

CARACTERIZAÇÃO DA ACESSIBILIDADE AOS EMPREGOS PERCEBIDA PELOS USUÁRIOS DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Hélio Henrique Holanda de Souza

Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Ceará e
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Francisco Moraes de Oliveira Neto

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

A mudança de paradigma para um planejamento dos transportes com foco na acessibilidade, associada às críticas sobre as técnicas tradicionais de avaliação *ex-ante*, abriram espaço para novas abordagens de quantificação dos impactos diretos e indiretos advindos das alternativa de intervenção, a partir de medidas de acessibilidade baseadas no conceito da utilidade percebida pelos usuários. Neste contexto, este trabalho objetiva caracterizar os benefícios da implantação do sistema metroviário na melhoria das condições de acesso aos empregos da população de baixa renda da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), por meio da proposição de um método baseado na modelagem do valor do tempo e de indicador do tipo *logsum* que incorpora a percepção dos usuários com relação à sua problemática específica. Como principal contribuição metodológica, destaca-se o uso da modelagem comportamental no esforço analítico de melhor compreensão da problemática da acessibilidade. Ademais, a aplicação do método permitiu caracterizar espacialmente os ganhos de acessibilidade com as linhas sul e oeste do Metrofor, destacando os principais fatores, segundo a percepção dos indivíduos que utilizam o sistema, que podem explicar a variação dos benefícios dessa intervenção na RMF.

ABSTRACT

The paradigm shift towards transport planning focused on accessibility, together with the criticism on traditional techniques for *ex-ante* assessment, opened up new approaches for quantifying direct and indirect impacts of alternative solutions, by the use of accessibility measures based on the concept of users' perceived utility. In such a context, this work aims to characterize the benefits of implementing the metro system in enhancing the access conditions to jobs for the low-income population in Fortaleza's Metropolitan Region (RMF), through the proposition of a method based on modeling travel time and a *logsum*-type indicator which incorporates users' perception of its specific problem setting. Its main methodological contribution is the use of behavioral modeling in the analytical effort of better understanding accessibility problems. Moreover, the method application allowed to spatially characterize the accessibility gains of Metrofor's South and West lines, highlighting the main factors, according to the system's users perception, which could explain the variation of its benefits over the RMF.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Cascetta (2009), a demanda por viagens deriva da necessidade de acessar as funções e serviços urbanos em lugares diferentes, sendo determinada pela distribuição espacial dos domicílios e das atividades no território urbano. Essa decisão de se deslocar está associada a outras decisões, de curto e longo prazos, à disponibilidade da oferta de transportes e às características dos subsistemas de atividades e de uso do solo (Lopes *et al.*, 2018). Trata-se de um fenômeno complexo cuja compreensão da problemática, hierarquização de objetivos, proposição e avaliação de soluções compreendem o escopo do processo de planejamento urbano integrado (Soares *et al.*, 2018), reinterpretado nas últimas duas décadas como o novo paradigma de planejamento da acessibilidade e mobilidade urbana (Handy, 2005; Banister, 2008; Garcia *et al.*, 2018), requerendo uma melhor reflexão sobre as medidas que representam o afastamento espacial entre as atividades e as pessoas que querem acessá-las (van Wee, 2016).

Diversas são as possibilidades de intervenção nos subsistemas de uso do solo e transportes de modo a promover melhor acessibilidade ofertada ou percebida pela população (Geurs *et al.*, 2010). Entre elas se destaca a implementação de sistemas de metrô que durante anos foi vista como única intervenção de transporte de massa capaz de contribuir efetivamente para melhorar as condições de acessibilidade e mobilidade urbanas. Entretanto, o alto custo envolvido e o surgimento de outras alternativas de mais rápida e eficiente implantação, como o BRT, colocaram em xeque a antiga unanimidade do modo metroviário, suscitando a discussão de como avaliar mais adequadamente essas intervenções. Tradicionalmente, tem-se utilizado o método de benefício-custo, com o valor monetizado do tempo assumindo relevante papel na comparação do retorno dado aos distintos segmentos da sociedade (Small e Rosen, 1981). Entretanto, a mudança de paradigma para um planejamento integrado com foco na acessibilidade, associada às críticas sobre as técnicas tradicionais de avaliação, abriram espaço para novas abordagens de quantificação dos impactos diretos e indiretos advindos de cada alternativa, a partir de medidas de acessibilidade baseadas no conceito da utilidade percebida pelos usuários, como o *logsum* (Handy e Niemeier, 1997; de Jong *et al.*, 2007; Geurs *et al.*, 2010).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral caracterizar a contribuição da implantação do sistema metroferroviário de Fortaleza (Metrofor), considerando o seu estágio atual de operação, na melhoria das condições de acessibilidade aos empregos da população de baixa renda da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), por meio da proposição de um método baseado na modelagem do valor do tempo e de indicador do tipo *logsum* (Souza e Loureiro, 2017), de modo a incorporar na avaliação a percepção dos usuários com relação à sua problemática específica. Para tanto, será construída a seguir uma proposta metodológica de modelagem da percepção dos usuários e de caracterização da sua problemática de acessibilidade aos empregos (seção 2); essa proposta será então aplicada na caracterização dos ganhos de acessibilidade aos empregos percebidos pelos usuários das linhas sul e oeste do Metrofor (seção 3); concluindo-se com considerações finais sobre as contribuições metodológicas e fenomenológicas do trabalho (seção 4).

