de grupos sociais distintos. A princípio, o caminho seria calibrar funções utilidade para cada grupo social e determinar o *logsum*; entretanto, esbarra-se no fato de que o resultado do valor esperado da máxima utilidade apresenta uma constante desconhecida, isto é, o valor absoluto da utilidade não poder ser medido. Ou como explica Dong *et al.* (2006), o modelo de utilidade aleatória não

depende do valor absoluto da utilidade, mas das diferenças de utilidade das alternativas disponíveis. Qualquer constante pode ser adicionada a todas as utilidades das alternativas sem alterar as probabilidades de escolha do modelo. No entanto, a adição de uma constante altera a acessibilidade calculada pelo valor esperado da máxima utilidade. Assim, a medida de acessibilidade deve ser normalizada considerando as condições de escala e de nível. Portanto, ao utilizar funções utilidade distintas (para cada segmento ou grupo social), obtém-se constantes distintas impedindo a comparação dos resultados.

Cabe esclarecer que, após a estimativa do *logsum* (Equação 4), o que de fato se obtém é um valor de utilidade em reais, mais uma constante para cada zona de tráfego (ou outra unidade de agregação). No caso do Problema Tipo I, compara-se uma zona com as demais, interpretando que uma tem mais ou menos utilidade (acessibilidade) do que a outra, mas não se identificam valores absolutos. Já no caso do Problema Tipo II, pode-se utilizar uma variável *dummy* na função utilidade que identifique o grupo social, o que permite comparar a acessibilidade percebida pelos grupos. Entretanto, essa diferença de acessibilidade é igual para todas as zonas. Uma forma de solucionar esse problema e melhorar a análise é comparar os resultados da acessibilidade com a distribuição espacial da renda.

Por sua vez, para o Problema Tipo III, pretende-se identificar a acessibilidade proporcionada por cada modo de transporte. Neste caso, opta-se pela abordagem utilizada no trabalho de Handy e Niemeier (1997) onde se definem dois cenários: um com todos os modos de transportes e outro com todos os modos exceto aquele que se quer estimar a contribuição na acessibilidade. Cabe apenas uma decisão com relação à especificação da função utilidade e se seus atributos são genéricos ou específicos do modo, ou seja, assumir se os usuários valoram esses atributos de forma independente da alternativa ou não.

O Problema Tipo IV incorpora o princípio da sustentabilidade no tratamento da problemática, mais especificamente das diferenças nos níveis de acessibilidade ao longo do tempo, que pode se alterar em função de três fatores: alteração na oferta (inclusão de novos modos ou intervenções no sistema viário); mudanças nas preferências dos indivíduos (representadas por alterações nos parâmetros ou pesos que os indivíduos alocam a cada atributo); e alteração nos valores das variáveis (aumento nos valores das tarifas, aumento do tempo, entre outras). Desta forma a maneira de se verificar diferenças temporais na acessibilidade é criar cenários de mudanças nos fatores citados e verificar os respectivos impactos na distribuição espacial da acessibilidade em anos-horizonte distintos.

Neste artigo, em função do estágio atual da pesquisa, se detalha apenas o indicador proposto para o Problema do Tipo I e os respectivos resultados obtidos na aplicação a partir de dados do sistema de transporte público de passageiros da RMF. Salienta-se que os modelos foram calibrados utilizando-se o *software* BIOGEME 2.2.

4.2. Obtenção dos valores dos atributos e formulação do indicador para o Problema I

Para analisar problemas do Tipo I, desigualdades sobre o espaço nos níveis de acessibilidade, faz-se necessário obter os valores das variáveis das funções utilidade para um conjunto de caminhos entre as zonas. Para tanto, foi utilizada uma ferramenta denominada *Transit Skims* do *software* Transcad 5.0 (Caliper, 2007) que gera uma matriz de caminhos mínimos entre zonas. O caminho mínimo é definido pelo custo generalizado do deslocamento a partir de um dos métodos disponíveis no *software* (aqui foi utilizado o *Shortest Path*). Essa ferramenta permitiu, com pequenas adaptações, representar todo o custo generalizado do deslocamento considerando

como pesos os valores dos parâmetros calibrados pela Escolha Discreta (ED), o valor do tempo estimado e atualizado, e a política tarifária vigente.

