



## **INFERÊNCIA CAUSAL NO DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO DAS DESIGUALDADES SOCIOESPACIAIS NA ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE**

**Maria Cristina Cavalcante Belo**

**Carlos Felipe Grangeiro Loureiro**

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

### **RESUMO**

No atual paradigma do planejamento urbano integrado, a análise das causas da problemática urbana deve ser realizada no nível estratégico, buscando diagnosticar as desigualdades socioespaciais na acessibilidade, os decorrentes padrões de mobilidade e suas externalidades. Porém, o ferramental de análise comumente utilizado, composto por modelos estatísticos de regressão espacial e não espacial, pode não ser adequado, já que permite inferir correlação e não necessariamente causalidade. Portanto, o objetivo geral desta pesquisa de mestrado é propor um método baseado na teoria da inferência causal para investigar os determinantes das desigualdades na acessibilidade e seus efeitos sobre a mobilidade. O método contempla a elaboração de um mapa mental das hipóteses de causa-efeito entre uso do solo e transportes, que guiará a formulação do diagrama causal da problemática a ser diagnosticada. Essas hipóteses são então traduzidas em equações de modelos estruturais, tendo suas relações associativas testadas em um estudo de caso de Fortaleza.

### **1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, o planejamento dos transportes vem evoluindo com foco na mobilidade (Banister, 2008) e, mais recentemente, centrado na acessibilidade sustentável (Bertolini *et al.*, 2005). Cavalcante *et al.* (2020) nomeou o atual paradigma, baseado na ideia de integração entre os subsistemas de atividades, uso do solo e transportes, de Planejamento da Acessibilidade e Mobilidade na Urbe Sustentável (PAMUS). Baseado nesse novo conceito de planejar, a compreensão das causas dos problemas deve vir antes de se propor sua solução (Meyer, 2016). Essa análise deve ser considerada como uma das primeiras fases do nível estratégico do planejamento (Ministério das Cidades, 2006), também chamada de diagnóstico ou avaliação dos problemas, possuindo como foco a acessibilidade e a mobilidade, e guiada por princípios de equidade e sustentabilidade (Garcia, 2016). Propostas metodológicas encontradas na literatura (Ministério das Cidades, 2006; Garcia *et al.*, 2018; Sousa, 2019) apontam tal fase como fundamental para orientar o planejamento a partir da análise das causas da problemática.

Para isso, primeiramente se deve realizar a caracterização dos problemas, o que é feito através de indicadores que representam as variáveis do fenômeno. Os dados utilizados na formação dessas variáveis geralmente consistem em dados observacionais, mas quando não é possível a coleta dos mesmos, pode-se fazer uso da modelagem para estimá-los ou simulá-los. No esforço de analisar as relações de causa-efeito entre os indicadores são utilizados métodos estatísticos, como a regressão espacial e não espacial. Porém, o ferramental de inferência estatística pode não ser suficientemente adequado para se analisar causalidade, já que ao mensurar correlação pode não controlar adequadamente as fontes de endogeneidade (Shiple, 2016). Mais recentemente, a utilização da inferência causal na investigação dos determinantes dos fenômenos nos transportes passou a receber atenção (Brathwaite e Walker, 2018). Essa teoria, que possui suas bases em Pearl (2000), propõe a construção de diagramas causais para embasar a formulação de modelos estatísticos multivariados, de modo a estimar efeitos diretos e indiretos, com controle de variáveis de confundimento e verificação de hipóteses auxiliares.



Alguns trabalhos recentes (Siqueira *et al.*, 2021; Pinto *et al.*, 2021) utilizaram a teoria da inferência causal para investigar relações entre acessibilidade e mobilidade a partir de uma abordagem desagregada. Porém, não se tem conhecimento de aplicações com dados agregados espacialmente, mais utilizados em métodos de diagnóstico estratégico que visam identificar áreas mais problemáticas e críticas, possibilitando a priorização de políticas públicas de uso do solo e intervenções em transportes (Sousa, 2019).