2. PROPOSTA METODOLÓGICA DE MODELAGEM E CARACTERIZAÇÃO DA ACESSIBILIDADE PERCEBIDA PELOS USUÁRIOS

Para mensurar o impacto na acessibilidade causado pelo início da operação das linhas sul e oeste do Metrofor na RMF, propõe-se um método de caracterização da problemática da acessibilidade urbana, representado na Figura 1, que tem como princípio fundamental a necessidade de incorporar na avaliação a percepção dos usuários sobre a oferta do sistema de transportes, ou seja, suas percepções sobre as ineficiências da rede de transportes (Garcia *et al.*, 2018), assim como a distribuição das atividades no meio urbano. O conhecimento das distintas perspectivas de avaliação de diferentes grupos de usuários é obtido a partir da modelagem comportamental, baseada em modelos de escolha discreta, dando origem a dois produtos: as funções utilidade da percepção dos usuários com relação às alternativas de transportes; e a análise destas funções para caracterizar a percepção dos indivíduos que utilizam o sistema.

Conforme disposto no fluxograma da Figura 1, a partir dos modelos de utilidade, determina-se a percepção agregada (excedente do consumidor calculada pelo indicador *logsum*), partindo da abordagem de construção de indicador de acessibilidade proposto por Souza e

Loureiro (2017), para diferentes grupos de indivíduos sobre os modos de transportes disponíveis para se deslocar na rede. A análise espacial deste indicador, a sua relação com outras medidas de desempenho da rede, assim como a análise de caracterização da percepção dos usuários, permitem finalmente caracterizar os níveis de acessibilidade da rede espacialmente, para diferentes grupos sociais e modos distintos de transportes.

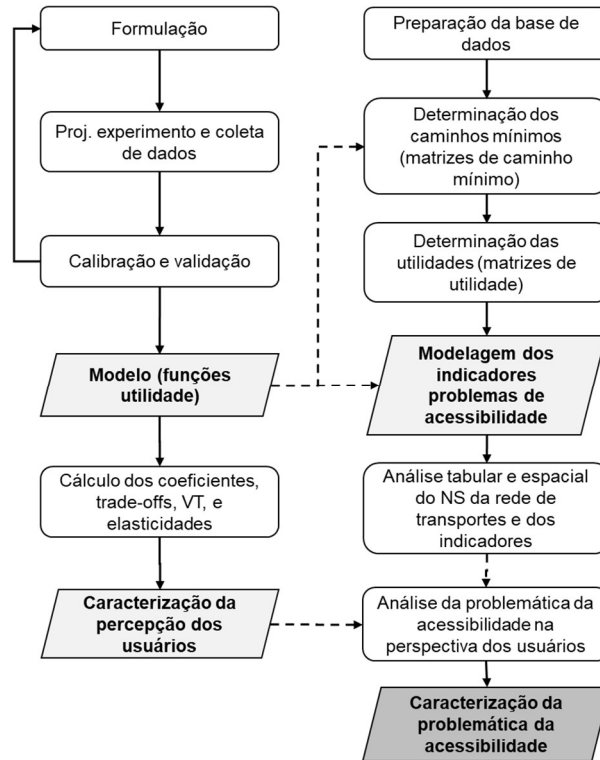


Figura 1: Método proposto de caracterização da acessibilidade.

2.1. Modelagem das características individuais ou de grupos sociais

As percepções dos indivíduos com relação ao sistema de transportes e a distribuição das atividades no meio urbano são capturadas a partir de modelos de escolha discreta. Neste trabalho, considera-se que a distribuição das atividades é conhecida, tendo como ênfase a modelagem da percepção dos indivíduos com relação ao acesso às atividades, que corresponde ao quanto os usuários são sensíveis às diferentes parcelas dos tempos de deslocamento na rede de transportes.

2.1.1. Modelo (funções utilidade)

Em geral, para avaliar a percepção dos indivíduos sobre os diferentes modos numa rede de transportes, definem-se modelos de utilidade como uma função linear nos parâmetros entre a utilidade e os atributos das alternativas, conforme Equação 1.

$$V_i = \alpha_i + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \beta_4 \cdot X_4 + \beta_5 \cdot X_5 \quad (1)$$

Em que V_i é a utilidade sistemática, α_i é a constante específica do modo i , as variáveis X_j , para cada atributo j , representam a impedância ao deslocamento e são, respectivamente, o custo (X_1), tempo de caminhada (X_2), tempo de espera (X_3), número de transbordos (X_4) e tempo de viagem (X_5). Os parâmetros, β_j , representam a sensibilidade dos indivíduos a cada atributo j da viagem.