A matriz gerada pode ser desmembrada em várias partes do deslocamento, resultando em matrizes distintas. No presente caso, gerou-se matrizes de custo, tempo de caminhada, tempo de espera, número de transbordos e tempo no veículo (por modo, transporte urbano de Fortaleza, transporte urbano de outros municípios, transporte metropolitano e linhas sul e oeste do metrô de Fortaleza), ou seja, um total de nove matrizes. Entretanto, a ferramenta gera apenas um caminho mínimo entre zonas e, para fins de acessibilidade via *logsum*, deve-se considerar múltiplos caminhos que sejam concorrentes. Para gerar esses caminhos, alterou-se alguns parâmetros do método de caminho mínimo. Estes parâmetros foram o número máximo de transbordos permitidos (variando de 1 a 3) e valor do tempo (variando em mais e menos 25% do valor estimado pela calibração do modelo de ED). Assim, teve-se três valores para o número máximo de transbordos e três para o valor do tempo, gerando nove cenários de análise. Salienta-se que o valor do tempo foi alterado exclusivamente para gerar caminhos alternativos e concorrentes ao caminho mínimo. Considerando-se a existência de nove matrizes por cenário, obteve-se um total de 81 matrizes a serem exportadas para servirem de dados de entrada para o cálculo do *logsum* de cada zona de tráfego.

Com as matrizes em mãos, estas foram transformadas em matrizes-coluna, sendo calculada a utilidade dos nove cenários para cada par de zonas. Aplicando-se a Equação 4, obtém-se a “acessibilidade” entre a zona (o) e a zona (d), e ao se agregar a informação por origem (o) temos a acessibilidade das zonas (o) a todas as demais zonas. Esta acessibilidade ainda pode ser determinada como uma tendência central, ou seja, a acessibilidade média de uma zona. Em ambos os casos, o indicador deve ser usado de forma comparativa entre zonas e considerando que quanto menor o valor (desutilidade) maior a acessibilidade. Entretanto, essa acessibilidade “total” deve ser entendida como uma medida de impedância de uma determinada zona (o) a todas as outras zonas, sem incorporar qualquer atributo de uso solo. Considerando que estar mais ou menos acessível a zonas que não oferecem atividades de interesse é irrelevante, deve-se de algum modo contemplar no indicador a intensidade das atividades. Uma forma de resolver essa questão é incorporar na função utilidade um componente relacionado à escolha do destino em termos das atividades que este oferece. Ou seja, incorporar a utilidade gerada nas zonas de destino dadas as atividades disponíveis. Porém, esbarra-se na dificuldade de calibrar modelos de escolha discreta que atendam a esta necessidade, seja por meio de pesquisas de Preferência Revelada (PR) ou Declarada (PD).

A proposta então é calcular essa acessibilidade ponderada por algum critério que caracterize a atratividade das zonas em função das atividades oferecidas, por exemplo número de empregos. Por outro lado, zonas pouco habitadas terem acessibilidade a zonas com muitas atividades também não é relevante; assim incorporar o número de pessoas associadas a um determinado grupo social, a depender do tipo de acessibilidade que se quer medir, torna-se importante. Portanto, a acessibilidade também deve ser ponderada pelo número de pessoas de determinado grupo social presentes na origem, resultando na seguinte medida:

$$A_o(\text{tipo I}) = \frac{\sum_{d=1}^z \left(\frac{1}{\alpha n} \ln \sum_i e^{V_{in}} \right) \times EMP_d \times POP_o}{\sum_{d=1}^z EMP_d \times \sum_{o=1}^z POP_o} + C \quad (6)$$

Em que A_o representa a acessibilidade da zona (o), EMP_d o número de empregos na zona de destino (d), POP_o o número de pessoa de determinado grupo social na origem (o), e (z) o total de zonas.

5. APLICAÇÃO

5.1 Sistema de Transportes da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)

De forma a verificar a aplicabilidade do método proposto, utilizou-se os dados disponíveis sobre a RMF e seus sistemas de transportes com a finalidade de caracterizar a diferença nos níveis de acessibilidade distribuídos espacialmente. A RMF atualmente é formada por 19 municípios, entretanto boa parte destes de fato não estão conurbados com a capital. Assim, apenas 13 são atendidos pelo chamado Sistema Metropolitano. A RMF é atendida por uma rede de transportes, representada na Figura 3, com cerca de 400 rotas de ônibus/vans com pouco mais de 2.400 veículos distribuídos entre o serviço urbano de Fortaleza, os serviços urbanos de Caucaia, Maracanaú e Maranguape, assim como o serviço metropolitano; além de duas linhas do sistema metroferroviário (linha sul e oeste do Metrofor), para cerca de 1.200.000 deslocamentos por dia útil.

