

RIDESOURCING E BICICLETA COMPARTILHADA: ANÁLISE ESPACIAL DO COMPORTAMENTO DA DEMANDA

Ronaldo Ribeiro de Melo
Douglas Lima Martins
Leonardo Herszon Meira
Maurício Oliveira de Andrade

Universidade Federal de Pernambuco

Daniela Lichtler Cassel

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

Os estudos sobre a mobilidade compartilhada vêm crescendo nos últimos anos. Entretanto, no Brasil estudos sobre o impacto das características urbanas nos serviços compartilhados ainda são incipientes. Entender como esses serviços se comportam no contexto brasileiro é importante para a adoção de políticas públicas adequadas. Este estudo ajuda a preencher essa lacuna, analisando os serviços de *ridesourcing* e bicicleta compartilhada, usando como área de estudo a cidade do Recife. Dois métodos de análise espacial foram utilizados: Análise de Cluster e Índice de Moran Bivariado. Os resultados obtidos indicam uma relação entre o comportamento da demanda desses serviços com as características demográficas, o uso do solo e a infraestrutura de transportes. Também foi possível perceber comportamentos específicos de bairros que destoam dos demais, contribuindo para a proposição de intervenções localizadas.

ABSTRACT

Studies on shared mobility have been growing in recent years. However, in Brazil, studies on the impact of urban characteristics on shared services have not yet been developed. Understanding how these services behave in the Brazilian context is important for the adoption of appropriate public policies. This study helps to fill this gap by analyzing the *ridesourcing* and bikesharing services, using as study area the city of Recife. Two methods were used: Cluster Analysis and Moran Bivariate Index. The results indicate a relationship of demand for services with the demographic, land use and transport infrastructure. It was also possible to perceive specific behaviors of neighborhoods that differ from the others, contributing to the proposition of localized interventions.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da mobilidade compartilhada nos últimos anos tem atraído uma série de discussões sobre seus impactos no âmbito da mobilidade urbana e do desenvolvimento sustentável. Os impactos desses novos serviços nas formas de deslocamento das grandes aglomerações urbanas ainda não são claros. Entre os diversos modos de transportes compartilhados, ganham destaque no Brasil, a bicicleta compartilhada, presente em 14 capitais do país, e o *ridesourcing*.

A bicicleta compartilhada permite pessoas alugarem bicicletas por determinado tempo em estações espalhadas por toda a cidade. Shaheen *et al.* (2015) definem bicicleta compartilhada como um sistema que permite que usuários acessem bicicletas públicas baseadas em uma rede de estações que estão tipicamente em áreas urbanas, em que um operador é responsável por administrar e manter o sistema. Já o serviço de *ridesourcing*, se caracteriza por plataformas que conectam passageiros a motoristas, com solicitação por *smartphone*, planejamento de viagem e pagamento integrado. Esse serviço tem se mostrado mais competitivo com outros modos de deslocamentos urbanos. Estudos nacionais e internacionais encontraram que o *ridesourcing* mais concorre que complementa os transportes públicos coletivos (Hall *et al.*, 2018; Pasqual *et al.*, 2019; Cassel *et al.*, 2018), contribuindo para a redução de demanda que o transporte público vem enfrentando. Além disso, tem-se buscado entender quais características que influenciam na adoção e frequência de uso do *ridesourcing* (Rayle *et al.*, 2016; Cassel *et al.*, 2018).

Porém, poucos estudos procuram identificar a relação entre as características do espaço urbano e a demanda de serviços da mobilidade compartilhada (Sabouri *et al.*, 2020). Se a integração entre a mobilidade e o espaço urbano é essencial para o planejamento dos transportes, entender como os transportes compartilhados se relacionam com o espaço é essencial para incluí-los de maneira adequada nas políticas de mobilidade urbana. Sendo assim, utilizando como área de estudo a cidade do Recife, o objetivo geral deste artigo é entender como a ocupação do espaço urbano se relaciona com a demanda por transportes compartilhados. Como objetivos específicos, busca-se explorar a variável de demanda desses transportes no espaço e relacioná-la com variáveis independentes relativas ao uso do solo, infraestrutura e acessibilidade, além de identificar e interpretar contextos locais que defiram da tendência média da cidade.

Este artigo está estruturado em 5 seções. Após a introdução, é apresentada a revisão de literatura discutindo a relação entre os serviços de mobilidade compartilhada abordados neste artigo e as características urbanas. A seção 3 aborda a metodologia utilizada no estudo, seguida pela seção 4 que apresenta os resultados obtidos. Por fim, a seção 5 tece as considerações finais.

2. MOBILIDADE COMPARTILHADA VERSUS CARACTERÍSTICAS URBANAS

Entender a relação das características urbanas no comportamento de viagens, além de contribuir para o aprimoramento de políticas públicas, também ajuda os planejadores de transportes a modelar a demanda de viagens (Yu e Peng, 2019). Ewing e Cervero (2010) demonstraram a capacidade das chamadas variáveis 5D (*density, diversity, design, distance to transit* e *destination accessibility*) em influenciar o nível de tráfego, caminhada, bicicleta e o uso do transporte público. Porém, a relação das características urbanas com o *ridesourcing* é uma área de pesquisa ainda incipiente, com estudos apenas em cidades americanas, europeias e chinesas.

Nos EUA, estudos indicam que a demanda por *ridesourcing* está positivamente relacionada com a densidade populacional, de empregos, com a diversidade do uso do solo e com a oferta do transporte coletivo (Sabouri *et al.*, 2020; Yu e Peng, 2019). Isso corrobora com o caráter ambíguo do serviço com relação a transporte coletivo. Viagens com origem ou destino em áreas bem servidas indicam que o serviço pode servir como primeira e última milha para o transporte público. Porém, se a origem e o destino forem bem servidos, é esperado um caráter de substituição. Alemi *et al.* (2018) encontraram que usuários com alta adoção de novas tecnologias ou que vivam em áreas onde vários serviços de mobilidade compartilhada estão disponíveis, tendem a adotá-los como um pacote. Isso pode implicar aumento da demanda por *ridesourcing* pela disponibilidade de serviços, como a bicicleta e o carro compartilhado.