A formulação da Equação 1 é, portanto, uma formulação genérica que incorpora a percepção dos indivíduos sobre as diferentes parcelas do deslocamento. Essas funções utilidade são estimadas a partir da definição de modelos do tipo *logit*, que são calibrados e validados com base em dados de Preferência Revelada (PR) ou Declarada (PD). Tem-se como ênfase neste trabalho o uso e a análise destes modelos comportamentais para caracterizar a acessibilidade dos indivíduos na rede. Para um aprofundamento sobre técnicas de projeto de experimento, coleta de dados, calibração e validação de modelos de escolha discreta do tipo *logit*, recomendam-se os trabalhos de Louviere *et al.* (2010) e Train (2009). A partir da análise das funções utilidade e dos indicadores gerados será possível compreender como os usuários percebem a oferta do sistema de transportes e como isto pode influenciar na sua percepção da acessibilidade.

2.1.2. Caracterização da percepção dos usuários

Esta etapa consiste na análise dos resultados obtidos com a modelagem da escolha discreta. Os próprios coeficientes das funções utilidade representam o grau de importância de cada atributo no processo de tomada de decisão. Os valores destes parâmetros indicam o quanto os grupos de indivíduos são sensíveis a determinada variação nos atributos de tempo ou custo da viagem. Quanto maior o valor destes parâmetros, maior será a sensibilidade dos indivíduos a qualquer variação dos atributos correspondentes, com efeito direto na escolha da alternativa de transportes.

As preferências dos indivíduos em relação aos atributos das alternativas podem ser melhor analisadas a partir de medidas compensação ou *trade-off* entre os atributos, que correspondem ao quanto um indivíduo estaria disposto a comprometer a sua utilidade em relação a um dado atributo em compensação pela melhora em outro atributo, mantendo-se constante a utilidade. No caso de uma função utilidade linear, o *trade-off* entre os atributos entre x_1 e x_2 , dado pela Equação 2, corresponde ao quanto se está disposto a perder de x_2 para ganhar uma unidade de x_1 . Se estes atributos forem tempo e custo, respectivamente, tem-se o valor percebido do tempo, ou $VT = \beta_{tempo}/\beta_{custo}$.

$$trade_off = \frac{\beta_1}{\beta_2} \quad (2)$$

A análise dos coeficientes e das medidas de compensação permite identificar quais os atributos mais importantes segundo a percepção dos indivíduos que utilizam o sistema. Os métodos de estimação dos parâmetros dos modelos de utilidade aleatória não permitem a comparação entre diferentes grupos ou diferentes funções de utilidade. Já as estimativas dos *trade-offs*, além de representarem a taxa marginal de substituição entre atributos, também permitem comparações entre modelos diferentes ou grupos de indivíduos diferentes.

Por fim, deve-se estimar a elasticidade dos atributos mais importantes segundo a percepção dos indivíduos. Como os modelos de escolha discreta do tipo *logit* são modelos não-lineares, para avaliar o efeito da variação dos atributos sobre as probabilidades de escolhas dos indivíduos é necessário determinar medidas de elasticidade. A Equação 3 representa a elasticidade marginal do indivíduo n da probabilidade de escolher a alternativa i em relação à variação do atributo x ; enquanto a Equação 4 representa a elasticidade agregada que é a elasticidade individual ponderada pela probabilidade de escolha, $P_n(i)$. Quanto maior a elasticidade, maior o efeito da variação de um determinado atributo sobre as probabilidades de escolha.

$$E_{ix_{ni}} = \beta_x x_{ni} (1 - P_{ni}) \quad (3)$$

$$E_w = \frac{\sum_{n=1}^N P_n(i) E_{ix_{ni}}}{\sum_{n=1}^N P_n(i)} \quad (4)$$

2.2. Determinação da acessibilidade

A modelagem das preferências dos indivíduos sobre as opções de transportes permite determinar a acessibilidade desses indivíduos em diferentes unidades espaciais (por exemplo, zonas de tráfego). O indicador de acessibilidade escolhido foi o *logsum* (Equação 5) que representa a percepção, ou utilidade esperada, agregada dos usuários sobre a rede de transportes (Geurs *et al.*, 2010). O *logsum* se destaca entre as medidas de acessibilidade baseadas na utilidade pois pode ser interpretado como uma medida do excedente do consumidor ou da variação do bem-estar proporcionado por uma intervenção ou política pública (Handy e Niemeier, 1997), conforme calculado na Equação 6. 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 (de Jong *et al.*, 2007). No método aqui proposto para caracterizar espacialmente a acessibilidade dos usuários, os valores de *logsum* foram determinados por zona de tráfego de origem das viagens, conforme proposto por Souza e Loureiro (2017).

$$Logsum = \ln \sum_i e^{V_{in}} \quad (5)$$

$$E(EC_n) = \left(\frac{1}{\alpha_n} \ln \sum_i e^{V_{in}} \right) + C \quad (6)$$

Em que V_{in} é a parcela sistemática da utilidade da alternativa i ; EC_n é o excedente do consumidor para o indivíduo n ; α_n a utilidade marginal da renda do indivíduo n ; e C é uma constante desconhecida que representa o fato que o nível absoluto da utilidade não pode ser mensurado.