A política tarifária diverge: nos municípios de Caucaia, Maracanaú e Maranguape é definida por linha; em Fortaleza, tem-se tarifa única (R\$ 3,40) com integração temporal sem acréscimo; no sistema metropolitano, tarifa por anéis (seis no total, variando de R\$ 3,40 a R\$ 12,15) com integração temporal com o sistema urbano de Fortaleza com acréscimo de R\$ 1,20; e no sistema metroferroviário, tarifa única (R\$ 3,40 para linha sul e R\$ 1,00 para linha oeste) – valores referentes a junho de 2018.

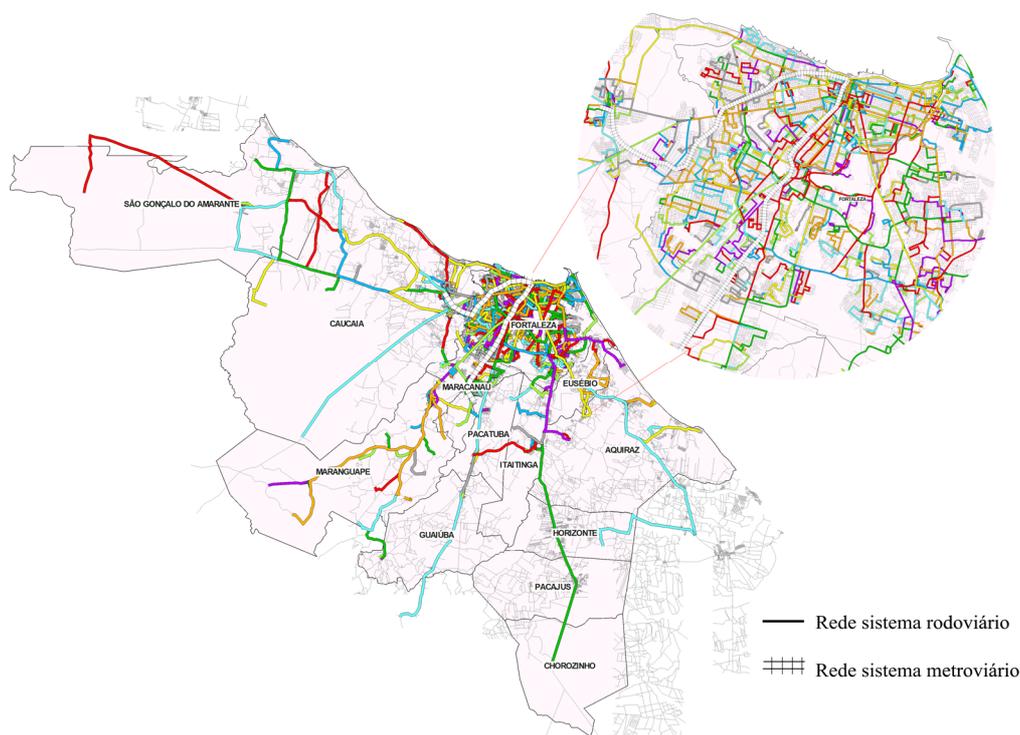


Figura 3: Rede de transportes da RMF

5.2. Base de dados utilizada

Foram utilizadas duas bases de dados: a primeira para se estimar as funções utilidade necessárias para o cálculo do *logsum*, assim como para a definição dos pesos atribuídos à função de custo utilizada na determinação dos caminhos mínimos; e a segunda para modelar a oferta de transporte público da RMF. A primeira tem origem em estudo realizado pela ASTEF em 2006

(ASTEF, 2006) a pedido do Metrofor, denominado “Pesquisa de Identificação dos Usuários da Alternativa de Implantação dos Trechos Vila das Flores / Couto Fernandes (Sistema Elétrico) e Couto Fernandes / João Felipe (Sistema Diesel) Integrantes da Linha Sul do Metrofor”, com o objetivo de identificar o processo de escolha dos potenciais usuários da Linha Sul do metrô (na época das pesquisas usuários do trem a diesel, sistema metropolitano por ônibus e vans, e sistema urbano de Fortaleza por ônibus e vans). Na oportunidade, foram realizadas pesquisas que identificaram o perfil destes usuários e seus deslocamentos, assim como pesquisas de PD que foram consideradas na presente aplicação para uma nova calibração das funções utilidade.