Na China, Li *et al.* (2019) exploraram como a influência de características urbanas na demanda do serviço varia dependendo do dia e da hora. Encontraram que centros de recreação e entretenimento e distritos residenciais são os fatores mais influentes para demanda à noite. Na chamada hora do *rush*, o uso do solo misto tem um efeito positivo na demanda, o que vai de encontro a outros estudos em que essa variável contribui para a redução do uso do carro. Também encontraram que a densidade populacional, densidade viária, distância para o centro e algumas categorias de centralidades não têm impacto significativo na demanda.

Em relação à bicicleta compartilhada, locais com alta densidade populacional e de empregos, proximidade de estações de transporte público, ciclofaixas e pontos de interesse como restaurantes e lojas de varejo aumentam a demanda por bicicleta compartilhada (Buck; Buehler,

2012). Noland *et al.* (2016) encontraram que espaços destinados à recreação não estão associados com a demanda por bicicletas compartilhadas.

As maiores demandas por bicicleta compartilhada se encontram nos centros, que têm as maiores concentrações populacionais, e os diferentes tipos de uso do solo em volta da estação é associado a maior demanda (Zhang *et al.*, 2017). Lu *et al.* (2018) destacam que em áreas com alta densidade urbana, a bicicleta compartilhada pode competir com o transporte público, pois oferece viagens rápidas, mais baratas e com conexões diretas. Sendo assim, pode-se verificar que a bicicleta compartilhada se mostra eficiente nos centros urbanos, principalmente aqueles com uso misto do solo, devido às características de facilidade, transporte porta-porta e preço. Em comunidades residenciais, a bicicleta compartilhada pode promover melhor acesso ao uso dos transportes públicos complementando a viagem da última milha (Martin e Shaheen, 2014).

Apesar de alguns estudos relatados nesta seção indicarem certa tendência da relação de algumas características urbanas com a demanda por *ridesourcing* e bicicleta compartilhada, outros apresentam resultados divergentes. Essa constatação faz com que seja problemática a generalização dos resultados desses estudos para outros contextos. Reforçando a importância de estudos para entender essas relações no contexto nacional ou de uma cidade em particular. Além disso, pode-se justificar a utilização de outras variáveis não utilizadas nesses estudos, mas que possam se apresentar significativas para explicar a demanda pelos serviços no contexto brasileiro, como indicadores de acessibilidade a carros, a bicicleta e o *ridesourcing*, importantes parâmetros para perceber a quem serve esses serviços. Ademais, utilizou-se variáveis da infraestrutura de bicicleta compartilhada com a finalidade de verificar como essas demandas, *ridesourcing* e bicicleta compartilhada, interagem.

3. METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa está estruturada em duas etapas. No primeiro momento é realizada uma análise de *cluster*, agrupando os bairros da cidade do Recife de acordo com as demandas de transporte compartilhado. Além disso, relaciona-se a média das variáveis de uso do solo nesses *clusters* de forma a explorar algum padrão ou tendência geral entre as variáveis de espaço urbano e a demanda por transporte compartilhado. Em um segundo momento, aplica-se o Índice de Moran Bivariado e o mapa de dispersão de viagens no espaço, para verificar situações locais, que não seguem a tendência geral mostrada na análise de *cluster*.

3.1. Análise de Cluster

A técnica de análise de *cluster* tem o objetivo de dividir os dados em grupos, em que os dados de um *cluster* têm similaridade em relação aos seus valores e dissimilaridade em relação aos outros *clusters* (Vora e Oza, 2013). Esta metodologia foi escolhida com base no trabalho de Shokoohyar *et al.* (2020), por ser um método que divide o espaço urbano em áreas similares e permitem analisar as diferentes variáveis do espaço urbano em contextos de baixa ou alta demanda do transporte compartilhado em questão.

Para isso será utilizado o método *K-means* para a confecção dos *clusters* de demanda de transporte compartilhado. Esta metodologia é muito utilizada no meio acadêmico, devido à sua facilidade de utilização e eficiência para dados complexos (Chen e Ye, 2004). O algoritmo é utilizado para criar a separação dos dados em *k* conjuntos, em que *k* é pré-definido de acordo com a aplicação do problema. O objetivo da metodologia é minimizar a distância intra-cluster e maximizar a distância entre os *clusters*, em distância Euclidiana (Jain *et al.*, 1999).

Esta metodologia depende inicialmente do número de *clusters*, a ser definido pelo pesquisador e pela fixação dos centroides iniciais dos *clusters* nas regiões. O algoritmo funciona da seguinte maneira, primeiro estabelece-se o número de *clusters* pretendidos, depois se fixam os centroides provisórios dos *clusters*, e então se calculam as distâncias entre os centroides dos *clusters* e de cada objeto (centroide do dado). Dessa forma, cada objeto é atribuído ao *cluster* mais próximo. Atualizam-se em seguida as médias de todos os *clusters* e obtém-se um novo centroide. Repete-se o processo até que ocorra uma convergência, tal que, não ocorra mudança entre o procedimento n-1 e n. O cálculo da distância entre o centroide do cluster e o dado é assim calculado (Equação 1):

$$d(xi1 - mj1) = \sqrt{\sum_{j=1}^d (xi1 - mi1)^2} \quad (1)$$

Em que x corresponde ao dado; m corresponde ao centro do *cluster*; m_i é o número de dados na classe i; $d(x_i, m_j)$ é a distância entre o dado e o centroide do *cluster*. Para estimar m, calcula-se a média entre os dados em um *cluster*. Para mais informações sobre a metodologia recomenda-se o trabalho de Vora e Oza (2013).