2.2.1. Determinação dos caminhos mínimos e das matrizes de utilidade

Para o cálculo do indicador de acessibilidade é necessária a aplicação dos modelos de utilidade aleatória para cada zona de origem das viagens. Considerando que em cada zona de origem é possível a realização de viagens para diferentes zonas de destino, e por meio de diferentes modos ou rotas, faz-se necessário primeiro determinar as diferentes opções de transportes juntamente com seus atributos (tempos e custos de deslocamento) para cada par origem-destino (OD). Dada a impossibilidade de enumerar todas as opções de transportes, optou-se por um método de geração de caminhos mínimos entre os pares OD (Souza e Loureiro, 2017), tendo como impedância ao deslocamento a utilidade de cada rota dada pelo modelo da Equação 1. Diferentes caminhos possíveis e multimodais devem ser obtidos para cada par OD, variando o VT de cada parcela do deslocamento e o número de transbordos realizados por rota, que servirão para o cálculo do indicador de acessibilidade.

2.2.2. Indicador de acessibilidade espacial

Para determinar a contribuição da nova alternativa modal se opta pela abordagem utilizada no trabalho de Handy e Niemeier (1997), no qual 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. Determinou-se assim a acessibilidade das zonas de origem para cada cenário, com e sem o metrô, conforme a Equação 7.

$$A_o = \frac{\sum_{d=1}^z \left(\frac{1}{\alpha_n} \ln \sum_i e^{V_{in}} \right) \times EMP_d \times POP_o}{\sum_{d=1}^z EMP_d \times \sum_{o=1}^z POP_o} \quad (7)$$

Em que A_o representa a acessibilidade da zona de origem (o), EMP_d o número de empregos na zona de destino (d), ou outro atributo que represente a atratividade de interesse, POP_o a população economicamente ativa da zona de origem (o), e (z) o total de zonas.

Essa acessibilidade “total” representa uma medida de impedância de uma determinada zona de origem (o) a todas as outras zonas. Como na formulação da função utilidade (Equação 1) não se considerou qualquer atributo de uso do solo, a existência de atividades nas zonas de origem foi incorporada ponderando a medida de acessibilidade, *logsum*, pelo número de empregos das zonas de destino. Desta forma, espera-se incorporar a utilidade gerada nas zonas de destino dada as atividades disponíveis. Além disso, na formulação da Equação 7, decidiu-se ponderar a medida de acessibilidade pelo número de pessoas de determinado grupo social presentes na zona de origem, já que zonas pouco habitadas devem contribuir menos para a acessibilidade total da região de estudo.

2.3. Análise da problemática da acessibilidade na perspectiva dos usuários

Esta etapa trata de consolidar as informações geradas nas etapas anteriores em uma análise de caracterização da acessibilidade na perspectiva dos usuários, que será a base posteriormente para o diagnóstico, encerrando a compreensão da problemática da acessibilidade urbana. Como discutido, optou-se por trabalhar com um indicador espacial da acessibilidade percebida pelos usuários, conforme Equação 7. Este indicador permite caracterizar espacialmente a acessibilidade dos usuários do sistema de transporte urbano. Assim, pretende-se avaliar a variação espacial da acessibilidade com e sem a nova alternativa modal, relacionando a variação observada com as características das preferências dos indivíduos que utilizam o sistema (conforme análise da função utilidade da Equação 1) e as características físicas e operacionais da rede de transportes; permitindo assim identificar a contribuição de determinado modo. Esta análise será realizada a partir da elaboração de mapas temáticos e da análise de inferência de indicadores locais de dependência espacial (*LISA maps*). A análise de dependência espacial tem como intuito identificar aglomerados de zonas bem servidas (com elevados níveis de acessibilidade) e zonas mal servidas (com baixos níveis de acessibilidade), com e sem a alternativa a ser implantada. Esta última análise permite caracterizar a influência do novo modo em diferentes zonas de tráfego, de forma a identificar zonas onde ocorreram ganhos significativos na acessibilidade com a inserção deste modo, assim como zonas onde estes ganhos não foram significativos, ou ainda zonas onde ocorreu redução no nível de acessibilidade.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ACESSIBILIDADE PROPORCIONADA PELO METRÔ

Para caracterizar a contribuição do sistema metroferroviário, utilizou-se os dados disponíveis sobre a RMF e seus sistemas de transportes. O sistema metropolitano de transportes da RMF contempla 13 municípios que são atendidos por cerca de 400 rotas de ônibus / vans, com um pouco mais de 2.400 veículos distribuídos entre o serviço urbano de Fortaleza, os serviços urbanos de Caucaia, Maracanaú e Maranguape, e o serviço metropolitano (entre municípios da RMF), bem como pelas linhas sul e oeste do Metrofor (Figura 2). O sistema como um todo atende cerca de 1.200.000 deslocamentos por dia útil. Destes deslocamentos, o sistema urbano de Fortaleza é responsável por cerca de 80%. As tarifas praticadas seguem regras diferentes

entre os sistemas. Para o sistema urbano de Fortaleza, tem-se tarifa única, enquanto para os outros sistemas urbanos e para o metrô a tarifa é definida por linha. Já no sistema metropolitano, a tarifa é definida por anéis tarifários.