Por sua vez, a segunda base incorpora dados georreferenciados da RMF, consolidada em estudo desenvolvido pela Agência Reguladora de Serviços Públicos do Ceará (ARCE) em 2013 (ARCE e Concremat, 2013) e atualizada com as recentes faixas seletivas de ônibus implantadas em Fortaleza. Esta base dispõe do sistema de rotas das linhas que compõem as redes rodoviárias metropolitana e urbanas dos municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú e Maranguape, e a rede metroferroviária (linhas Sul e Oeste) com respectivas informações de oferta e nível de serviço.

Na pesquisa de PD foram entrevistados 1.638 usuários que geraram 9.440 observações válidas. Cada cartão da PD continha um cenário hipotético de viagem para o usuário. Ao total foram consideradas seis variáveis de transporte como influentes no processo de escolha: custo da viagem, tempo de viagem, tempo de espera, distância de caminhada, condições de caminhada e número de transbordos. Para facilitar o entendimento dos entrevistados, cada cartão continha apenas alternativas com duas variáveis. Dessa forma, foram gerados nove blocos de cartões, com apenas um deles sendo apresentado para cada entrevistado de maneira alternada. Já a base georreferenciada contém uma série de dados e informações, sendo utilizadas aquelas referentes às camadas do sistema viário principal, das zonas de tráfego (283 ao todo), pontos de parada, estações e rotas do transporte público (em um total de 402 com suas respectivas ofertas e medidas de desempenho), bem como a configuração de política tarifária adotada na RMF.

5.3. Resultados e discussões

O primeiro conjunto de resultados diz respeito a calibração das funções utilidade (Equação 5), com os resultados apresentados na Tabela 1. Observa-se que os sinais dos parâmetros foram os esperados, com todos, exceto a constante específica do modo metrô, apresentando significância estatística com p-valor menor que 5%. Entretanto, considera-se que o fato da constante específica do modo metrô ter apresentado p-valor igual a 6% não seja razão suficiente para descarte do modelo.

Tabela 1: Resultados da calibração das funções utilidade

Parâmetro	Valor	p-valor
α_{METRO}	0	0,06
$\alpha_{\text{ONI_M}}$	-0,073	0,01
$\alpha_{\text{ONI_U}}$	-0,114	0,01
α_{TREM}	-0,354	0,01
β_1	-0,694	0,01
β_2	-0,166	0,01
β_3	-0,023	0,01
β_4	-0,484	0,01
β_5	-0,021	0,01

A partir destes resultados se obtém o Valor do Tempo (VT) que é determinado pela derivada parcial do custo pelo tempo (Train, 2009). No caso de uma utilidade linear, o VT se resume, portanto, a razão do coeficiente do tempo de viagem pelo coeficiente do custo monetário (Train, 2009; Cascetta, 2009; Greene e Hensher, 2010). Assim temos que $VT = \beta_5/\beta_1 = 1,81$, que corrigido para junho de 2018 equivale a R\$ 3,65. Além do valor do tempo e das funções utilidade calibradas, os coeficientes foram normalizados e utilizados como pesos no custo generalizado para criar os caminhos alternativos entre cada par origem-destino. Salienta-se que este artifício é necessário na falta de modelos de modo e rota integrados. Com os caminhos entre cada par origem-destino e seus componentes discriminados, aplicou-se os resultados nas funções utilidade calibradas e calculou-se o *logsum* para cada par origem-destino (Equação 4). Este primeiro resultado foi agregado por zona (o), obtendo-se os mapas das Figuras 4 e 5. Trata-se de uma medida de acessibilidade, mas que independe da distribuição das atividades. Ponderando-se pelo número de empregos no destino e número de pessoas com 10 anos ou mais na origem, conforme Equação 6, e agregando pela origem (o), obteve-se os mapas das Figuras 6 e 7 que permitem analisar a diferença de acessibilidade entre as zonas de tráfego considerando o acesso ao emprego.

