



METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO DAS DESIGUALDADES SOCIOESPACIAIS NA ACESSIBILIDADE URBANA

Francelino Franco Leite de Matos Sousa
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

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

RESUMO

No planejamento urbano integrado do uso do solo e transportes, a compreensão sistematizada da problemática das desigualdades socioespaciais na acessibilidade produz um ambiente de negociação entre os atores, embasando a definição e priorização de objetivos e metas, de modo a justificar políticas e intervenções justas e sustentáveis. Neste trabalho, tendo como objetivo geral consolidar um método de diagnóstico estratégico dessas desigualdades, defende-se que esse diagnóstico incorpore análises de causa-efeito das restrições de uso do solo e transportes sobre a acessibilidade, para que seja produzida uma compreensão da evolução passada, com projeção futura, dessa problemática. Ao aplicar esse método para Fortaleza, projeta-se que a continuidade do espraiamento urbano, sem políticas públicas eficazes, deve agravar suas desigualdades espaciais, mitigando levemente as desigualdades sociais na acessibilidade ao trabalho entre os segmentos de baixa e alta renda; embora essa tendência ainda resultando em reduções significativas nos níveis de acessibilidade de ambos os grupos.

ABSTRACT

In the integrated land-use and transport planning, the systematized understanding of the problem related to socio-spatial inequalities in accessibility creates an environment for negotiation among agents, supporting the definition and prioritization of objectives and goals, as a means to justify fair and sustainable policies and interventions. In this work, which main objective is to consolidate a method to strategically diagnose these inequalities, it is argued that it must incorporate cause-effect analyses of land-use and transport restrictions on accessibility levels, to produce an understanding of the past evolution, with future projection, of such inequalities. By applying this method to Fortaleza, it appears that the continuity of its urban sprawl process, without effective policies, should worsen the spatial inequalities, and slightly mitigate social inequalities in job accessibility between low- and high-income segments; though this trend still resulting in significant reductions in accessibility levels for both groups.

1. INTRODUÇÃO

A população de baixa renda das grandes cidades costuma ser o segmento com os menores níveis de acessibilidade aos empregos e aos equipamentos de saúde e de educação (Lucas *et al.*, 2016). Em metrópoles do Sul Global, essas pessoas constituem um grupo vulnerável, residindo em áreas periféricas, distantes das centralidades urbanas, com limitações financeiras para adquirir veículos privados; portanto, dependendo de uma rede de transporte público com baixo nível de serviço e poucas alternativas de deslocamento (Titheridge *et al.*, 2014). Suas reduzidas condições de acesso às oportunidades de trabalho e educação apresentam-se como uma das principais causas pelas quais esse grupo possui maiores níveis de desemprego (Johnson *et al.*, 2017), maiores tempos de deslocamentos e menor participação em atividades sociais (Sharmeen *et al.*, 2014), quando comparados ao grupo privilegiado de pessoas de renda elevada.

Essas desigualdades socioespaciais na acessibilidade urbana podem ser consequência de investimentos desiguais e ineficazes na oferta de transportes, ou fruto de uma distribuição espacial inadequada dos domicílios e das atividades sobre o território (Garcia *et al.*, 2018); por isso, a promoção de equidade na distribuição da acessibilidade tem sido cada vez mais defendida nos esforços de planejamento urbano (van Wee e Geurs, 2011). Para beneficiar a população vulnerável (Martens, 2012), o planejamento integrado do uso do solo e transportes, também referenciado como paradigma da Acessibilidade Sustentável (Bertolini *et al.*, 2005), deve se apoiar numa abordagem sistematizada de compreensão da problemática urbana, a qual



permita um ambiente de negociação entre os atores para conciliar seus interesses conflitantes (Willson, 2001), embasando a definição e priorização de objetivos estratégicos e táticos, de modo a justificar uma efetividade justa e sustentável de políticas públicas de uso do solo e intervenções em transportes (Soares *et al.*, 2018).

Para o planejamento da mobilidade urbana no Brasil, o Ministério das Cidades (2015) preconiza que o diagnóstico no nível estratégico deve “identificar claramente os problemas enfrentados pelas pessoas para acessar as oportunidades que a cidade oferece e as suas causas”; apesar disso, não detalha suas etapas metodológicas, que são sintetizadas pela descrição de pesquisas e análises de bases de dados existentes. Este artigo tem como objetivo geral, portanto, consolidar um método de diagnóstico estratégico das desigualdades socioespaciais na acessibilidade urbana, visando à compreensão da problemática resultante da inter-relação entre uso do solo e transportes nas metrópoles brasileiras. Seus objetivos específicos são: (i) discutir os desafios metodológicos para a realização de um esforço de diagnóstico dessa problemática (Seção 2); (ii) elaborar hipóteses das determinantes das desigualdades, a partir de estudos empíricos realizados para cidades brasileiras (Seção 3); (iii) propor um método que supere limitações metodológicas do diagnóstico e permita a análise agregada das hipóteses de causalidade levantadas (Seção 4); e (iv) verificar a aplicabilidade da proposta no nível estratégico do planejamento urbano integrado do uso do solo e transportes, a partir da sua aplicação em Fortaleza (Seção 5). Por fim, as conclusões e recomendações são apresentadas na Seção 6.

2. DESAFIOS METODOLÓGICOS NO DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO

Sem uma política pública deliberada, o acesso às atividades é distribuído de maneira equivocada (Pereira *et al.*, 2017) que acaba por produzir desigualdades entre grupos de indivíduos que residem em diferentes regiões do território urbano, ou que possuem distintas características socioeconômicas ou de mobilidade, comprometendo níveis sustentáveis de acessibilidade para gerações futuras (Garcia *et al.*, 2018). Essas desigualdades tornam-se problemas quando os grupos mais vulneráveis, como a população de baixa renda, encontram-se com os piores níveis de acesso às oportunidades (Litman, 2019). Para ser justa, uma distribuição (espacial ou não) da acessibilidade é aquela em que os direitos e liberdades fundamentais dos indivíduos não são violados ou sacrificados com base na melhoria dos níveis de acessibilidade de outros; já uma política de transporte será justa se distribuir investimentos e serviços de transporte de maneira a reduzir as desigualdades, em especial, priorizando grupos vulneráveis (Martens *et al.*, 2012).

De modo a caracterizar problemas de reduzidos níveis de acesso às atividades urbanas, diversos tipos de indicadores de acessibilidade já foram formulados pela comunidade científica (Geurs e van Wee, 2004). Em comum, eles incorporam variáveis dos componentes de uso do solo e de transportes, quantificando a impedância do deslocamento, que pode ser representada apenas pela distância ou tempo de viagem, ou ainda considerando a percepção dos usuários sobre os atributos de nível de serviço. Apesar dos indicadores baseados em utilidade, como o *logsum*, incorporarem com rigor metodológico o componente individual da acessibilidade, sua complexidade de interpretação os tornam ferramentas limitadas de diálogo em processos de planejamento (Jong *et al.*, 2005). Já na representação da distribuição espacial das atividades, os indicadores devem mensurar o efeito agregado da quantidade de atividades e concorrência na sua demanda, ponderadas pela impedância em um raio de deslocamento, adotando métricas de oportunidades cumulativas ou gravitacionais com funções de decaimento (Miller, 2020).



Além de caracterizar os níveis de acessibilidade e suas desigualdades, o esforço de diagnóstico tem como essência a investigação das relações de causa e efeito que constituem tais problemas (Garcia et al., 2018). Ao reconhecer a acessibilidade como o produto da interação das medidas de desempenho dos transportes com o uso do solo (van Wee e Geurs, 2011), amplia-se o conjunto de elementos que influenciam os níveis de acessibilidade e, consequentemente, suas desigualdades. Para que a causalidade seja estabelecida, Singleton e Straits (1997) propõem quatro critérios: a) a causa e o efeito devem estar estatisticamente associados; b) a causa deve ocorrer temporalmente antes do efeito; c) nenhum terceiro fator cria uma relação espúria entre as variáveis; e d) deve-se conhecer o mecanismo pelo qual a causa influencia o efeito. De modo a inferir estatisticamente efeitos das restrições de uso do solo e transportes como determinantes das desigualdades na acessibilidade, torna-se necessário, portanto, controlar possíveis fontes de endogeneidade, o que pode ser investigado inicialmente por análises espaciais exploratórias. Para uma análise confirmatória, os modelos de regressão espacial locais podem então ser utilizados na tentativa de compreender como essas distintas determinantes impactam isoladamente na acessibilidade, reconhecendo a variabilidade desses efeitos sobre o território, ao contrário dos modelos espaciais globais que consideram apenas uma média dessa influência sobre o espaço; ou ainda de modelos não espaciais, que desconsideram a interação espacial entre áreas vizinhas ou próximas (Fotheringham *et al.*, 2000).

Além das relações de causalidade, as desigualdades também precisam ser investigadas em outros cenários temporais para terem sua dinâmica de evolução melhor compreendida. A justiça intergeracional possibilita justificar obrigações das pessoas que vivem na atualidade, em: (i) não violar os direitos das gerações futuras (em possuírem níveis mínimos adequados de acessibilidade) e (ii) fornecer compensação aos seus contemporâneos por danos realizados no passado (como reduzir as desigualdades socioespaciais que atingem os grupos vulneráveis) (Meyer, 2021). As tendências de evolução passada ou futura das desigualdades podem ser avaliadas pelos níveis de acessibilidade em cenários simulados, mas para isso são necessárias ferramentas de modelagem da acessibilidade não apenas como produto da simulação das decisões de viagens, mas também das decisões locacionais, como fazem os modelos integrados de uso do solo e transportes, ou modelos LUTI (de la Barra, 1989).

Os modelos LUTI baseados em interação espacial consideram, de forma agregada, que a interação entre quaisquer duas zonas é diretamente proporcional ao número e tipo de atividades, e inversamente proporcional a uma função de impedância entre elas (Acheampong e Silva, 2015). Modelos LUTI com abordagem econométrica preveem as escolhas a partir de uma função de atributos das alternativas, normalmente considerando uma dispersão estocástica. Por fim, modelos LUTI de microssimulação permitem simular o comportamento decisório no nível dos atores, como domicílios ou firmas, embora não permitam um avanço significativo de representação do fenômeno urbano no nível estratégico de planejamento quando comparados aos modelos econométricos (Lopes *et al.*, 2018). A aplicação dos modelos LUTI, geralmente restrita a ambientes acadêmicos, tem se concentrado em esforços de calibração, ainda com poucas contribuições na sua validação e acreditação (Miller, 2018).

Por fim, a classificação e a hierarquização das desigualdades na acessibilidade sobre o território possibilita sintetizar a compreensão dessa problemática urbana, estabelecendo bases empíricas para a priorização dos objetivos do planejamento (Soares *et al.*, 2018). O diagnóstico estratégico das desigualdades socioeconômicas na acessibilidade pode então ser sintetizado por meio da classificação do território da cidade, destacando os grupos de indivíduos e as regiões a serem



mais beneficiadas pelas políticas de intervenção, conectando o conhecimento construído no esforço de diagnóstico à negociação dos objetivos estratégicos e táticos que embasarão a proposição e avaliação de políticas públicas de uso do solo e transportes (Sousa *et al.*, 2020b).

3. DESIGUALDADES NA ACESSIBILIDADE NAS METRÓPOLES BRASILEIRAS

Diversos estudos recentes têm avaliado diferenças nos níveis de acessibilidade em cidades brasileiras, sendo possível traçar um retrato de como os problemas de acessibilidade estão impactando distintos segmentos populacionais (Pereira *et al.*, 2020). Nesses estudos, os níveis de acessibilidade são comumente mensurados com base em indicadores de oportunidades cumulativas e gravitacionais, com impedâncias representadas pelo tempo de viagem, mas também são encontrados trabalhos que utilizam indicadores locais baseados em utilidade (Pinto *et al.*, 2021). Suas evidências apontam para níveis mais baixos de acessibilidade ao trabalho ocorrendo nas regiões periféricas das grandes cidades (Cerqueira, 2017; Giannotti *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2021), embora com níveis de acesso da população de baixa renda aos equipamentos de saúde e educação apresentando padrões mais dispersos e menos dependentes das principais centralidades dessas cidades (Pereira *et al.*, 2020).

A espacialização dos níveis de acessibilidade em diferentes resoluções do território urbano apresenta-se como a forma mais comum de análise das desigualdades socioespaciais, mas que pode ser reforçada por um nível maior de agregação espacial para possibilitar a comparação entre regiões periféricas e centrais (Pinto *et al.*, 2021). Já em análises das desigualdades socioeconômicas, destacam-se as comparações dos níveis de acessibilidade entre grupos populacionais com distintos níveis de renda. Em Fortaleza, por exemplo, a baixa renda chega a ter em média um terço da acessibilidade da alta renda (Lima *et al.*, 2021). Entretanto, a cor da pele (Bittencourt *et al.*, 2021) ou o Índice de Desenvolvimento Humano da região em que uma pessoa reside (Slovic *et al.*, 2019) são exemplos de outras características socioeconômicas utilizadas na definição dos grupos mais vulneráveis. Essas análises podem incluir métricas específicas para representar as distribuições das desigualdades por extratos socioeconômicos, como curvas de Lorenz (Giannotti *et al.*, 2021) e Razão de Palma (Herszenhut *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2020), que possibilitam a comparação dos níveis de desigualdade no acesso a distintas atividades, em diferentes cidades ou retratos temporais.

Esses trabalhos reconhecem os efeitos que a distribuição espacial das atividades e o desempenho do sistema de transportes possuem sobre os níveis de acessibilidade, seja na formulação do indicador, como na caracterização dos resultados encontrados, enquanto alguns vão além e sistematizam análises de causalidade. Bittencourt *et al.* (2021) investigam a relação dos níveis de acessibilidade com a segregação espacial, enquanto Lima *et al.* (2021) e Aragão *et al.* (2022) discutem o efeito da baixa diversidade de atividades sobre a acessibilidade. Já Boisjoly e El-Geneidy (2016) e Pinto *et al.* (2022) se propõem a compreender como a informalidade está relacionada com a acessibilidade, apoiando-se em métodos exploratórios de análise dessa causalidade com foco na associação espacial estatística.

Pode-se dizer que os trabalhos nacionais permitem uma caracterização dos problemas de baixa acessibilidade e de desigualdades socioespaciais, possibilitando assim um debate sobre onde estão e quem são as pessoas nos grupos mais vulneráveis, e o quão distantes estão das melhores condições de acesso às atividades. Entretanto, o planejamento urbano integrado requer mais informações para a tomada de decisão. Avaliar como essa problemática poderá evoluir é fundamental para a seleção de políticas públicas que de fato mitiguem as desigualdades

(Martens, 2012); entretanto, prognósticos dessa problemática dependem de como ela vem evoluindo e de como vêm se modificando as diferentes causas da acessibilidade (Sousa, 2019).

4. MÉTODO DE DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO DA ACESSIBILIDADE URBANA

O método de diagnóstico estratégico proposto neste trabalho é composto de três fases (Figura 1): (I) Caracterização da Acessibilidade e suas Restrições, quando são mensurados e conhecidos os níveis da acessibilidade e das restrições que a modificam espacialmente e temporalmente; (II) Caracterização das Desigualdades na Acessibilidade, quando a intensidade das diferenças espaciais e socioeconômicas dos níveis de acessibilidade são compreendidos no presente e passado; e (III) Diagnóstico das Desigualdades na Acessibilidade, em que se avalia o quanto cada restrição interfere nos níveis de acessibilidade e como essas desigualdades socioespaciais podem afetar as gerações futuras.

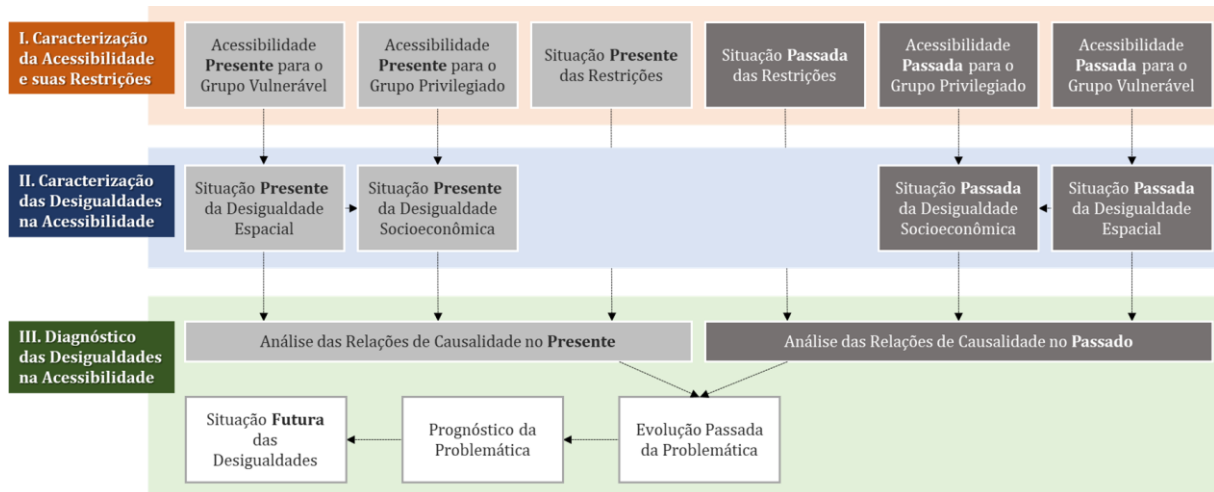


Figura 1: Método de diagnóstico estratégico das desigualdades socioespaciais na acessibilidade urbana

Considerando uma análise de justiça distributiva, o diagnóstico foca na população vulnerável comparando seus níveis de acesso com seu grupo oposto, aqui denominado de grupo privilegiado (Martens, 2012), evitando-se assim que se debata sobre áreas com baixos níveis de acessibilidade mas vazias de ocupação do solo. Como o interesse da análise está voltado em compreender as dificuldades em acessar atividades a partir de uma determinada zona, deseja-se um indicador agregado que mensure uma acessibilidade do tipo ativa (Cascetta, 2009) e que reconheça a quantidade de atividades que podem ser acessadas a partir de uma determinada zona; mas que varie no espaço, por grupos sociais e no tempo, permitindo que seja adequado para descrever os diferentes tipos de desigualdades.

A compreensão das desigualdades socioespaciais no presente permite identificar o quão distante o grupo vulnerável encontra-se do grupo privilegiado, além de avaliar como as diferentes restrições interferem nos níveis de acessibilidade; no passado, possibilita estabelecer a evolução da problemática das desigualdades e dos seus efeitos causais; enquanto o cenário futuro faz uso de tendências evolutivas para projetar as desigualdades e construir um prognóstico dos seus efeitos sobre os níveis de acesso das gerações futuras. Incorpora-se assim o princípio da sustentabilidade entre gerações na análise de diagnóstico da problemática (Meyer, 2021).



Parte-se assim da premissa de que os problemas de baixos níveis e de desigualdades no acesso às atividades são decorrentes de ineficiências nos transportes e de inadequações na distribuição de usos do solo, as quais são percebidas de forma diferente a depender das características socioeconômicas dos grupos de indivíduos (Garcia *et al.*, 2018). Dessa forma, levantar hipóteses de causalidade para as desigualdades socioespaciais permite investigar como os elementos do uso do solo e da rede de transportes fazem com que a acessibilidade se modifique de forma distinta no espaço e entre grupos, analisando indicadores como a cobertura e frequência do transporte público coletivo, assim como densidade e diversidades de usos do solo.

Propõe-se que a investigação de cada uma dessas hipóteses contemple inicialmente esforços de análise exploratória, a partir da mensuração da sua variabilidade e dependência espacial, seguida por análises confirmatórias de estimação estatística dos efeitos causais entre restrições e níveis de acesso. Em um fenômeno espacial, a utilização de medidas de correlação espacial, como o índice bi-variado de Moran, seguida do uso da modelagem de regressão geoponderada, possibilitam a identificação dos efeitos locais de cada uma das restrições sobre os níveis de acessibilidade. A compreensão dessas relações, suportada na representação da acessibilidade e de suas restrições, culminará no esforço de descrição da evolução passada da problemática.

O prognóstico de evolução dessa problemática deverá então prever níveis de acessibilidade para uma análise de cenários de desigualdade entre gerações presente e futura. Dessa forma, esse esforço de previsão deve estabelecer como premissa um futuro tendencial, que simule os níveis de acessibilidade caso as políticas públicas já estabelecidas ou implementadas, assim como o comportamento decisório dos diversos atores dos subsistemas urbanos (Sousa *et al.*, 2020a) continuem evoluindo na mesma direção observada no passado. Ressalta-se que esse esforço de prognóstico de cenário futuro difere do cenário *do-nothing* contemplado na avaliação *ex-ante*, pois não objetiva prever impactos de alternativas de solução, e sim estabelecer bases mais sólidas para a construção coletiva da imagem-objetivo, ou visão de futuro da cidade.

5. DIAGNÓSTICO DAS DESIGUALDADES NA ACESSIBILIDADE AO TRABALHO EM FORTALEZA

Nesta seção, objetivando demonstrar a aplicabilidade do método proposto, descreve-se o esforço de diagnóstico das desigualdades socioespaciais na acessibilidade ao trabalho em Fortaleza, tendo seus segmentos populacionais de baixa e alta renda como grupos vulnerável e privilegiado, respectivamente. A análise considera os anos 2000, 2015 e 2030 como referenciais para os cenários passado, presente e futuro, utilizando o modelo TRANUS (de la Barra, 1989) para simular decisões locais e de viagens de forma a estimar medidas de desempenho das intra e inter-relações entre uso do solo e transportes. O indicador de acessibilidade utilizado é baseado em *logsum* (Sousa, 2019), incorporando diversos atributos da viagem, como também a distribuição das atividades sobre o território, a competição pelas oportunidades de emprego e as características específicas para os grupos de indivíduos contemplados no diagnóstico.

5.1 Caracterização da desigualdade espacial

Em Fortaleza, o grupo vulnerável (60% dos domicílios com renda mais baixa) reside principalmente nas periferias Noroeste e Sudoeste da cidade, como retratado na Figura 2a, distante da região Central, área com maior concentração dos postos de trabalho. Portanto, a acessibilidade se distribui de maneira concêntrica, com os melhores níveis na região Central e os piores nas regiões periféricas, em especial nas regiões Sudoeste, Sul e Sudeste (Figura 2b). Pelos histogramas da Figura 2c, percebe-se que a acessibilidade da baixa renda diminuiu entre



2000 e 2015, impactada pela redução em 13% na taxa de oferta de empregos por domicílio observada nesse período. O formato simétrico dos histogramas indica que existe um considerável número de domicílios de baixa renda em regiões com níveis de acessibilidade acima da média do grupo, como na porção Norte da cidade.

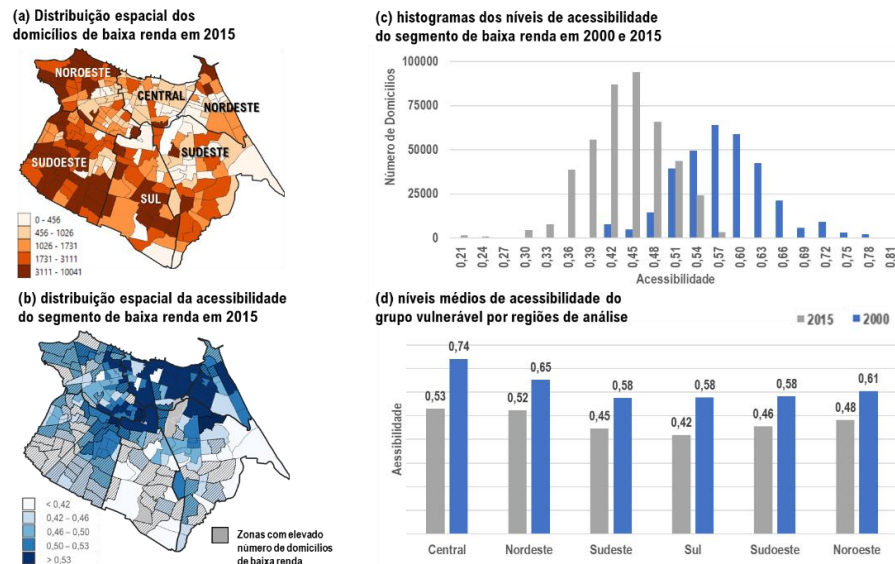


Figura 2: Caracterização da acessibilidade ao trabalho do grupo vulnerável: (a) distribuição espacial dos domicílios de baixa renda em 2015 e delimitação das regiões de análise; (b) distribuição espacial da acessibilidade do segmento de baixa renda em 2015; (c) histogramas dos níveis de acessibilidade do segmento de baixa renda em 2000 e 2015; (d) níveis médios de acessibilidade do grupo vulnerável por regiões de análise.

As regiões periféricas já apresentavam graves problemas de baixa acessibilidade no início do século, sendo as zonas limítrofes da cidade aquelas onde ainda se verificam os níveis mais baixos de acesso aos postos de trabalho. Entre 2000 e 2015, e considerando as seis regiões de análise (Figura 2d), não se constata grandes modificações na configuração das desigualdades espaciais na acessibilidade. Entretanto, comparando os dois recortes, verifica-se a população de baixa renda se concentrando mais nas zonas com os piores níveis de acessibilidade, o que permite hipotetizar que as políticas habitacionais e intervenções de transportes aplicadas neste período não foram suficientes para promover uma melhoria da acessibilidade nas regiões periféricas, ou na tentativa de realocar seus domicílios para áreas com melhor acessibilidade.

5.2 Caracterização da desigualdade socioeconômica

A compreensão da desigualdade espacial na acessibilidade do grupo vulnerável possibilita a construção da interpretação para a desigualdade socioeconômica, quando contraposta com a caracterização dos níveis de acessibilidade do grupo privilegiado (10% dos domicílios com renda mais alta) (Figura 3). Constata-se também uma redução dos níveis de acessibilidade do grupo de alta renda, decorrente da diminuição do seu mix de emprego e população; entretanto, esse grupo populacional continua a residir nas regiões com melhores níveis de acessibilidade.

Em 2015, os domicílios do grupo privilegiado se concentram nas zonas com os melhores níveis de acessibilidade na região Central (Figura 3a e 3b). Assim como na Figura 2b, observa-se em

2015 uma melhoria de acessibilidade ao longo dos eixos viários que receberam intervenções de aumento de capacidade, mas as zonas beneficiadas passaram a ser ocupadas por uma proporção cada vez maior de domicílios de alta renda. Apesar da redução dos níveis gerais de acessibilidade (Figura 3c), os níveis médios por região em 2015 produzem um padrão espacial similar ao que se observava em 2000 (Figura 3d), padrão esse que reforça as desigualdades socioespaciais, destacando a região Central, ocupada majoritariamente pelo grupo privilegiado, como a que continua a prover as melhores de condições de acesso às oportunidades de trabalho.

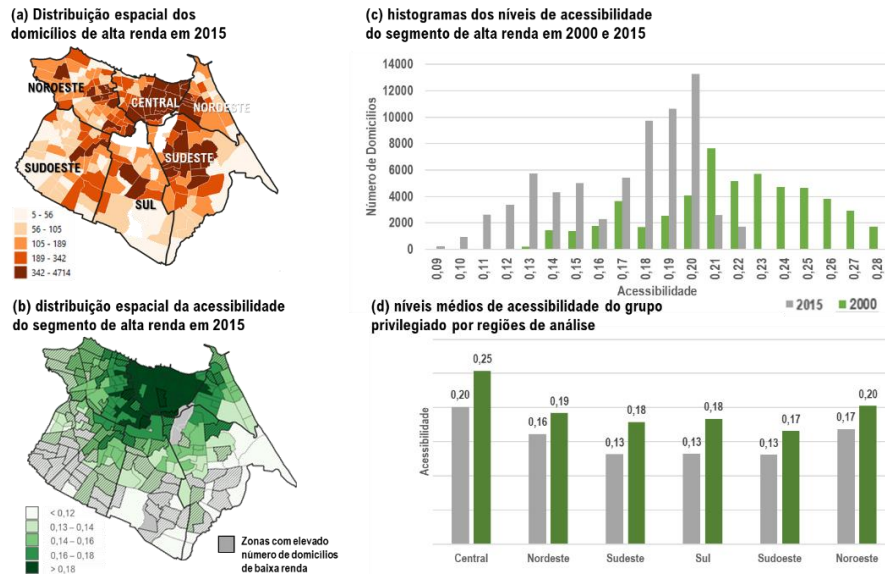


Figura 3: Caracterização da acessibilidade ao trabalho do grupo privilegiado: (a) distribuição espacial dos domicílios de alta renda em 2015 e delimitação das regiões de análise; (b) distribuição espacial da acessibilidade do segmento de alta renda em 2015; (c) histogramas dos níveis de acessibilidade do segmento de alta renda em 2000 e 2015; (d) níveis médios de acessibilidade do grupo privilegiado por regiões de análise.

5.3 Análise das relações de causalidade

Com base na caracterização das desigualdades socioespaciais nas situações presente e passada, buscou-se investigar mudanças nos efeitos advindos das restrições de uso do solo, representadas por indicadores de distância euclidiana às centralidades e pelo mix entre empregos e domicílios; assim como advindos das restrições da rede de transporte público, representadas por indicadores de distância na rede ao terminal de integração mais próximo e pela soma das frequências das linhas atendendo cada zona. A Figura 4 apresenta a correlação espacial entre os indicadores de acessibilidade do grupo vulnerável e suas restrições, por meio de mapas *bi-lisa cluster* que permitem avaliar, com 5% de nível de significância, a formação de aglomerados de zonas, além das respectivas estimativas do grau de correlação por meio dos índices de Moran.

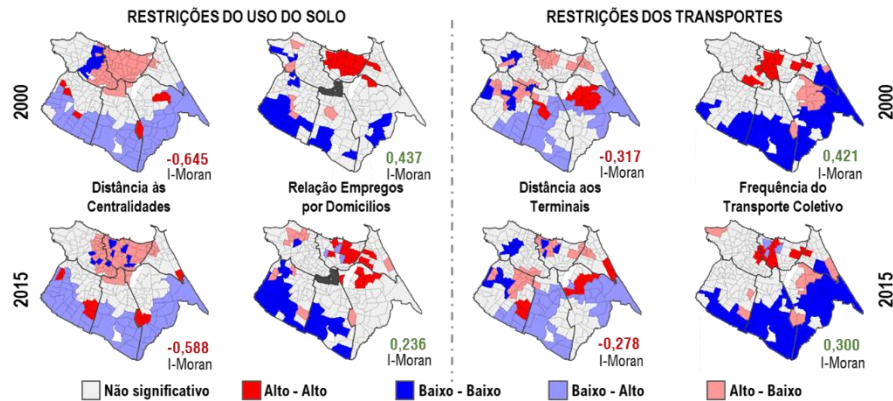


Figura 4: Mapas *bi-lisa cluster* e índices de Moran entre acessibilidade do grupo de baixa renda e restrições do uso do solo e dos transportes em 2000 e em 2015.

Constata-se que, em 2000 e 2015, a acessibilidade da população de baixa renda possui relações diretamente proporcionais com a taxa de empregos por domicílios e com a frequência do transporte coletivo, e inversamente proporcional com as distâncias às centralidades e aos terminais. Os padrões espaciais nos dois recortes são similares, mas em todos observa-se uma diminuição na correlação espacial, indicando que essas restrições reduziram seu poder explicativo no período analisado. A maior redução ocorre com a relação empregos por domicílios, o que se justifica por uma maior centralização das oportunidades de trabalho e periferização do grupo vulnerável, fazendo com que o indicador da restrição assumisse valores mais extremos nessas regiões, sem que os níveis de acessibilidade tenham se modificado na mesma intensidade.

Foram calibrados modelos geponderados para identificar o efeito relativo entre cada uma das restrições e os níveis de acessibilidade em cada uma das regiões de análise. Esses modelos foram calibrados incluindo outras restrições (Sousa, 2019), mas para efeitos desta aplicação são apresentados apenas os coeficientes das restrições de distância às centralidades e aos terminais, cujos indicadores foram normalizados para que os coeficientes pudessem ser comparados. Os coeficientes de cada uma das restrições estão espacializados nos mapas da Figura 5, que apresenta também os valores médios dos coeficientes em cada região de análise.

Pela Figura 5, verifica-se que a distância da zona de domicílio às centralidades possui maior influência do que a distância aos terminais nos níveis de acesso da população de baixa renda, pois os valores médios dos coeficientes são mais negativos. Entre 2000 e 2015, a influência dessas restrições aumentam em todo o território, mas enquanto o padrão espacial das distâncias às centralidades se mantém, os efeitos mais intensos das distâncias aos terminais migram do lado Oeste para a região Central e Nordeste da cidade, sugerindo que as intervenções físicas e operacionais implementadas na rede de transporte coletivo impactaram mais positivamente nos níveis de acesso do grupo vulnerável que reside nas regiões do lado Oeste.

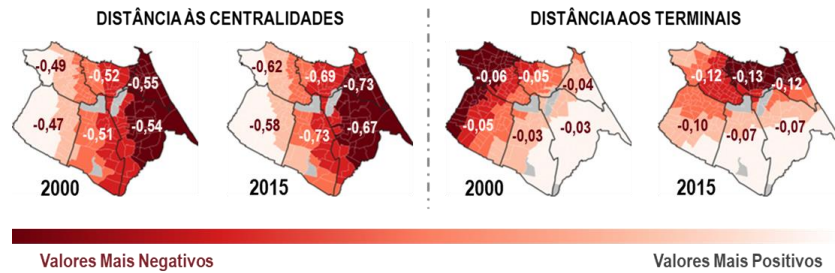
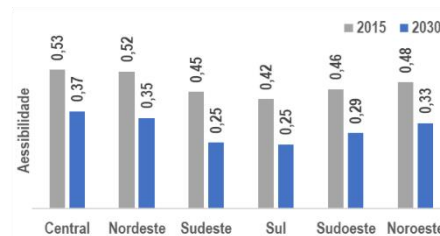
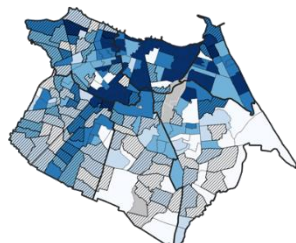


Figura 5: Coeficientes da regressão geponderada para a acessibilidade do grupo de baixa renda em 2000 e 2015.

5.4 Prognóstico de evolução da problemática

Para efeitos de simulação da evolução futura da problemática das desigualdades socioespaciais ao trabalho em Fortaleza, projetou-se um cenário tendencial para o ano-horizonte 2030, buscando-se investigar como a continuidade das mudanças comportamentais nas decisões locacionais e de viagens, observadas a partir da calibração dos parâmetros dos modelos do TRANUS para 2000 e 2015 (Sousa *et al.*, 2020a), acrescidas da implementação das políticas e intervenções nos subsistemas previstas nos planos diretor e de mobilidade da cidade, podem vir a impactar nos níveis de acessibilidade das gerações futuras dos grupos vulnerável e privilegiado. Estima-se uma redução da acessibilidade média em torno de 37% para a população de baixa renda (Figura 6a) e de 41% para a população de alta renda (Figura 6b). Parte dessa queda pode ser explicada pela redução do mix de empregos e domicílios; outra parte dessa explicação relaciona-se com a tendência dos segmentos, tanto de baixa quanto de alta renda, de residirem em áreas periféricas e de utilizarem cada vez mais veículos motorizados individuais.

(a) Acessibilidade do Grupo Vulnerável em 2030



(b) Acessibilidade do Grupo Privilegiado em 2030

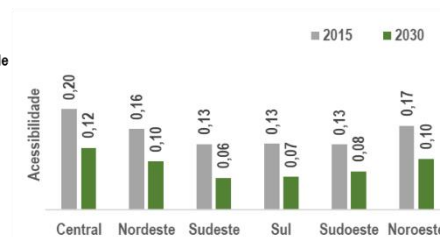
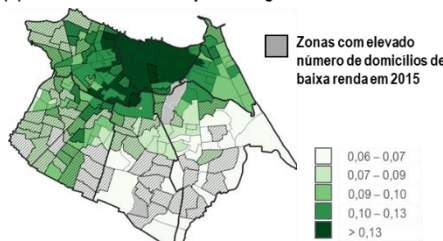


Figura 6: Simulação da acessibilidade dos grupos vulnerável (a) e privilegiado (b) em 2030.

A menor redução dos níveis de acessibilidade da população vulnerável, quando comparada ao grupo privilegiado, pode ser explicada pela melhor acessibilidade provida pela Linha Sul do metrô de Fortaleza, que corta a região Sudoeste onde reside grande parte da população de baixa renda, e que deverá passar a operar com frequência cinco vezes maior que a atual. Além disso, a contínua migração de segmentos de alta renda para a região Sudeste deve contribuir para



ampliar os níveis de congestionamento da região, reduzindo de maneira mais intensa seus níveis de acessibilidade ao trabalho. Verifica-se, assim, que a continuidade do processo atual de espraiamento urbano deverá agravar as desigualdades espaciais na cidade, embora com leve tendência de mitigar as desigualdades sociais no acesso às oportunidades de emprego; porém, não se deve entender essa tendência como positiva já que resultaria de reduções significativas nos níveis de acessibilidade tanto do grupo privilegiado como do grupo vulnerável.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Espera-se que as discussões conceituais, metodológicas e fenomenológicas aqui realizadas reforcem o consenso sobre a relevância do esforço de diagnóstico estratégico das desigualdades na acessibilidade, essencial no planejamento urbano integrado do uso do solo e dos transportes. Nesta proposta, destaca-se que o diagnóstico deve incorporar análises de causa-efeito das restrições de uso do solo e transportes sobre a acessibilidade, para que seja produzida uma compreensão da evolução passada, com projeção futura, dessas desigualdades. Entretanto, esse conhecimento precisa ser traduzido de forma simples e objetiva para que os atores do planejamento possam utilizá-lo na definição e priorização dos objetivos estratégicos, além de, posteriormente, na elaboração de políticas públicas de uso do solo e intervenções de transportes. Em um processo bem estruturado, as etapas do diagnóstico devem contribuir para que cada grupo de atores compreenda melhor não só seus problemas e respectivas causas, como também os problemas e as necessidades dos demais atores, proporcionando assim um ambiente de tomada de decisão apoiado no diálogo e na negociação dos seus conflitos de interesses.

Ressalta-se que no diagnóstico estratégico, a modelagem LUTI permite a simulação de medidas de desempenho em cenários futuros; ademais, os esforços de calibração e validação desses modelos contribuem ainda na compreensão dos determinantes das decisões locais e de viagens, possibilitando um melhor entendimento das relações causais entre esses fenômenos. Esforços de análises espaciais exploratórias devem embasar, então, a formulação e calibração de modelos estatísticos confirmatórios das hipóteses de causa-efeito investigadas. Na aplicação em Fortaleza, modelos de regressão geponderada fizeram esse papel, mensurando associações espaciais entre níveis de acessibilidade e restrições socioeconômicas e territoriais. Recomenda-se, entretanto, investigar possíveis fontes de endogeneidade com análises de inferência causal.

Embora focado na problemática das desigualdades socioespaciais na acessibilidade, defende-se que o esforço de diagnóstico no nível estratégico avance na compreensão dos efeitos das desigualdades no acesso às oportunidades sobre a participação em atividades e seus inerentes padrões de mobilidade, que venham a produzir externalidades socioambientais indesejáveis. Reconhecer a avaliação estratégica da problemática como etapa basilar do planejamento urbano integrado do uso do solo e transportes possibilitará, finalmente, a construção coletiva de meios para se almejar cidades socialmente mais justas e ambientalmente mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- Acheampong, R. A., e Silva, E. (2015) Land use–transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions. *Journal of Transport and Land Use*. doi:10.5198/jtlu.2015.806
- Aragão, A. de A., Loureiro, C. F. G., e Lopes, A. S. (2022) Impactos da Lei de Uso e Ocupação do Solo nas Desigualdades Socioespaciais da Acessibilidade às Atividades em Fortaleza. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 14.



- Bertolini, L., le Clercq, F., e Kapoen, L. (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*, 12(3), 207–220. doi:10.1016/j.tranpol.2005.01.006
- Bittencourt, T. A., Giannotti, M., e Marques, E. (2021) Cumulative (and self-reinforcing) spatial inequalities: Interactions between accessibility and segregation in four Brazilian metropolises. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(7), 1989–2005. doi:10.1177/2399808320958426
- Boisjoly, G., e El-Genedy, A. (2016) Daily fluctuations in transit and job availability: A comparative assessment of time-sensitive accessibility measures. *Journal of Transport Geography*, 52, 73–81.
- Cascetta, E. (2009) *Transportation Systems Analysis*. (Vol. 29). Springer US, Boston, MA.
- Cerqueira, E. V. (2017) Les inégalités d'accès aux ressources urbaines dans les franges périphériques de Belo Horizonte (Brésil): quelles évolutions? *EchoGéo*, (39). doi:10.4000/echogeo.14856
- de la Barra, T. (1989) *Integrated land use and transport modelling: decision chains and hierarchies*. Cambridge University Press, Cambridge; New York.
- Fotheringham, A. S., Brunson, C., e Charlton, M. (2000) *Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis*. Sage Publications, London; Thousand Oaks, Calif.
- Garcia, C. S. H. F. (2016) *Strategic Assessment of Accessibility on Urban Mobility Networks* (Tese). Universidade de Lisboa.
- Garcia, C. S. H. F., Macário, R., Menezes, E. D. de 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*, 18(2), 415–439. doi:10.1007/s11067-018-9391-4
- 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
- Giannotti, M., Barros, J., Tomasiello, D. B., Smith, D., Pizzol, B., Santos, B. M., Zhong, C., Shen, Y., Marques, E., e Batty, M. (2021) Inequalities in transit accessibility: Contributions from a comparative study between Global South and North metropolitan regions. *Cities*, 109, 103016. doi:10.1016/j.cities.2020.103016
- Herszenhut, D., Pereira, R. H. M., Portugal, L. da S., e Oliveira, M. H. de S. (2022) The impact of transit monetary costs on transport inequality. *Journal of Transport Geography*, 99.
- Johnson, D., Ercolani, M., e Mackie, P. (2017) Econometric analysis of the link between public transport accessibility and employment. *Transport Policy*, 60, 1–9. doi:10.1016/j.tranpol.2017.08.001
- Jong, G. de, Daly, A., Pieters, M., e van der Hoorn, T. (2005) The logsum as an evaluation measure: Review of the literature and new results. 45th Congress of the European Regional Science Association, Amsterdam.
- Lima, L. S., Loureiro, C. F. G., Sousa, F. F. L. de M., e Lopes, A. S. (2021) Espreadamento urbano e seus impactos nas desigualdades socioespaciais da acessibilidade ao trabalho em Fortaleza. *Transportes (Rio de Janeiro)*, 29(1), 229–246. doi:10.14295/transportes.v29i1.2021
- Litman, T. (2019) *Evaluating Transportation Equity*. (p. 66).
- 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*, 39(2), 204–225.
- Lucas, K., Mattioli, G., Verlinghieri, E., e Guzman, A. (2016) Transport poverty and its adverse social consequences. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 169(6), 353–365.
- Martens, K. (2012) Justice in transport as justice in accessibility: applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the transport sector. *Transportation*, 39(6), 1035–1053. doi:10.1007/s11116-012-9388-7
- Martens, K., Golub, A., e Robinson, G. (2012) A justice-theoretic approach to the distribution of transportation benefits: Implications for transportation planning practice in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(4), 684–695. doi:10.1016/j.tra.2012.01.004
- Meyer, L. (2021) Intergenerational Justice. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edward N. Zalta, Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Miller, E. J. (2020) *Measuring Accessibility: Methods and Issues* (International Transport Forum Discussion Papers No. 2020/25). OECD Publishing, Paris.
- Miller, E. J. (2018) Integrated urban modeling: past, present, and future. *Journal of Transport and Land Use*, 11(1). doi:10.5198/jtlu.2018.1273
- Ministério das Cidades. (2015) *PlanMob - Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana*.
- Pereira, R. H. M., Braga, C. K. V., Serra, B., e Nadalin, V. G. (2020) *Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras - 2019* (No. 2535). IPEA.
- Pereira, R. H. M., Schwanen, T., e Banister, D. (2017) Distributive justice and equity in transportation. *Transport Reviews*, 37(2), 170–191. doi:10.1080/01441647.2016.1257660
- Pinto, D. G. L., Loureiro, C. F. G., e Sousa, F. F. L. de M. (2021) Socio-spatial inequalities in accessibility to jobs in Fortaleza under distinct metrics. *Transportes (Rio de Janeiro)*, 29(3), 16.



- Pinto, D. G. L., Loureiro, C. F. G., Sousa, F. F. L. de M., e Motte-Baumvol, B. (2022) Caracterização espacial da acessibilidade ao trabalho formal e informal da população de baixa renda em Fortaleza. *Transportes (Rio de Janeiro)*, 30(1). doi:10.14295/transportes.v30i1.2546
- Sharmeen, F., Arentze, T., e Timmermans, H. (2014) Dynamics of face-to-face social interaction frequency: Role of accessibility, urbanization, changes in geographical distance and path dependence. *Journal of Transport Geography*, 34, 211–220. doi:10.1016/j.jtrangeo.2013.12.011
- Singleton, R. A., e Straits, B. C. (1997) *Approaches to Social Research*. (3th ed). Oxford University Press, New York and Oxford.
- Slovic, A. D., Tomasiello, D. B., Giannotti, M., Andrade, M. de F., e Nardocci, A. C. (2019) The long road to achieving equity: Job accessibility restrictions and overlapping inequalities in the city of São Paulo. *Journal of Transport Geography*, 78, 181–193. doi:10.1016/j.jtrangeo.2019.06.003
- Soares, F. D. P., Loureiro, C. F. G., e Miller, E. J. (2018) Diagnosis: A problem-oriented approach to urban transportation planning. Apresentado em Transportation Research Board 97th Annual Meeting, Washington DC, United States.
- Sousa, F. F. L. de M. (2019) *Diagnóstico estratégico das desigualdades socioespaciais na acessibilidade ao trabalho em Fortaleza* (Tese). Universidade Federal do Ceará.
- Sousa, F. F. L. de M., Castro, I. R. de, e Loureiro, C. F. G. (2020a) Evolução comportamental nas decisões locais e de viagens em Fortaleza a partir da calibração de um modelo LUTI. *Anais do 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*.
- Sousa, F. F. L. de M., Garcia, C. S. H. F., e Loureiro, C. F. G. (2020b) Classificação do território como produto da avaliação estratégica da problemática das desigualdades socioespaciais na acessibilidade ao trabalho em Fortaleza. *Anais do 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*.
- Souza, M. L. (2003) *Mudar a Cidade – Uma Introdução Crítica ao Planejamento e à Gestão Urbanos*. Rio de Janeiro.
- Titheridge, H., Christie, N., Mackett, R., Hernández, D. O., e Ye, R. (2014) *Transport and Poverty: A review of the evidence*. University College London. Obtido de <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.1166.8645>
- van Wee, B., e Geurs, K. (2011) Discussing Equity and Social Exclusion in Accessibility Evaluations. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 11(4), 18.
- Willson, R. (2001) Assessing communicative rationality as a transportation planning paradigm. *Transportation*, 28, 1–31.