3.2. Índice de Moran Bivariado

O Índice de Moran Bivariado verifica a correlação espacial entre uma variável de interesse e o valor de uma segunda variável nas regiões vizinhas à localização da variável de interesse. Trata-se de uma análise exploratória de dados espaciais que busca verificar correlações e relações espaciais entre a variável e seus vizinhos. Adicionada ao mapa de dispersão da segunda variável de interesse, pode proporcionar um diagnóstico local que indicam regiões específicas em que certa correlação pode ou não diferir do todo, ou onde elas ocorrem de maneira mais robusta. Buscar esses diagnósticos é importante para a análise espacial local e formulação de políticas públicas no espaço urbano. Os vizinhos são definidos conforme uma matriz de pesos escolhida, como busca-se um diagnóstico local serão considerados apenas os vizinhos de primeira ordem. Sendo assim, somente os bairros que dividem fronteira são incluídos no cálculo (Equação 2) de acordo com a matriz citada.

$$I = f(z1 * Wz2) \quad (2)$$

I é o Índice de Moran Bivariado Local, z_1 é a variável y na região 1, W é a matriz de ponderação espacial (vizinhança) e z_2 é a variável x nas outras regiões da área em estudos. Segundo Anselin (1995), esta estatística indica a associação linear entre o valor de uma variável y na localização i e o valor de uma variável x nas localizações vizinhas. Esse índice faz a decomposição local das correlações espaciais em quatro categorias:

- Alto-Alto: significa que a variável y é alta e a média da variável x dos vizinhos também;
- Alto-Baixo: variável y é alta e valor médio da variável x dos vizinhos é baixo;
- Baixo-Baixo: a variável y é baixa e a variável x nos vizinhos também é baixa; e
- Baixo-Alto: a variável y é baixa e a variável x dos vizinhos é alta.

Após a medida das correlações, mede-se a significância de cada I nos n locais. Após esta verificação é plotado o mapa de significância LISA, que localiza os resultados de acordo com o quadrante do gráfico de dispersão do I de Moran levando em consideração apenas as correlações localizadas significantes. Quando em certa localidade o I não é significativo, isso quer dizer que a região não se encontra em nenhum agrupamento das categorias listadas acima, pois o valor da variável não difere estatisticamente da média das regiões (Almeida, 2012).

Percebe-se que o Índice de Moran Local Bivariado tem o potencial de fornecer um diagnóstico local das correlações entre a variável dependente e as variáveis independentes de seus vizinhos no espaço. Neste trabalho, essa metodologia será utilizada em conjunto com o mapa de dispersão de demanda, em que se buscam regiões locais que diferem da tendência do modelo global.

3.3 Variáveis analisadas

Serão utilizadas as variáveis de densidade de demanda por *ridesourcing*, ou seja, a soma do número de viagens na origem com o número de viagens no destino dividido pela área, obtidos de acordo com a pesquisa origem-destino realizada pelo Instituto da Cidade Pelópidas Silveira (ICPS) em 2018 (ICPS, 2018). Já a demanda por bicicleta compartilhada, levou-se em consideração o número de viagens absoluto somando as origens e destinos no bairro. Isso se deu porque as estações têm pontos fixos, sendo assim a demanda não é distribuída no espaço. Os dados obtidos referem-se aos anos de 2016-2017 da Serttel, empresa operadora do sistema nesses anos.

As variáveis do espaço urbano foram selecionadas de acordo com os estudos revisados e com a possível relevância na demanda de transportes. Além das variáveis intuitivas de densidades, oferta de transporte público e renda, foram calculados alguns índices de acessibilidade. Primeiro, foi considerado o índice de entropia, utilizado nos estudos revisados, que caracteriza a diversidade do uso do solo proposto por Cervero e Kochelman (1997), de modo a tentar verificar qual a relação entre a demanda de transportes e o uso misto do solo:

$$I \text{ de entropia} = \frac{-\sum P_k \ln(P_k)}{\ln(K)} \quad (3)$$

Em que P_k é a porcentagem da área construída e k o número de categorias de uso do solo consideradas. Este índice varia entre 0 e 1, sendo 0, quando o uso do solo é uniforme e 1, quando o uso do solo está dividido igualmente entre todos os tipos considerados.

Segundo o índice de acessibilidade integrada proposto por Allien *et al.* (1993), que consiste em medir a acessibilidade de acordo com um fator de impedância. Utilizou-se como fator de impedância o tempo de carro e o preço de viagem por *ridesourcing*.

$$A_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad (4)$$

T_{ij} = Fator de impedância de acesso entre os locais i e j , N sendo o número de locais considerados.

Ademais verificou-se o tempo de acesso às centralidades principais, definidas no Plano Diretor do Recife como centros econômicos que influenciam toda a cidade, tanto por ônibus quanto por bicicleta. Esses dados foram levantados no IBGE (2010), nos dados abertos da Prefeitura do Recife (Recife, 2020), e do Googlemaps Api integrado ao Python.

4. RESULTADOS

Diversas variáveis foram analisadas tanto no método de análise de *clusters* quanto no método do Índice de Moran Bivariado. Porém, serão apresentadas apenas as que os autores encontraram alguma tendência ou consideraram mais relevantes para a comparação com outros estudos.

4.1. Ridesourcing

A partir dos dados de demanda do *ridesourcing* foram formados cinco *clusters* (Figura 1), de acordo com o método do cotovelo e verificados os valores médios das variáveis de

infraestrutura, uso do solo e acessibilidade nas respectivas regiões (Tabela 1). Em um primeiro momento percebem-se duas aglomerações claras de alta demanda, essas regiões se caracterizam por serem centros econômicos da cidade. Em contraposição, as periferias do Recife se caracterizam por regiões de baixa demanda.

Tabela 1: Comparativo das variáveis entre os clusters de demanda de *ridesourcing*.

| # | Dens. pop. | Dens. Emp. | Entrop. Ser./com | Dens. Ônibus | Dens. Parada | Dem. Bike | Acess. Carro | Tempo centro | Renda | Acess. preço | Dens. D. RS. |
|---|------------|------------|------------------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|---------|--------------|--------------|
| 1 | 45,35 | 1,92 | 0,54 | 3,69 | 0,095 | 1.533 | 1.576,1 | 2.441,8 | 1.820,7 | 20,57 | 7,1 |
| 2 | 122,43 | 2,77 | 0,33 | 8,01 | 0,191 | 1.024 | 1.306,9 | 2.224,7 | 1.512,9 | 18,08 | 38,0 |
| 3 | 135,86 | 6,93 | 0,36 | 11,66 | 0,234 | 2.069 | 1.173,4 | 2.141,9 | 2.401,2 | 15,43 | 85,6 |
| 4 | 117,03 | 13,70 | 0,66 | 25,88 | 0,193 | 11.055 | 1.133,8 | 1.343,8 | 5.374,6 | 14,45 | 307,0 |
| 5 | 77,43 | 28,04 | 0,86 | 48,55 | 0,271 | 11.132 | 1.078,2 | 942,25 | 5.431,8 | 13,63 | 1030,8 |