## **2. OBJETIVOS**

Considerando o contexto anterior, o objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um método baseado na teoria da inferência causal para investigar os determinantes das desigualdades socioespaciais na acessibilidade, e seus efeitos sobre os padrões de mobilidade, no nível estratégico do planejamento urbano integrado. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- i. Criticar os métodos de diagnóstico estratégico dos problemas de acessibilidade e mobilidade urbana, identificando suas limitações na análise das relações de causalidade;
- ii. Investigar como a inferência causal pode ser utilizada para analisar, de modo agregado, os efeitos das restrições socioeconômicas e territoriais que impactam nos níveis de acessibilidade e nos padrões de mobilidade;
- iii. Propor um método para se analisar causalidade na problemática das desigualdades socioespaciais na acessibilidade e mobilidade, a partir de dados observacionais agregados sobre o território urbano;
- iv. Verificar a aplicabilidade do método proposto utilizando a cidade de Fortaleza como estudo de caso.

## **3. REVISÃO DA LITERATURA E PROPOSTA METODOLÓGICA**

### **3.1. Análise crítica das propostas metodológicas de diagnóstico estratégico**

Na busca em suprir as lacunas metodológicas da literatura, Garcia *et al.* (2018) propõem um método para avaliação estratégica dos problemas na acessibilidade e mobilidade urbana na cidade de Lisboa, baseada em duas etapas principais: caracterização e diagnóstico. Os autores apontam que as causas dos problemas na acessibilidade e na mobilidade estão nas inadequações na distribuição espacial dos usos do solo e nas ineficiências do sistema de transportes, além de serem influenciadas pelas características socioeconômica da população. Foram então propostas quatro categorias de problemas de desigualdades a serem diagnosticados: desiguais sobre o território; inequânimes entre grupos sociais; inadequados entre modos de transportes; e insustentáveis entre gerações presente e futura. Baseando-se nessa tipologia de problemas de desigualdades socioespaciais e intergeracionais no acesso às oportunidades de atividades, Sousa (2019) defende que entender quais são as causas dessas desigualdades pressupõe levantar hipóteses de causa-efeito das restrições que configuram e modificam os níveis de acessibilidade dos grupos vulneráveis e privilegiados. O autor propõe então um método de caracterização e diagnóstico na acessibilidade ao trabalho em Fortaleza baseado em três tipos de hipóteses: Tipo A - regiões periféricas possuem menor acessibilidade; Tipo B – segmentos de baixa renda possuem menor níveis de acessibilidade que os de alta renda; Tipo C – haverá piora na acessibilidade da geração futura, se mantidas as tendências decisórias atuais.

Na fase de caracterização devem ser definidos os indicadores que irão representar a acessibilidade e suas restrições. Esses indicadores são usados tanto na caracterização das



situações presente e passada da problemática, como no diagnóstico das suas relações causais (Sousa, 2019). Além dos dados que podem ser diretamente coletados, modelos LUTI agregados também são utilizados para simular decisões locais e de viagens, sendo o processo de modelagem uma boa fonte de aprendizado sobre como as relações de causa e efeito ocorrem no sistema (Assis *et al.*, 2021). No diagnóstico, onde as hipóteses de causa e efeito serão verificadas, são utilizadas técnicas e ferramentas estatísticas de análise espacial exploratória e confirmatória, como análises de clusters e modelos de regressão geponderada. Porém, analisar causalidade exclusivamente por inferência estatística pode conduzir a uma má interpretação nos efeitos obtidos ao se supor que cada coeficiente estimado no modelo representa o efeito total da variável explicativa na variável explicada; quando na verdade esse efeito pode ser apenas direto (havendo também efeitos indiretos que passam por outras variáveis) ou estar enviesado (Westreich e Greenland, 2013). Podem ocorrer problemas devido a existência de variáveis de confundimento, que são aquelas não explícitas no modelo, mas que podem afetar tanto a variável explicada quanto as explicativas, causando endogeneidade (Shiple, 2016). Existe também o risco de se encontrar relações espúrias, ou seja, quando não existe relação causal entre as variáveis, mas a correlação é identificada pois elas são causa comum de uma terceira variável não explicitada (Pearl, 2000). Dessa forma, as ferramentas de análise da causalidade utilizadas nos métodos de diagnóstico estratégico propostos por Garcia *et al.* (2018) e Sousa (2019), apesar de identificarem a correlação entre a acessibilidade, suas restrições e os padrões de mobilidade, podem falhar em verificar o tipo e a direção desses efeitos, assim como desconsiderar outras variáveis explicativas e possíveis causas em comum.