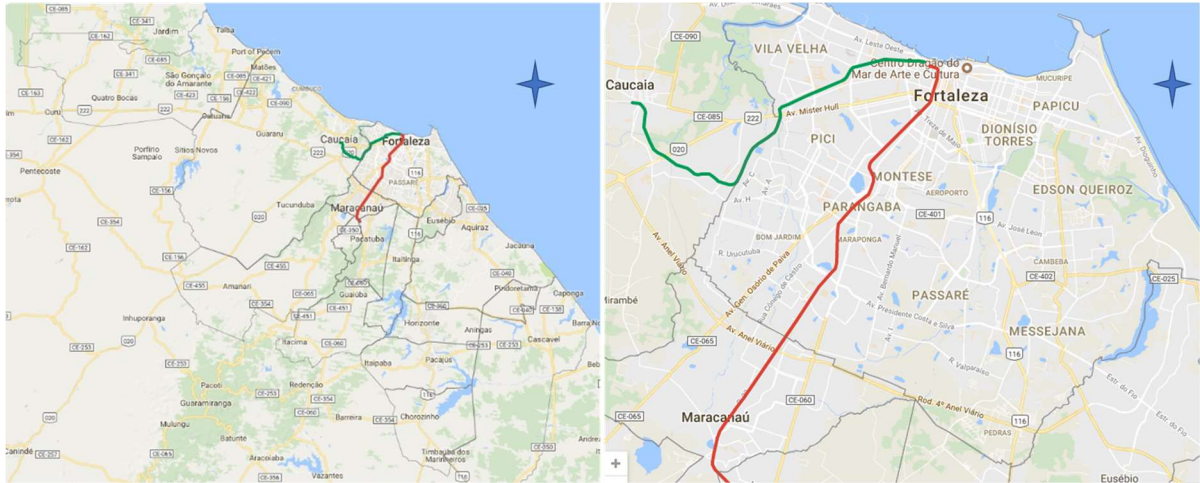


Figura 2: Linhas sul e oeste do Metrofor.

3.1. Descrição das bases de dados utilizadas

Foram utilizadas duas bases de dados: a primeira para se estimar as funções utilidade; e a segunda para modelar a oferta de transporte público na RMF. A primeira tem origem em estudo contratado pelo Metrofor junto à ASTEF em 2006 (ASTEF, 2006) com o objetivo de identificar o processo de escolha dos seus potenciais usuários. Na oportunidade, foram realizadas pesquisas que identificaram o perfil destes usuários e seus deslocamentos, assim como pesquisas de preferência declarada. Por sua vez, a segunda base contempla dados georreferenciados da RMF, tendo sido utilizada em estudo desenvolvido pela Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado do Ceará - ARCE (ARCE e Concremat, 2013) e atualizada para representar as atuais impedâncias dos deslocamentos.

3.2. Modelagem das características individuais ou de grupos sociais

Seguindo o método proposto, foram especificados e calibrados modelos para determinação das funções utilidade e assim calcular indicadores de forma a caracterizar a percepção dos indivíduos.

3.2.1. Modelo (funções utilidade)

Na formulação do modelo, foram considerados no conjunto de alternativas: o ônibus metropolitano; o trem (linha oeste do Metrofor); ônibus urbano; e o metrô (linha sul do Metrofor). Para os atributos, foram considerados aqueles representativos da impedância dos deslocamentos realizados em transporte público, ou seja, custo da viagem, tempo de viagem, tempo de espera, tempo de caminhada e número de transbordos. Com relação ao tipo de função, assumiu-se uma função de utilidade linear nos parâmetros, adotando-se como modelo de escolha um modelo *logit multinomial*, descrita na Equação 8.

$$U_i = \alpha_i + \beta_c x_{c,i} + \beta_{cam} x_{cam,i} + \beta_{tran} x_{tran,i} + \beta_{espe,i} x_{espe,i} + \beta_{viag,i} x_{viag,i} + \varepsilon_i \quad (8)$$

Em que: i = modo de transporte, α_i = constante específica do modo i , c = custo do deslocamento (tarifa), cam = tempo de caminhada, $tran$ = quantidade de transbordos, $espe$ = tempo de espera, $viag$ = tempo de viagem, ε = componente aleatória.

Na especificação da Equação 8, assumiu-se que a percepção dos usuários sobre o tempo de espera e o tempo de viagem variam conforme o modo de transporte, definindo-se os coeficientes específicos do tempo de espera e do tempo de viagem por modo, $\beta_{espe,i}$ e $\beta_{viag,i}$. Assumiu-se também, após a calibração de um modelo considerando todos os modos de transportes disponíveis, que os usuários não percebem de forma distinta os tempos de espera e de viagem entre o ônibus urbano e o ônibus metropolitano. Assim, optou-se por considerar os parâmetros β_{espe} e β_{viag} como específicos dos modos de transporte rodoviário (ônibus urbano ou metropolitano) e ferroviário (trem ou metrô).

A Tabela 1 apresenta os resultados da calibração dos parâmetros do modelo especificado na Equação 8. As constantes específicas de todos os modos, com exceção do trem, foram fixadas em zero por não apresentarem resultados significativos. O valor da constante específica indica uma menor preferência pelo modo trem. Verifica-se também que todos os coeficientes são significativos no nível de 1% de significância. As estimativas de todos os coeficientes apresentaram sinal negativo, como esperado. Além disso, o valor da razão de verossimilhança indica que o modelo, considerando os atributos especificados, é adequado.

Tabela 1: Resultados da calibração

Coefficiente	Estimativa	Erro padrão	Estatística <i>t</i>
α_i			
Trem	-0.356*	0.0359	-9.9
β_c	-0.68*	0.0362	-18.82
β_{cam}	-0.166*	0.0218	-7.64
β_{jespe}			
Ferroviário	-0.0185*	0.00765	-2.43
Rodoviário	-0.0421*	0.0111	-3.78
β_{tran}	-0.484*	0.0535	-9.05
β_{jviag}			
Ferroviário	-0.0167*	0.00268	-6.23
Rodoviário	-0.0217*	0.00248	-8.74
Logaritmo da verossimilhança:	-6262.83		
Razão de verossimilhança:	560.97		
Pseudo R ² :	0.043		
R ² ajustado:	0.042		

* significativo ao nível de 1%

3.2.2. Análise dos coeficientes, trade-offs, VT e elasticidades

Como visto na Tabela 1, a constante específica do modo trem apresentou valor negativo e significativo; já para os outros modos, a estimativa da constante específica não foi significativa. Esperava-se, entretanto, uma maior preferência ao modo metrô em relação aos demais modos. Uma possível interpretação deste resultado é que o usuário (que a época não conhecia a operação de um metrô, apenas de trem) não diferenciava, a priori, estes modos de transportes (ônibus e metrô). Por outro lado, este mesmo usuário já conhecia a operação do trem, que na época apresentava operação deficitária e, portanto, o considerava como um serviço inferior. Observa-se também que, em relação às parcelas do tempo de deslocamento, os usuários são em geral mais sensíveis ao tempo de caminhada, seguido pelo tempo de espera no modo rodoviário e tempo de viagem no modo rodoviário. Há, portanto, indícios de que os usuários percebem como mais penoso o tempo de espera e no veículo para o modo rodoviário, se comparado ao modo ferroviário, com a caminhada tendo maior penalidade.

Considerando que a variação dos atributos, principalmente do tempo de caminhada e da tarifa, afetam a escolha do modo metrô, determinou-se a elasticidade agregada da demanda em relação a estes dois atributos, obtendo-se 0,6282 para elasticidade da tarifa e 0,0362 para o tempo de caminhada. Estes resultados mostram que a probabilidade de escolha do modo metrô é relativamente inelástica com relação à tarifa e o tempo de caminhada ($0 < E < 1$), ou seja, um por cento de crescimento na tarifa ou no tempo de caminhada resulta em menos de um por cento de redução na probabilidade de escolha. No caso da tarifa, o valor da elasticidade obtido indica que o aumento nas tarifas implica em aumento nas receitas.

Com relação aos *trade-offs* entre os atributos, conforme mostrado na Tabela 2, destaca-se mais uma vez a caminhada como uma etapa do deslocamento considerada pelos usuários como sendo mais penosa do que o período dentro dos veículos. A Tabela 2 mostra que os usuários estão dispostos a aumentar em mais de 9 e 7 minutos o seu tempo de viagem, respectivamente nos modos ferroviário e rodoviário, para reduzir um minuto no tempo de caminhada. Os resultados da Tabela 2 mostram ainda que os usuários estão dispostos em aumentar mais de 20 minutos seu tempo de viagem para reduzir um único transbordo. Já com relação aos resultados do valor do tempo apresentados na Tabela 2, verifica-se mais uma vez o quanto os usuários são sensíveis ao tempo de caminhada. O maior VT encontrado foi para o tempo de caminhada, de aproximadamente R\$29,00/h. Destaca-se também os VTs do tempo de espera e tempo de viagem no modo rodoviário em relação ao modo ferroviário.

Tabela 2: *Trade-off* entre variáveis e valor do tempo

Atributos	<i>Trade-off</i> com o tempo de viagem no ferroviário	<i>Trade-off</i> com o tempo de viagem no rodoviário	VT percebido	VT percebido**
Tempo de caminhada	9,76	7,55	R\$ 14,65	R\$ 29,58
Tempo de espera modo ferroviário	1,12		R\$ 1,63	R\$ 3,29
Tempo de espera modo rodoviário		1,90	R\$ 3,71	R\$ 7,49
Número de transbordos	24,47*	22,00	R\$ 0,71	R\$ 1,43
Tempo de viagem modo ferroviário		1/1,29	R\$ 1,47	R\$ 2,97
Tempo de viagem modo rodoviário	1,29		R\$ 1,91	R\$ 3,86

* 1 transbordo equivale a 24,47min **corrigido de 01/06/2006 a 01/06/2018

3.3. Determinação e caracterização espacial da acessibilidade

Detalha-se a seguir a determinação da acessibilidade por zona de origem, bem como a análise de caracterização espacial destes resultados.

3.3.1. Determinação dos caminhos mínimos, matrizes de utilidade e cálculo da acessibilidade

Inicialmente, foram geradas matrizes de custo, tempo de espera, tempo de caminhada, número de transbordo e tempo no veículo (por modo: transporte urbano de Fortaleza, transporte urbano de outros municípios, transporte metropolitano e linhas sul e oeste do Metrofor), ou seja, um total de nove matrizes. A ferramenta utilizada gerava 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 um a três) e VT (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 valores para o VT gerando nove cenários. Considerando-se a existência de

nove matrizes por cenário, obteve-se um total de 81 matrizes. Destas matrizes, obteve-se os valores das variáveis que compõem a função utilidade; aplicando-se então esses valores nas funções calibradas, obteve-se as utilidades para cada par OD que serviram para estimativa do *logsum*. Por fim, aplicando-se a Equação 6, tem-se a acessibilidade das zonas de origem a todas as demais zonas. O mesmo procedimento foi realizado desconsiderando o metrô, possibilitando comparar a acessibilidade com e sem metrô, ou seja, a contribuição do mesmo na rede.

3.3.2. Caracterização espacial da acessibilidade na perspectiva dos usuários

A Figura 3 apresenta mapas temáticos da diferença de acessibilidade com e sem o Metrofor, ou seja, seu grau de contribuição na melhoria da acessibilidade. Verifica-se que a inserção das linhas sul e oeste aumenta a acessibilidade de quase toda a região, destacando-se Fortaleza onde todas as zonas sofrem influência positiva do metrô. A maioria das zonas que recebem maior contribuição estão em Fortaleza, destacando-se suas regiões sul e oeste. Também se destacam regiões nos municípios de Itaitinga, sul de Maranguape e parte de Pacajus, que são zonas (classificadas como *High-Low* no *LISA map*) com aumento significativo de acessibilidade em comparação com as zonas vizinhas. Nota-se também, a partir do *LISA map*, que as zonas que mais se beneficiam são zonas periféricas ao sul de Fortaleza, ou seja, zonas mais distantes da sua região central. Este resultado evidencia uma melhora nos níveis de acessibilidade da população menos favorecida, ou de baixa renda, que se concentra principalmente nas regiões periféricas da Capital. Estes resultados retratam, portanto, a realidade dos usuários do transporte público que em geral têm que enfrentar longos tempos de deslocamento e realizar transbordos ao longo das viagens.

Como discutido na etapa de modelagem da percepção dos indivíduos, os transbordos e os tempos de espera e de viagem no sistema rodoviário se constituem como as principais impedâncias aos deslocamentos. Atualmente o sistema rodoviário de transporte urbano de Fortaleza opera com bilhete único, permitindo integração temporal no sistema. Contudo, a rede de transporte público ainda é predominantemente tronco-alimentada, fazendo com que muitas das viagens que se originam nas zonas periféricas da cidade ainda passem pelos terminais físicos de integração, resultando em maiores tempos de viagem e de espera nesses terminais.

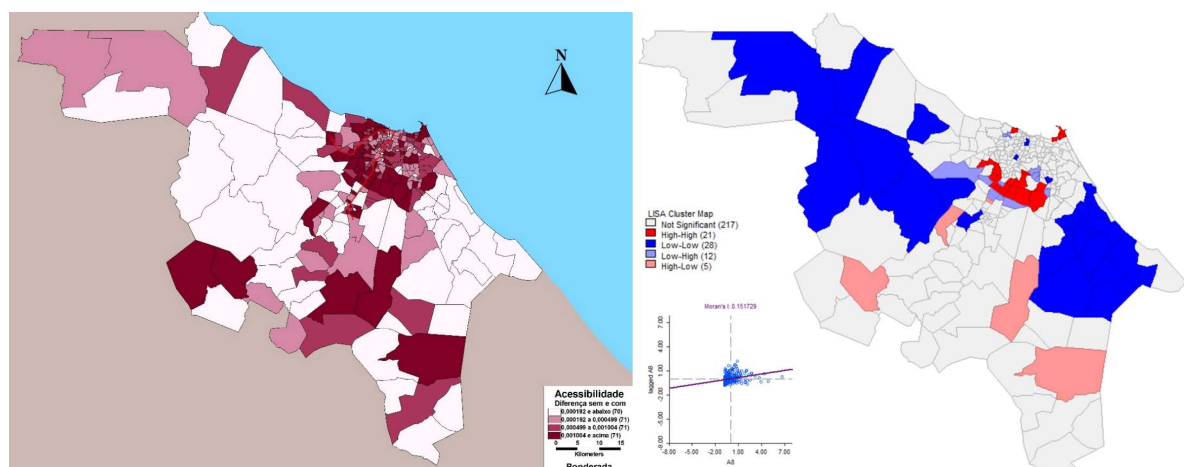


Figura 3: Diferença de acessibilidade sem e com Metrô e *LISA MAP* de acessibilidade proporcionada pelo Metrô – diferença de acessibilidade.

3.4. Análise da problemática da acessibilidade na perspectiva dos usuários

De forma geral, a acessibilidade piora à medida que se afasta da região central de Fortaleza e da linha sul do metrô. Isto pode estar associado à concentração dos empregos na área central e a uma forte concentração da população nas proximidades da linha sul do metrô. Pode-se observar a contribuição do metrô na maioria das zonas, mesmo naquelas mais distantes da rede metroviária. Este fato pode ser explicado pelas próprias características do indicador (*logsum*) que valoriza a existência das alternativas mesmo que estas não sejam escolhidas; assim como pelo metrô atender à área com maior atratividade, sendo portanto uma boa alternativa de acesso ao centro de Fortaleza.

A percepção dos indivíduos e as características da rede de transportes podem ajudar a caracterizar os ganhos de acessibilidade com o metrô. De maneira geral, as pessoas preferem perder tempo nos deslocamentos dentro dos veículos a caminhar, a esperar ou a realizar transbordos. Isto implica que uma boa distribuição das linhas e pontos de parada / estações, mesmo numa rede com elevados tempos de viagem, pode ser preferida pelos usuários a uma rede com tempo de viagem otimizado mas com má cobertura espacial. Um aspecto a destacar é a diferença de percepção dos atributos de tempo de viagem e espera entre os modos ferroviário e rodoviário. Isto pode explicar o porquê de, nas áreas próximas à região central e afastadas da linha sul do metrô, não se observarem ganhos significativos de acessibilidade. Nestas áreas o efeito da realização de transbordos e do tempo de espera é mais evidente. Já nas áreas mais periféricas, onde a realização de transbordos e tempos de espera em terminais de integração são mais frequentes, percebe-se um maior benefício com a inserção do metrô, já que existe uma preferência dos indivíduos pelo modo ferroviário quando ocorrem transbordos, tempos de espera e períodos longos dentro do veículo. O custo da viagem é também atributo considerado importante, em especial para os usuários do transporte ferroviário. Assim, a política de tarifa única aplicada em Fortaleza e a integração subsidiada entre o sistema metropolitano e urbano de Fortaleza favorecem a resultados relativamente bons da acessibilidade em áreas mais distantes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, apresentou-se um método de caracterização da problemática da acessibilidade que incorpora a percepção dos usuários sobre o desempenho da rede de transportes e a distribuição das atividades no meio urbano, caracterizada a partir do conceito da acessibilidade percebida pelos indivíduos. O método tem como base uma medida de acessibilidade (*logsum*) que incorpora tal percepção dos usuários do sistema urbano de transportes, sendo fundamentado em modelos comportamentais de escolha discreta. O trabalho, portanto, apresenta contribuição metodológica, com relação ao uso de modelagem comportamental nas etapas de caracterização da problemática da acessibilidade, como parte da nova abordagem do planejamento de transportes que tem como ênfase a análise da equidade na acessibilidade. Além disso, a aplicação do método no sistema de transportes metropolitanos de Fortaleza permitiu caracterizar espacialmente os ganhos de acessibilidade com as linhas sul e oeste do Metrofor. Vale destacar que neste estudo foi considerada apenas a percepção dos indivíduos sobre o sistema de transportes, sendo o sistema de atividades considerado como exógeno.

A análise de caracterização espacial em área da acessibilidade promovida pela implantação do Metrofor na RMF mostrou que há contribuição do metrô na maioria das zonas de tráfego, mesmo naquelas mais distantes das linhas metroviárias. Em particular, foi possível identificar

zonas onde ocorreram ganhos significativos na acessibilidade com a inserção das linhas de sul e oeste; como também zonas onde estes ganhos não foram significativos. A análise da percepção dos indivíduos sobre a oferta dos sistemas de transportes, com base nos modelos comportamentais ou de utilidade aleatória propostos, permitiu caracterizar esses ganhos de acessibilidade. De um modo geral, argumenta-se que a variação espacial da acessibilidade percebida pelos usuários do transporte público na RMF pode ser melhor explicada pela percepção dos indivíduos sobre os atributos de tempo de caminhada, tempo de espera e transbordos dos deslocamentos. Apontou-se também que a diferença de percepção dos indivíduos entre os modos rodoviário e metroviário, em relação aos atributos tempo de espera e de viagem, explicaria os ganhos significativos de acessibilidade gerados, principalmente em zonas periféricas ou mais afastadas da região central de Fortaleza, onde estão mais concentrados os empregos. Estas, entre outras características dos usuários, permitem compreender a contribuição do Metrofor na acessibilidade, em especial nas áreas periféricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 e Couto Fernandes / João Felipe - Linha Sul do Metrofor*. Fortaleza, CE.
- Banister, D. (2008) The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15, 73–80.
- Cascetta, E. (2009) *Transportation systems analysis: models and applications*. (2a.). Springer, New York.
- 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, 874–889.
- 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. 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.
- Handy, S. (2005) Planning for accessibility: in theory and in practice. *Access to destinations*. 131–147, Elsevier Ltd.
- Handy, S. L., e Niemeier, D. A. (1997) Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A*, 29, 1175–1194.
- 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*, 1–22. doi:10.1080/01441647.2018.1442890
- Louviere, J. J., Hensher, D. A., e Swait, J. D. (2010) *Stated choice methods: analysis and application*. Cambridge University Press.
- Small, K. A., e Rosen, H. S. (1981) Applied welfare economics with discrete choice models. *Econometrica*, 49(1), 105–130. doi:10.2307/1911129
- 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.
- Souza, H. H. H. de, e Loureiro, C. F. G. (2017) Proposta de Indicador de Caracterização da Acessibilidade na Região Metropolitana de Fortaleza. *Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, Recife, PE.
- 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