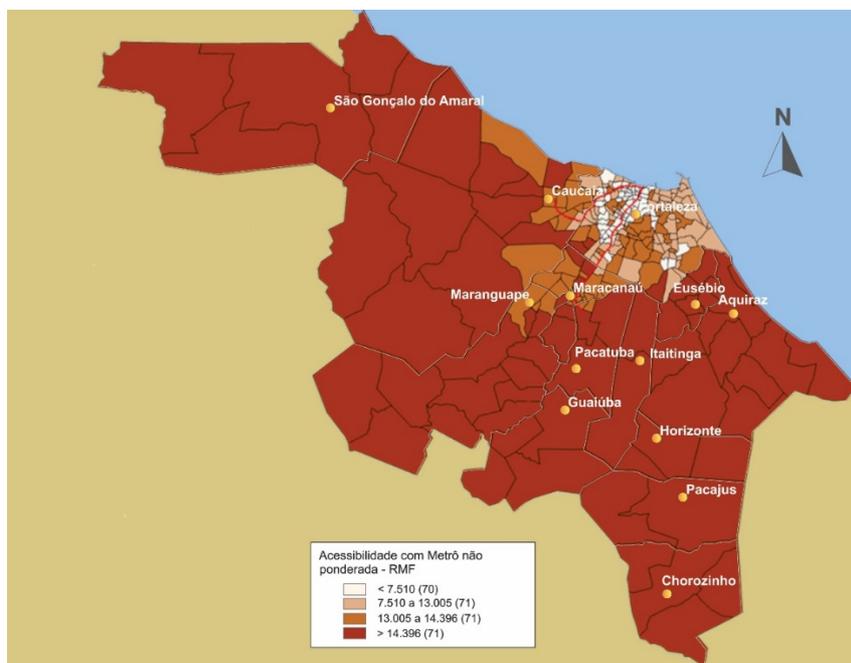


Figura 4: Distribuição da Acessibilidade, desconsiderando os empregos e a população – RMF

Comparando-se os dois conjuntos de mapas, verificam-se poucas diferenças como esperado, já que a grande concentração de empregos na área central de Fortaleza apenas reforça a problemática das zonas mais periféricas nas quais a baixa acessibilidade (ou desutilidade elevada) é mais preocupante. Zonas populosas foram destacadas, bem como zonas afastadas das zonas com número considerável de empregos. Pode-se constatar também que a acessibilidade é melhor (menor resultado do *logsum* ponderado) ao longo dos principais corredores radiais (rodoviários e metroferroviários) de transporte público de Fortaleza. Existem algumas outras zonas de destaque, como Messejana (sudeste de Fortaleza), que além de bem servidas pelo transporte coletivo apresentam elevada oferta de empregos e elevada concentração popu-

lacional. Também se observa uma piora na acessibilidade à medida que se afasta da região central da Capital, região que concentra o maior número de empregos, pois há um aumento do tempo de viagem e do valor da tarifa que se paga.

Entende-se que os resultados acima analisados evidenciam a aplicabilidade do método proposto de construção de um indicador adequado para caracterizar a problemática da acessibilidade urbana e metropolitana em Fortaleza, contemplando: a caracterização de segmentos de usuários e grupos sociais, traduzindo sua percepção sobre os problemas da rede de transportes; e a caracterização dos problemas de acessibilidade, especificamente relacionados à distribuição espacial desigual da acessibilidade.

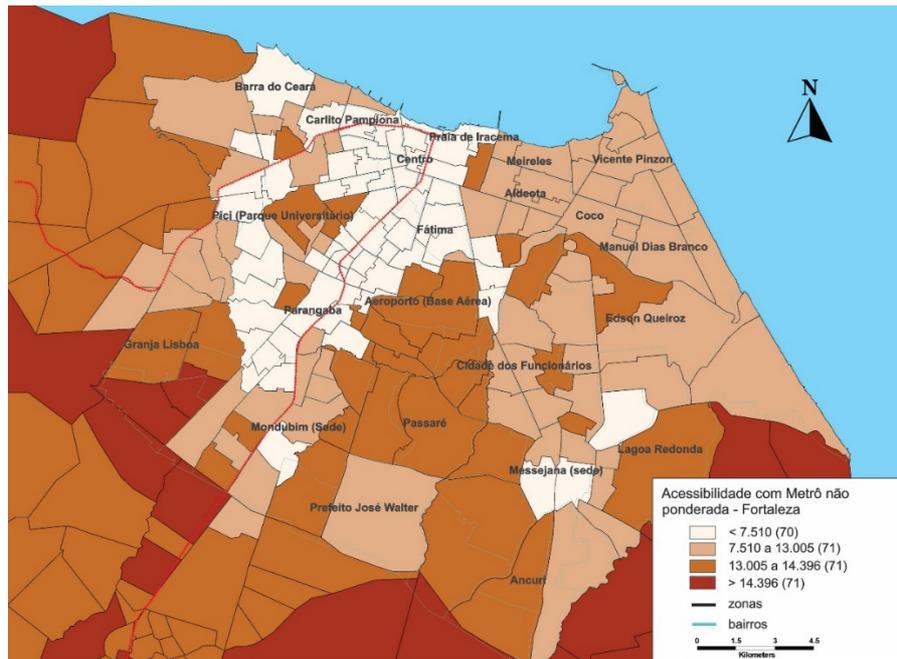


Figura 5: Distribuição da Acessibilidade, desconsiderando os empregos e a população - Fortaleza