### **3.2. Teoria da inferência causal no diagnóstico da acessibilidade e mobilidade**

De acordo com Pearl (2000), os diagramas causais são a linguagem matemática que podem expressar as relações de causalidade entre as variáveis de um fenômeno. Os diagramas causais devem ser acíclicos e são formados por vértices, que representam as variáveis, e setas unidirecionais, que representam a direção de causalidade entre elas. Através desses diagramas é possível hipotetizar o tipo e magnitude do efeito entre as variáveis investigadas, formulando então equações estatísticas que possam traduzir corretamente as relações associativas. Para se testar essas relações são comumente utilizados os modelos de equações estruturais (SEM). Esses modelos multivariados possuem algumas vantagens, como a incorporação de variáveis não observadas (denominadas de latentes) e a possibilidade de se realizar os cálculos dos efeitos diretos e indiretos de forma simultânea (Shiple, 2016). Entretanto, para se construir um diagrama causal que possa representar adequadamente a realidade, faz-se necessária uma fundamentação teórica que permita justificar cada hipótese de causa-efeito. Uma representação conceitual, que resuma de forma didática o conhecimento sobre as relações causais envolvidas no fenômeno em estudo, pode auxiliar nessa tarefa. No nível macroscópico de representação do sistema urbano, Lopes *et al.* (2018) propuseram o modelo conceitual ALUTI, retratando o funcionamento dos subsistemas de transportes, uso do solo e atividades. Já Siqueira (2020) propôs uma representação do processo decisório no nível do indivíduo, tendo a acessibilidade como determinante central das decisões de atividades, locais e de viagens.

### **3.3. Desenvolvimento e aplicação do método proposto**

Apoiando-se na revisão da literatura, a proposta metodológica inicia com o desenvolvimento de um mapa mental das hipóteses de causalidade das desigualdades na acessibilidade, e seus efeitos sobre os decorrentes padrões de mobilidade, a serem diagnosticadas no nível estratégico.



A partir desse mapa, bem como nas informações coletadas e indicadores elaborados na fase de caracterização, é então construído o diagrama causal. De acordo com Siqueira (2020), as relações associativas hipotetizadas no diagrama causal serão então testadas por meio da formulação e estimação de modelos estruturais e de mensuração, incorporando variáveis observáveis e latentes representando indicadores das características socioeconômicas, dos componentes da acessibilidade locacional e infraestrutural, assim como da produção de viagens e dos padrões de mobilidade, alimentados por dados agregados espacialmente em zonas. De forma a demonstrar a aplicabilidade do método proposto, será realizado um estudo de caso em Fortaleza, contemplando o diagnóstico das desigualdades na acessibilidade e mobilidade entre 2000 e 2020 (cenário pré-pandemia), com dados de duas pesquisas OD domiciliares e indicadores modelados a partir da calibração e validação do TRANUS (Sousa, 2019).