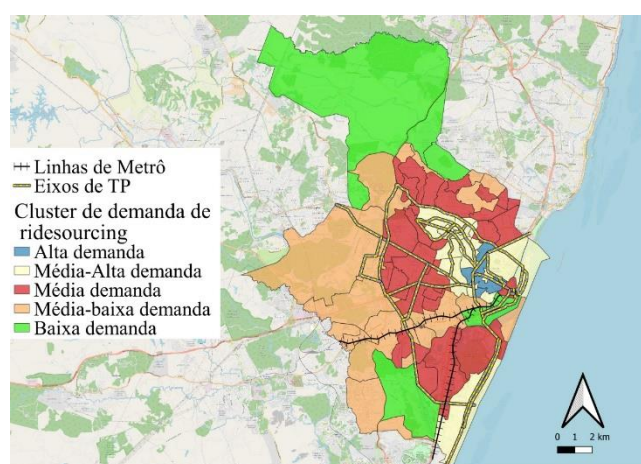


Figura 1: Clusters de demanda por *ridesourcing* e linhas de metrô na cidade do Recife

A partir da análise de variáveis de uso do solo percebe-se que a densidade de empregos e o nível de uso misto do solo apresentam relação positiva com a demanda por *ridesourcing*, ou seja, à medida que elas crescem a densidade de demanda também cresce, com exceção do *cluster* de baixa demanda que tem média de uso misto alta principalmente devido ao bairro localizado no centro e na zona sul, porém são zonas caracterizadas pela baixa renda e degradação urbana, podendo ser este o motivo da baixa demanda. No entanto, a densidade populacional não apresenta tendência clara. Este resultado pode indicar que centros econômicos com alto nível de empregos e uso misto são benéficos à demanda, enquanto regiões predominantemente residenciais não têm importância significativa. Nessa perspectiva isso é particularmente interessante, pois nesses centros econômicos há grande demanda por estacionamentos e o *ridesourcing* pode, possivelmente, substituir viagens por carro particular. Por outro lado, esses centros estão submetidos a altos índices de congestionamentos e o *ridesourcing* pode estar substituindo transportes ativos, característicos em solos de uso misto e consequentemente contribuindo para essa situação.

Ao analisar as variáveis de infraestrutura, percebe-se uma tendência positiva entre a variável de densidade de oferta de ônibus com a demanda por *ridesourcing*. No entanto, a densidade de paradas não apresenta tendência clara, porém deve-se destacar que o *cluster* de maior demanda por *ridesourcing* também é o que tem maior densidade de paradas. Esse resultado mostra que pode estar havendo uma competição entre o sistema de ônibus da cidade e o *ridesourcing*,

corroborando os resultados de Cassel *et al.* (2018), uma vez que a correlação positiva indica alta demanda de ambos no mesmo espaço, não sendo possível serem complementares, pois estes atendem à mesma escala de deslocamento, macro e meso, ou seja escala de viagens de alta a média distância, entre os bairros. Porém, ao se aplicando o Índice de Moran Bivariado (IMB) entre a demanda por *ridesourcing* e a densidade de oferta de ônibus (Figura 3a) e analisando o mapa de dispersão (Figura 2a), percebe-se que a região em rosa claro apresenta relação alto-baixo e verificando o mapa de dispersão, percebe-se que esses bairros também tem baixa densidade de ônibus. Logo, exclusivamente nesses bairros, o *ridesourcing* pode estar suprindo uma deficiência do sistema de ônibus. Além disso, ao analisar a Figura 1 percebe-se uma baixa demanda por *ridesourcing* na área atendida pela linha norte do metrô, podendo-se sugerir que essa alternativa não tem funcionado como alimentador desse sistema.

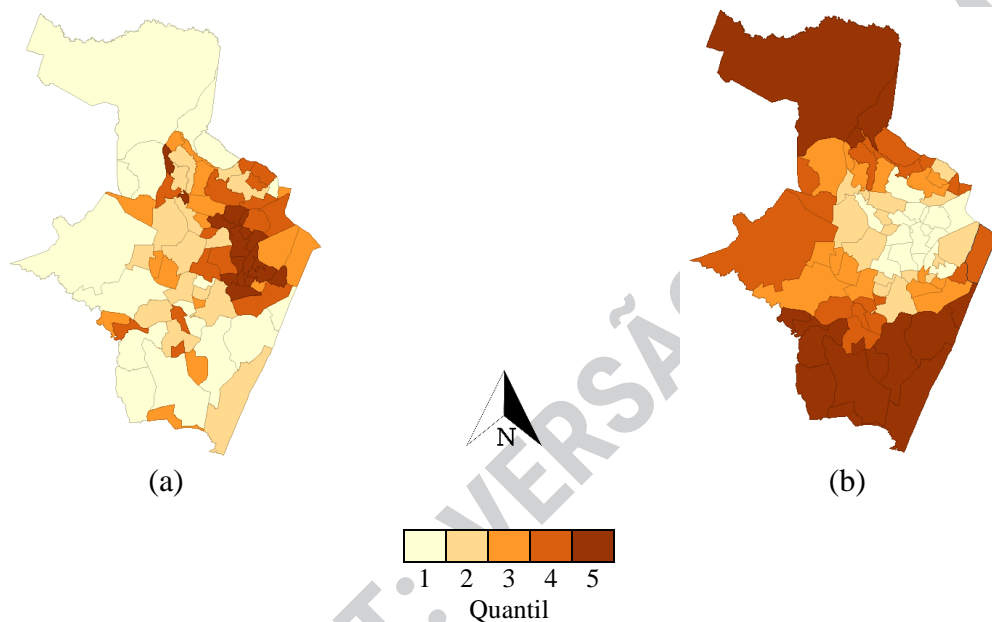


Figura 2: Mapa de distribuição para (a) a demanda de *ridesourcing* e a densidade de oferta de ônibus; e (b) renda média e preço médio do *ridesourcing*.

Ainda sobre as infraestruturas, é interessante salientar que a associação positiva da demanda por bicicleta compartilhada com a demanda por *ridesourcing* pode sugerir complementariedade entre ambos os sistemas. Nesse contexto, é possível que um usuário possa acessar atividades em regiões de alto uso misto por *ridesourcing*, com a finalidade realizar duas ou mais atividades e o deslocamento entre essas atividades pode ser realizado por bicicleta compartilhada. Destaca-se que, estudos mais aprofundados são necessários para validar essa hipótese.

Já em relação à acessibilidade, percebe-se que quanto mais acessível for a zona ao carro, menor índice, logo menor impedância, maior a demanda por *ridesourcing*. As zonas mais acessíveis são zonas muito congestionadas, com elevada diversidade de uso do solo, alta densidade de oferta de transporte público e alta densidade de empregos. Dessa forma, evidencia-se que expressivo contingente de pessoas ainda parte da lógica de priorização do transporte individual em zonas de maior interesse. Sendo assim, percebe-se que por este prisma, o *ridesourcing* contribui para os congestionamentos. Além disso, verifica-se uma correlação negativa entre o tempo despendido em ônibus para acessar uma centralidade principal e a demanda por *ridesourcing*, indicando que em locais que o ônibus não é eficiente para dar acesso a

oportunidades, o *ridesourcing* também não tem revelado alta demanda.

Com relação à renda, percebe-se uma relação positiva, evidenciando que bairros com maior renda tendem a gerar mais demanda por *ridesourcing*. Ainda nesse sentido, esses bairros são os que menos pagam para ter acesso aos outros bairros da cidade, comparando com a variável de acessibilidade por preço de *ridesourcing*. Sendo assim, percebe-se que os mais ricos pagam menos para acessar oportunidades por essa alternativa de transporte, o que pode agravar a desigualdade de acesso e consequentemente a desigualdade social. Aplicando o IMB entre a renda média dos bairros e acessibilidade em relação a preço (Figura 3b) e conjunto do o mapa de dispersão de acessibilidade de preços (Figura 3b), percebe-se que o bairro em vermelho, e os bairros em azul escuro, diferem da relação encontrada, sendo o vermelho a relação alta-alta, ou seja quem tem maior renda tem menor acessibilidade em relação a preços, e a azul escura, baixa-baixa, ou seja, são regiões de baixa renda com alta acessibilidade de preços. Ao verificar os *clusters* demanda por *ridesourcing*, percebe-se que essas regiões, em azul escuro, apesar de terem baixa renda apresentam alta demanda por *ridesourcing*. Evidencia-se assim que os preços são fatores determinante para o uso e que, normalmente, regiões de maior renda são mais bem localizadas na cidade e consequentemente pagam menos pelas viagens. No entanto, bairros com população de menor renda podem utilizar esses serviços de maneira mais frequente se bem localizados no espaço urbano, contrariando a correlação entre uso e renda.

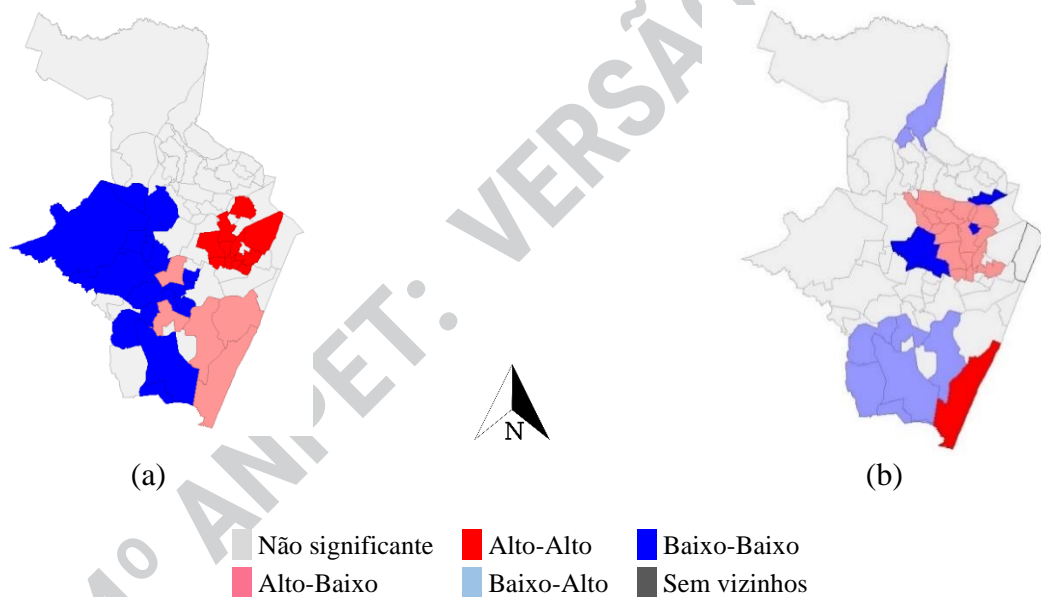


Figura 3: Índice de Moran Bivariado para (a) a demanda de *ridesourcing* e a densidade de oferta de ônibus; e (b) renda média e preço médio do *ridesourcing*.

4.2. Bicicleta Compartilhada

Os *clusters* formados pela demanda por bicicleta compartilhada e a tabela comparativa das médias das variáveis de características urbanas para cada um deles estão apresentados na Figura 4 e na Tabela 2, respectivamente. Percebe-se que a região leste da cidade é uma zona de grande demanda por bicicleta compartilhada, por representar a maior centralidade da cidade com uma grande concentração de comércio e serviços.

Observando os dados da Tabela 2, infere-se que a densidade populacional tem uma relação inversa com a demanda do serviço. O que pode ser considerado contraintuitivo, já que se espera

que regiões com mais pessoas necessitem de mais transporte, porém isso indica que a variável não é um fator determinante no uso desse serviço no Recife. Pode-se concluir o mesmo para a densidade de empresas. Isso pode ser explicado devido ao dado levantado refletir apenas os empregos formais. A entropia de serviços e comércio parece ser mais determinante no uso do serviço, com bairros de mais uso misto apresentando maiores demandas. Pode-se concluir então que a disponibilidade de oportunidades formais não é suficiente para atrair viagens do serviço, mas um maior equilíbrio do uso do solo sim. Isso também indica que essa alternativa não é normalmente utilizada para longos deslocamentos, entre bairros residenciais e comerciais, mas majoritariamente para pequenas distâncias dentro de zonas mistas.

Tabela 2: Comparativo das variáveis entre os clusters de bicicleta compartilhada.

| # | Densidade pop. | Densidade empresas | Entropia serv./com. | Nº de linhas de ônibus | Renda média | Estações | Tempo ao centro por bicicleta | Demanda |
|---|----------------|--------------------|---------------------|------------------------|-------------|----------|-------------------------------|-----------|
| 1 | 125,12 | 10,56 | 0,65 | 30,17 | 6.223,67 | 1,17 | 14,52 | 1.882,50 |
| 2 | 106,80 | 18,73 | 0,65 | 34,83 | 7.152,08 | 1,50 | 14,95 | 4.507,17 |
| 3 | 94,27 | 10,93 | 0,69 | 45,00 | 4.897,05 | 2,57 | 13,50 | 8.524,29 |
| 4 | 58,50 | 22,61 | 0,68 | 71,86 | 2.922,13 | 4,86 | 12,75 | 30.729,43 |

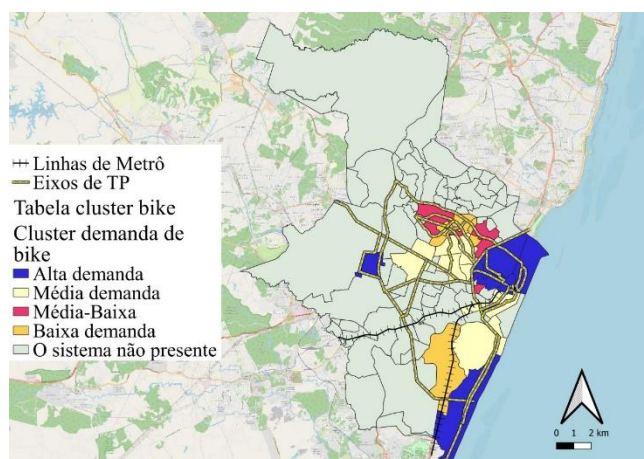


Figura 4: Clusters da bicicleta compartilhada.

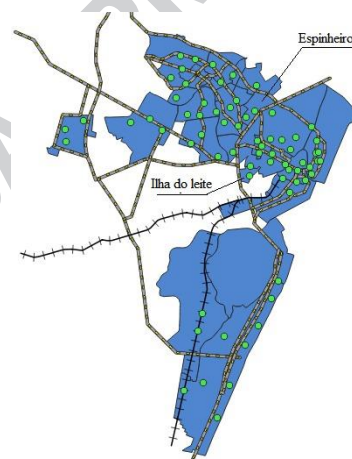


Figura 5: Localização das estações de bicicleta compartilhada.

A oferta de linhas de ônibus indica uma relação positiva entre a acessibilidade do bairro com a demanda por bicicleta compartilhada. Observando a Figura 5, percebe-se que diversas estações do serviço estão localizadas no entorno dos principais corredores de transporte da cidade. Demonstrando o provável caráter complementar do serviço compartilhado, que pode servir como primeira e última milha para o transporte coletivo. A renda média mostra uma maior demanda do serviço em bairros mais pobres, apesar disso poder não implicar necessariamente na renda dos usuários, visto que não há esses dados. O número de estações mostra como a conectividade aumenta o uso do serviço, já que bairros com mais opções de conexão têm maior demanda. O tempo de viagem ao centro mostra que quanto menor a distância a uma centralidade, maior a demanda do serviço, apesar de também poder estar relacionado com a maior quantidade de estações nas principais centralidades.

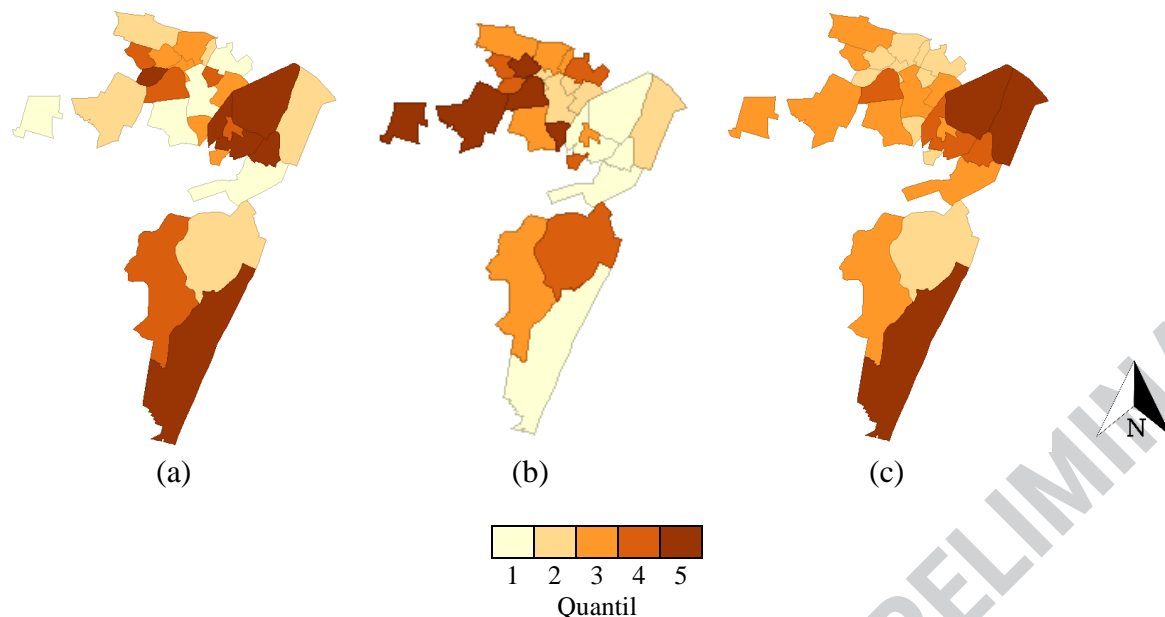


Figura 6: Mapa de distribuição para (a) Densidade de linhas de ônibus, (b) Tempo ao centro, e (c) Densidade de estações.

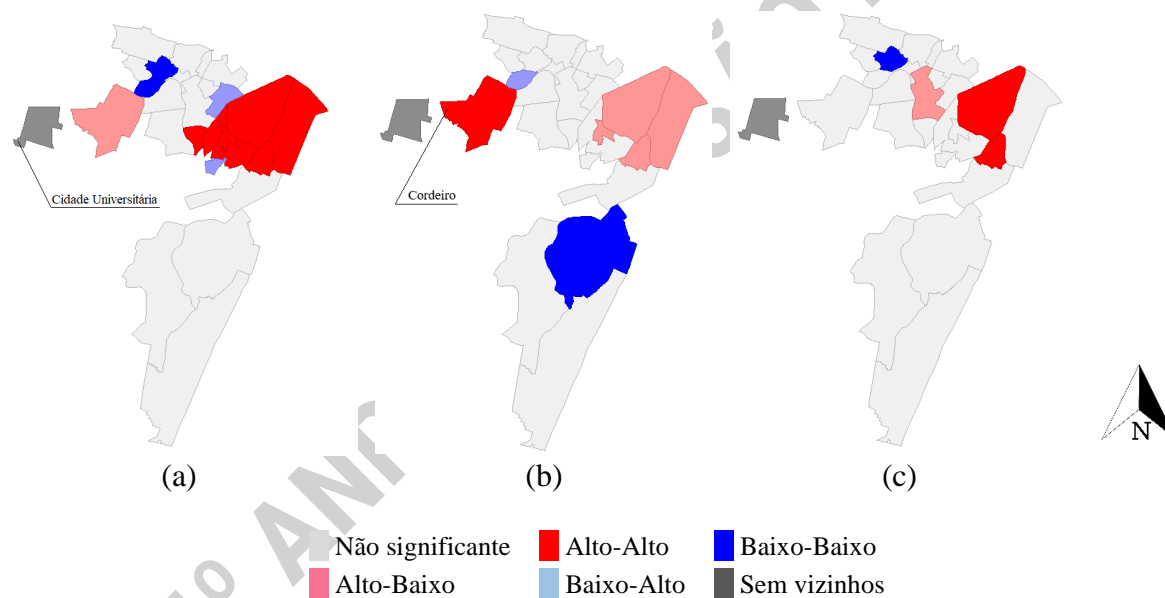


Figura 7: Índice de Moran Bivariado para a atratividade de bicicleta compartilhada e (a) Densidade de linhas de ônibus; (b) Tempo ao centro; e (c) Densidade de estações.

As Figuras Figura 6 e Figura 7 apresentam os mapas de distribuição e o Índice de Moran Bivariado. Para analisar esses resultados é preciso destacar primeiro o bairro da Cidade Universitária, que não tem nenhum bairro vizinho com disponibilidade do serviço, logo não é possível calcular seu índice. Porém, ele exerce uma influência no bairro mais próximo, o Cordeiro. Na Figura 7a e b, percebe-se que o comportamento do Cordeiro se diferencia dos demais. Ele tem uma alta atratividade de bicicleta compartilhada apesar de uma baixa densidade de linhas de ônibus nos bairros vizinhos e um grande tempo para as centralidades. Quando se analisa a origem e destino das viagens das estações desse bairro, percebe-se que o bairro com maior atratividade, depois dele próprio, é a Cidade Universitária, onde está localizada a UFPE.

Isso pode ser responsável pelo comportamento destoante do bairro, devido a muitos estudantes utilizarem o serviço a partir deste bairro para acessar a universidade. Demonstra-se assim, que a ampliação do serviço para bairros próximos ao campus pode aumentar a demanda pelo serviço.

Os bairros em lilás na Figura 7a, também apresentam um comportamento destoante. Apesar de disporem de uma alta densidade de linhas de ônibus nos bairros vizinhos apresentam baixa demanda pelo serviço. Isso pode ser explicado observando a Figura 5 (Espinheiro e Ilha do Leite), pois os bairros têm apenas duas e uma estações, indicando que apesar de estarem bem servidos de linhas de ônibus, a baixa quantidade de estações não permite a utilização do serviço para a primeira e última milha. Outro aspecto importante a se destacar é o bairro que aparece em rosa na Figura 7c. Apesar da disponibilidade de uma baixa quantidade de estações nos bairros vizinhos e no próprio bairro, apresentam alta demanda pelo serviço. Isso se deve, provavelmente ao fato de o bairro apresentar a maior conectividade da região estudada, sendo interligado por 10 bairros vizinhos. Ou seja, apesar da baixa disponibilidade de estações nesses bairros, eles em conjunto apresentam uma grande possibilidade de conexões.

No mais, os bairros em azul e vermelho na Figura 7a e c, e os bairros em rosa e lilás na Figura 7b, corroboram com que foi observado na análise de *cluster*: a demanda pelo serviço de bicicleta compartilhada é maior quanto maior for a densidade de linhas de ônibus, e de estações do serviço, e quanto menor for o tempo de viagem ao centro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise de *cluster* foi possível criar um entendimento de como a ocupação do solo da cidade do Recife influencia na demanda dos serviços compartilhados. Como esperado, as variáveis 5D de Ewing e Cervero (2010) se mostraram relevantes para explicar suas demandas. A demanda é positivamente relacionada com o uso misto do solo, a densidade de oferta de ônibus e a acessibilidade para as centralidades. Porém, foi encontrado um comportamento inverso da densidade populacional e de empregos com a demanda de bicicleta compartilhada, divergindo do observado por Buck e Buehler (2012). Além disso, se observou uma relação positiva da demanda de *ridesourcing* com o número de estações de bicicleta compartilhada, corroborando com o observado por Alemi *et al.* (2018).

Também foram observados comportamentos específicos de alguns bairros a partir da análise do índice de Moran Bivariado. Foi possível observar: 1- bairros onde o *ridesourcing* parece suprir uma deficiência do transporte coletivo; 2- o *ridesourcing* é mais barato nos bairros mais ricos, 3- o campus universitário é um grande atrativo de viagens de bicicleta, mesmo sem estações nos bairros vizinhos; e 4- uma baixa densidade de estações de bicicleta podem impedir o uso do serviço como primeira/última milha. É importante ressaltar que os resultados obtidos devem ser extrapolados para as demais cidades brasileiras com cautela. Apesar de uma maior proximidade que os estudos internacionais, a cidade do Recife possui características próprias que podem ou não se repetirem nas demais cidades. É recomendado para futuros trabalhos estudar a relação desses e outros serviços da mobilidade compartilhada com a forma de ocupação urbana de outras cidades brasileiras.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a UFPE, à CAPES e ao CNPq pelo auxílio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS

- ALEMI, F., CIRCELLA, G., HANDY, S. e MOKHTARIAN, P. (2018) What influences travelers to use Uber? Exploring the factors affecting the adoption of on-demand ride services in California. *Travel Behaviour and Society*, v. 13, p. 88-104.
- ALLEN, W.B.; LIU, D.; SINGER, S. Accessibility measures of U.S. metropolitan areas, *Transportation Research Part B: Methodological*, Volume 27, Issue 6, 1993, Pages 439-449, ISSN 0191-2615.
- BUCK, D. e BUEHLER, R. (2012) *Bike Lanes and Other Determinants of Capital Bikeshare Trips*. Disponível em: < <https://bikepedantic.files.wordpress.com/2012/08/cabi-trb-paper-revision-final.pdf>>
- CASSEL, D. L., LADEIRA, M. C. M. e CYBIS, H. B. B. (2018) Caracterização dos serviços de ridesourcing e sua relação com o transporte coletivo: Estudo de caso em Porto Alegre. Anais do XXXIIº Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Gramado.
- CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 2, Issue 3, 1997, Pages 199-219, ISSN 1361-9209.
- CHEN CY, YE F. Particle swarm optimization algorithm and its application to clustering analysis. In: Proceedings of the 2004 IEEE international conference on networking, sensing and control. 2004. Taipei, Taiwan, pag 789-794
- EWING, R. e CERVERO, R. (2010) Travel and the Built Environment. *Journal of the American Planning Association*, v. 76, p. 265-294.
- HALL, J. D., PALSSON, C. e PRICE, J. (2018) Is Uber a substitute or complement for public transit? *Journal of Urban Economics*, v. 108, p. 36-50.
- HU, S. R. e LIU, C. T. (2014). An optimal location model for the bicycle sharing system: A case study of the KaoSiung City-bike system. *Transportation Planning Journal*, 43, 367-392.
- IBGE. Censo demográfico de 2010. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12/06/2020.
- JAIN, M.; MURTY, P. FLYNN, "Data Clustering: A Review", *ACM Computing Surveys*. V. 31. No. 3, Sep 1999, pag 264-323
- LI, T., JING, P., LI, L., SUN, D. e YAN, W. (2019) Revealing the Varying Impact of Urban Built Environment on Online Car-Hailing Travel in Spatio-Temporal Dimension: An Exploratory Analysis in Chengdu, China. *Sustainability*, v. 11, 1336.
- LU, M., HSU, S., CHEN, P. e LEE, W. (2018) Improving the sustainability of integrated transportation system with bike-sharing: A spatial agent-based approach. *Sustainable Cities and Society*, v. 41, p. 44-51.
- MARTIN, E. W.; SHAHEEN, S. A. (2014). Evaluating public transit modal shift dynamics in response to bikesharing: A tale of two U.S. Cities. *Journal of Transport Geography*, v. 41, p. 315-324.
- NOLAND, R. B., SMART, M. J. e GUO, Z. (2016) Bikeshare trip generation in New York City. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 94, p. 164-181.
- PASQUAL, F. M., LARRAÑAGA, A. M. e PETZHOLD, G. S. (2019) Análise do Perfil de Uso de Transporte sob Demanda por Aplicativo (Ride-Sourcing) na Cidade de São Paulo. Anais do XXXIIIº Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Balneário Camburiu.
- RAYLE, L., DAI, D., CHAN, N., CERVERO, R., e SHAHEEN, S. (2016) Just a better taxi? A survey-based comparison of taxis, transit, and ridesourcing services in San Francisco. *Transport Policy*, v. 45, p. 168-178.
- RECIFE Portal de Dados Abertos da Prefeitura de Recife. 2020 Disponível em: < <http://dados.recife.pe.gov.br/>>. Acesso em: 12/06/2020
- SABOURI, S., PARK, K., SMITH, A., TIAN, G. e EWING, R. (2020) Exploring the influence of built environment on Uber demand. *Transportation Research Part D*, v. 81, 102296.
- SHAHEEN, S., CHAN, N., BANSAL, A. e COHEN, A. (2015), *Shared Mobility: Definitions, Industry Developments, and Early Understanding: Bikesharing, Carsharing, On-Demand Ride Services, Ridesharing*. UC Berkeley, Transportation Sustainability Research Center.
- VORA, P.; OZA, B. A survey on k-mean clustering and particle swarm optimization. *International Journal of Science and Modern Engineering (IJISME)* ISSN: 2319-6386, V. 1, Issue-3. 2013.
- YU, H. e PENG, Z. (2019) Exploring the spatial variation of ridesourcing demand and its relationship to built environment and socioeconomic factors with the geographically weighted Poisson regression. *Journal of Transport Geography*, v. 75, p. 147-163.
- ZHANG, Y., THOMAS, T., BRUSSEL, M. e VAN MAARSEVEEN, M. (2017) Exploring the impact of built environment factors on the use of public bikes at bike stations: Case study in Zhongshan, China. *Journal of Transport Geography*, v. 58, p. 59-70.

Ronaldo Ribeiro de Melo - ronaldoribeiro4@hotmail.com

Douglas Lima Martins – douglimal1@gmail.com