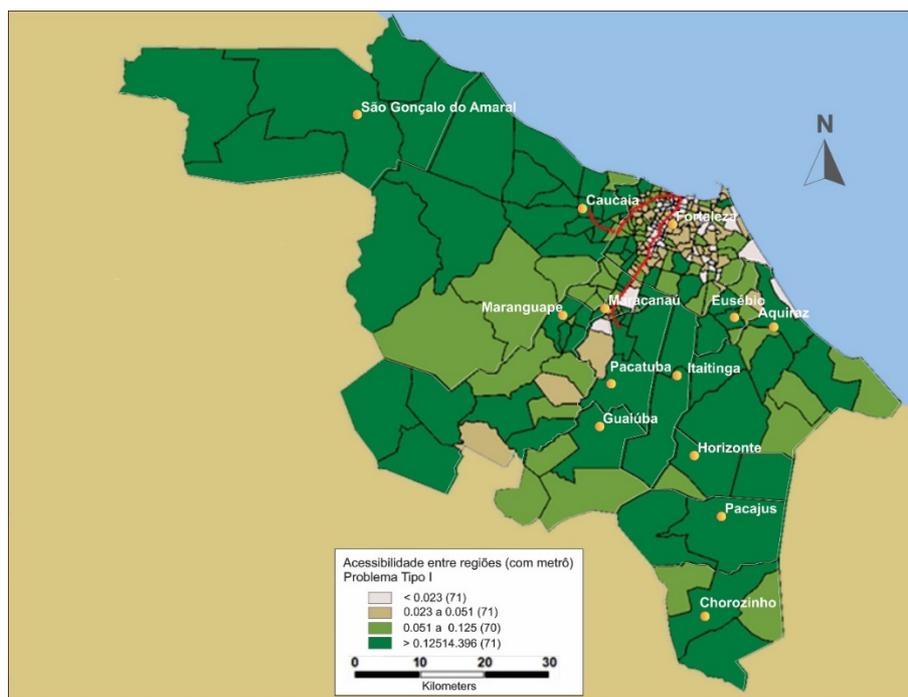


Figura 6: Distribuição da Acessibilidade, ponderada pelos empregos e população - RMF

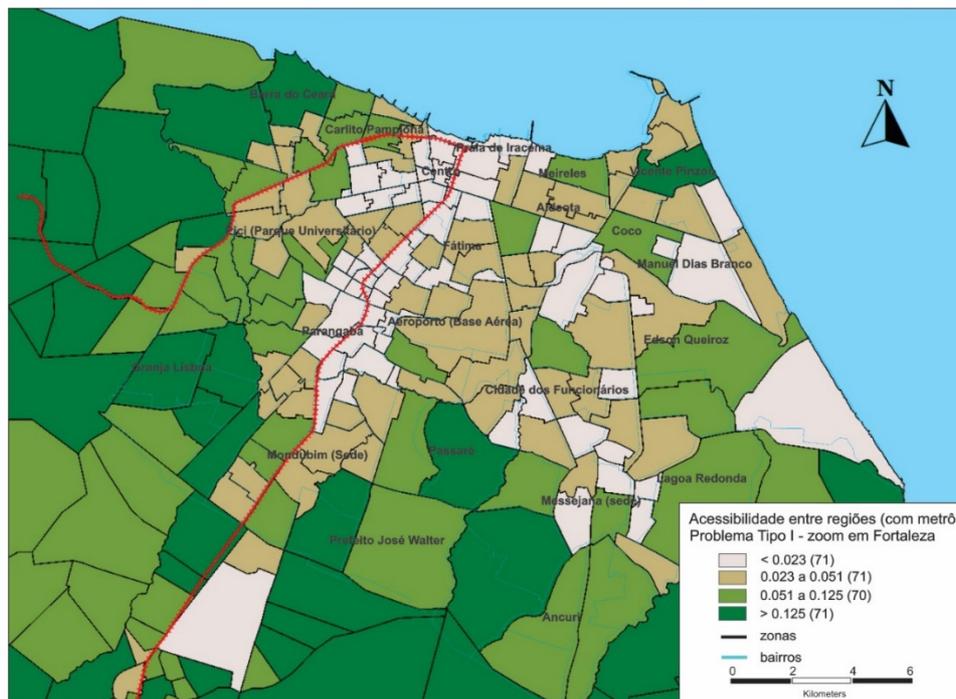


Figura 7: Distribuição da Acessibilidade, ponderada pelos empregos e população - Fortaleza

6. CONCLUSÕES

A revisão elaborada e a discussão sobre o uso do *logsum* confirmam que, mesmo sendo a avaliação de cenários seu uso mais corrente, este pode ser base para a concepção de indicadores que permitam caracterizar, e posteriormente diagnosticar, a problemática da acessibilidade urbana. As características oriundas da base conceitual da microeconomia e a incorporação da percepção dos usuários corroboram na adequação deste tipo de indicador para melhor compreender essa problemática, já que consideram as preferências dos consumidores; nesta aplicação, os usuários do transporte público.

O método proposto carrega certa complexidade dos modelos de escolha discreta e da teoria da utilidade, podendo dificultar o diálogo entre técnicos e demais atores; todavia, a distribuição dos valores do indicador de utilidade (unidades monetárias ou de tempo) apresentada em forma de mapas temáticos, nos quais se compara o resultado agregado em zonas, reduz essa barreira de comunicação. Este tipo de indicador também é relativamente simples na sua aplicação, não exigindo muito mais do que os dados normalmente disponíveis para modelos de escolha modal e/ou de rota; embora nesses modelos se prescindia da utilidade dos destinos e atividades, estes de mais difícil disponibilidade e calibração. Pelos resultados obtidos, verifica-se que o método proposto permite a estimativa de indicadores adequados para analisar problemas de acessibilidade desde que no cálculo do *logsum* ponderado, bem como na definição e calibração das funções utilidade, sejam consideradas as especificidades de cada tipo de problema que se pretende caracterizar e diagnosticar.

Salienta-se que não se deve aplicar o método sem antes discutir quais tipos de problemas se pretende especificamente caracterizar, avaliando suas idiossincrasias e as consequências na especificação dos modelos de escolha discreta e na forma como se obtém o *logsum* e o respectivo indicador de acessibilidade. O indicador não é simplesmente o *logsum*, mas obtido a partir de um procedimento que inclui a determinação das funções utilidade, a obtenção dos valores das

variáveis, a decisão de como tratar as atividades, o cálculo do *logsum* em si e agregação dos valores em zonas. Há ainda a necessidade de aprofundar os estudos com relação a proposta de indicadores para os Problemas II, III e IV, verificando sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS

- ARCE, e Concremat. (2013) *Atualização da base de dados georreferenciados do STIP-CE*. Fortaleza, CE.
- ASTEF (2006) *Pesquisa de Identificação dos Usuários da Alternativa de Implantação dos Trechos Vila das Flores / Couto Fernandes (Sistema Elétrico) e Couto Fernandes / João Felipe (Sistema Diesel) Integrantes da Linha Sul do Metrofor*. Associação Técnico-Científica Eng. Paulo de Frontin. Fortaleza.
- Ben-Akiva, M. E.; e Lerman, S. R. (1979) Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. D. A. Hensher & P. R. Stopher (Eds), *Behavioural Travel Modelling*. Croom Helm.
- Bhat, C. R.; Kockelman, K. M.; Chen, Q.; Handy, S.; Mahmassani, H. S.; e Weston, L. (2015) *Urban accessibility index: Literature review*. Texas Department of Transportation. Austin, TX. Disponível em: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/14882>
- Börjesson, M.; Jonsson, R. D.; Berglund, S.; e Almström, P. (2014) Land-use impacts in transport appraisal. *Research in Transportation Economics*, 47(1), 82–91. doi:10.1016/j.retrec.2014.09.021
- Caliper. (2007) *Transcad 5.0 User's guide*. Caliper Corporation.
- Cascetta, E. (2009) *Transportation systems analysis: models and applications*. (2a.). Springer, New York. doi:10.1007/978-0-387-75857-2
- Cascetta, E.; Carteni, A.; e Montanino, M. (2013) A new measure of accessibility based on perceived opportunities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 87, 117–132. doi:10.1016/j.sbspro.2013.10.598
- de Jong, G.; Daly, A.; Pieters, M.; e van der Hoorn, T. (2007) The logsum as an evaluation measure: Review of the literature and new results. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(9 SPEC. ISS.), 874–889. doi:10.1016/j.tra.2006.10.002
- De Jong, G.; Pieters, M.; Daly, A.; Graafland, I.; Kroes, E.; e Koopmans, C. (2005) Using the logsum as an evaluation measure: literature and case study. Calif.: RAND Corporation, Santa Monica. Disponível em: http://www.rand.org/pubs/working_papers/WR275.html
- De la Barra, T. (1989) *Integrated Land Use and Transport Modelling*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Dong, X.; Ben-akiva, M. E.; Bowman, J. L.; e Walker, J. L. (2006) Moving from trip-based to activity-based measures of accessibility. *Transportation Research Part A*, 40, 163–180. doi:10.1016/j.tra.2005.05.002
- Garcia, C. S. H. F. (2016) *Strategic assessment of accessibility on urban mobility networks*. Universidade de Lisboa.
- Garcia, C. S. H. F.; Macário, M. D. R. M. R.; Menezes, E. D. D. A. G.; e Loureiro, C. F. G. (2018) Strategic Assessment of Lisbon's Accessibility and Mobility Problems from an Equity Perspective. *Networks and Spatial Economics*, 1–25. doi:10.1007/s11067-018-9391-4
- Geurs, K.; e van Wee, Bert. (2013) Accessibility: perspectives, measures and applications. van Wee, B.; Annema, J. A.; e Banister, D. (Eds), *The transport system and transport policy: an introduction* (p. 399). Edward Elgar Publishing Limited, Northampton, Massachusetts.
- Geurs, K. T.; e van Eck, J. R. (2001) Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact. *RIVM Report*, 787, 1–265. Disponível em: <https://rivm.openrepository.com/rivm/handle/10029/9487>
- Geurs, K. T.; e 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
- Geurs, K. T.; Zondag, B.; De Jong, G.; e De Bok, M. (2010) Accessibility appraisal of land-use/transport policy strategies: More than just adding up travel-time savings. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 15(7), 382–393. doi:10.1016/j.trd.2010.04.006
- Greene, W. H.; e Hensher, D. A. (2010) *Modeling ordered choices: a primer*. Cambridge University Press.
- Handy, S. L.; e Niemeier, D. A. (1997) Measuring accessibility : an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A*, 29, 1175–1194. doi: 10.1068/a291175
- Koening, J. G. (1980) Indicators of urban accessibility: theory and application. *Transportation*, 9. doi: 10.1007/BF00167128
- Kohli, S.; e Daly, A. (2006) *The use of logsums in welfare estimation: application in PRISM*.
- Lopes, A. S.; Loureiro, C. F. G.; e Van Wee, B. (2018) LUTI operational models review based on the proposition of an a priori ALUTI conceptual model. *Transport Reviews*, 0(0), 1–22. doi:10.1080/01441647.2018.1442890
- McFadden, D. (1978) Modelling the choice of residential location. A. Karlqvist, L. Lundqvist, & J. W. Weibull (Eds), *Spatial Interaction Theory and Residential Location*. North Holland, Amsterdam.
- Meyer, M. D.; e Miller, E. J. (2001) *Urban transportation planning: a decision-oriented approach*. (2a.). McGraw-Hill Higher Education, New York.
- Miller, E. J. (2009) Integrated Urban Models: Theoretical Prospects, invited resource paper. Kitamura, R.; Yoshii, T.; e Yamamoto, T. (Eds), *The Expanding Sphere of Travel Behaviour Research: Selected Papers from the 11th International Conference on Travel Behaviour Research* (p. 351–384). Emerald, Bingley, UK.
- Niemeier, D. A. (1997) Accessibility: an evaluation using consumer welfare. *Transportation*, 24, 377–396. doi:10.1023/a:1004914803019

- Papa, E.; Silva, C.; Te Brömmelstroet, M.; e Hull, A. (2015) Accessibility instruments for planning practice: a review of European experiences. *Journal of Transport and Land Use*, 3(January). doi:10.5198/jtlu.2015.585
- Small, K. A.; e Rosen, H. S. (1981) Applied welfare economics with discrete choice models. *Econometrica*, 49(1), 105-130. doi:10.2307/1911129
- Small, K. A.; e Verhoef, E. T. (2007) *The economics of urban transportation*. (1ª.). Routledge, New York.
- Soares, F. D. P.; Loureiro, C. F. G.; e Miller, E. J. (2018) Diagnosis: A Problem-Oriented Approach to Urban Transportation Planning. *Transportation Research Board 97th Annual Meeting*. Washington DC.
- Train, K. E. (2009) *Discrete Choice Methods with Simulation*. (2a ed). Cambridge University Press.
- van Wee, B. (2016) Accessible accessibility research challenges. *Journal of Transport Geography*, 51, 9-16. doi:10.1016/j.jtrangeo.2015.10.018
- Williams, H. C. W. L. (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and Planning A*, 9(3), 285-344. doi:10.1068/a090285