#### **4. RESULTADOS ESPERADOS**

As contribuições desta pesquisa possuem caráter metodológico e fenomenológico. O primeiro se dá a partir da elaboração de um método que permita análises de causalidade no diagnóstico estratégico, eliminando as fontes de viés nas estimativas das relações de causa e efeito entre a acessibilidade e a mobilidade urbana. O segundo se dá através da aplicação do método à cidade de Fortaleza, possibilitando assim o entendimento das principais causas das desigualdades socioespaciais na acessibilidade e seus efeitos sobre os padrões atuais de mobilidade. Assim, espera-se que esse estudo possa contribuir no planejamento urbano integrado, subsidiando tomadas de decisões no caminho de cidades mais sustentáveis e socialmente justas.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Assis, R. F.; C. F. G. Loureiro e F. F. L. M. Sousa (2021) Modelagem LUTI das Determinantes e Inter-Relações das Decisões Locacionais de Diferentes Grupos Socioeconômicos. *Anais do 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, v.1, p. 2006-2018.
- Banister, D. (2008) The Sustainable Mobility Paradigm. *Transport Policy*, v. 15, n. 2, p. 73-80.
- Bertolini L.; F. le Clercq, L. Kapoen (2005) Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two Test-Applications in The Netherlands and a Reflection on the Way Forward. *Transport Policy*, v. 12, p. 207-220.
- Brathwaite, T. e J. L. Walker (2018) Causal inference in travel demand modeling (and the lack thereof). *Journal of Choice Modelling*, v. 26, p. 1-18.
- Cavalcante, C. B.; A. S. Lopes; M. M. Capasso e C. F. G. Loureiro (2020) Análise dos planos diretores de Fortaleza sob o paradigma do planejamento da acessibilidade e mobilidade da Urbe Sustentável. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 12.
- Garcia, C. S. H. F. (2016) *Strategic Assessment of Accessibility on Urban Mobility Networks*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Garcia, C. S. H. F., M. R. M. R. Macário, E. D. A. G. Menezes, C. F. G. Loureiro (2018). Strategic Assessment of Lisbon's Accessibility and Mobility Problems from an Equity Perspective. *Networks and Spatial Economics*, v. 18, n. 2, p. 415-439.
- Lopes, A. S.; C. F. G. Loureiro e B. Van Wee (2018) LUTI Operational Models Review Based on the Proposition of an A Priori ALUTI Conceptual Model. *Transport Reviews*, v. 20.
- Meyer, M. D. (2016) *Transportation Planning Handbook*. Institute of Transportation Engineers. (4º ed). John Wiley & Sons, New Jersey.
- Ministério das Cidades (2006) *Gestão Integrada da Mobilidade Urbana*. Secretaria de Transporte e da Mobilidade Urbana. – Brasília, DF.
- Pearl, J. (2000). *Causality: Models, Reasoning, and Inference* (1º ed.). Cambridge University Press, New York.
- Pinto, D. G. L.; M. F. Siqueira; C. F. G. Loureiro e F. F. L. M. Sousa (2021) Inferência Causal da Evolução dos Padrões de Escolha Modal por Classe de Renda em Fortaleza. *Anais do 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, v. 1, p. 1629-1641.
- Shiple, B. (2016). *Cause and Correlation in Biology* (2º ed.). Cambridge University Press, New York.



- Siqueira, M. F.; C. F. G. Loureiro e A. S. Lopes (2021) Diagnóstico das Relações Causa-Efeito na Mobilidade por Gênero em Grandes Cidades Brasileiras. *Transportes*, v.29(3), p. 1-14
- Siqueira, M. F. (2020) *Metodologia de Análise dos Determinantes da Demanda por Transportes no Paradigma da Inferência Causal*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará, Ceará.
- Sousa, F. F. L. M. (2019) *Diagnóstico Estratégico das Desigualdades Socioespaciais ao Trabalho em Fortaleza*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará, Ceará.
- Westreich, D. e S. Greenland (2013) The Table 2 Fallacy: Presenting and Interpreting Confounder and Modifier Coefficients. *American Journal of Epidemiology*. v. 177, n. 4. p. 292–298.

---

Maria Cristina Cavalcante Belo (mcristina.belo@det.ufc.br)  
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro (felipe@det.ufc.br)  
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici, Bloco 703, CEP 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil