

ACESSIBILIDADE PELO MODO A PÉ: IMPACTOS DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E DEMOGRÁFICAS NO ACESSO A ESTABELECIMENTOS

André Borgato Morelli

André Luiz Cunha

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

A qualidade de um sistema de transporte é determinada, em grande parte, pelo quanto ele facilita o acesso de pessoas a seus destinos. Nesse contexto, acessibilidade tem sido uma métrica muito utilizada para caracterizar qualidade em detrimento de métricas tradicionais de mobilidade. Contudo, garantir acessibilidade é uma tarefa complexa, que requer não apenas atenção para a rede de transportes, mas também para a distribuição de pessoas e oportunidades na malha municipal. O modo a pé é um dos exemplos mais emblemáticos de como a proximidade entre usuário e serviço é crucial para garantir bom funcionamento do sistema, mas existe notável ausência de estudos acerca da influência de fatores geométricos ou espaciais de uma formação urbana na acessibilidade por pedestres. Por conta disso, este trabalho propõe uma análise da acessibilidade por pedestres a estabelecimentos nas 609 maiores cidades brasileiras a fim de determinar os fatores que mais influenciam na acessibilidade por caminhada. Os resultados mostram que a densidade urbana é o fator de maior impacto positivo na acessibilidade, contudo também foram observadas correlações negativas entre acessibilidade e fatores que aumentam distâncias em rede como o indicador orgânico e a sinuosidade de rede, enquanto fatores que diminuem distâncias, como densidade de vias, tendem a aumentar a acessibilidade. Também foi verificada uma significativa desigualdade de acesso, com pessoas de baixa renda ou escolaridade tendo acessibilidade inferior à de pessoas menos vulneráveis. Por fim, as ferramentas computacionais desenvolvidas para esta pesquisa foram disponibilizadas sob código aberto para auxiliar cientistas e planejadores a endereçar esses problemas.

ABSTRACT

The quality of a transportation system is largely determined by how its ability to facilitate people's access to their destinations. In this context, accessibility has been a widely used metric to characterize quality instead of traditional mobility metrics. However, ensuring accessibility is a complex task, which requires not only attention to the transport network, but also to the distribution of users and opportunities in the municipal network. The walking mode is one of the most emblematic examples of how the proximity between user and service is crucial to guarantee the proper functioning of the system, but there is a remarkable lack of studies on the influence of geometric or spatial factors of an urban formation on pedestrian accessibility. Because of this, this work proposes an analysis of accessibility by pedestrians to points of interest in the 609 largest Brazilian cities to determine the factors that most influence accessibility by walking. The results show that urban density is the factor with the greatest positive impact on accessibility, however, negative correlations were also observed between accessibility and factors that increase network distances, such as the organic indicator and circuitry, while factors that decrease distances, such as road density, tend to increase accessibility. We also observed significant inequality of access, with people with low income or education having lower accessibility than less vulnerable people. Finally, the computational tools developed for this research were made available under open source to help scientists and planners to address these problems.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o problema do transporte urbano tem sido endereçado pelo lado da oferta, com a maioria dos modelos de análise tendendo a quantificar um Nível de Serviço que depende majoritariamente das condições de tráfego e atrasos em vias e interseções (HCM, 2010). Esse foco na mobilidade, ou a capacidade de um usuário em se mover confortavelmente pela malha urbana, ignora a natureza derivada da demanda por transportes ao não considerar os tamanhos ou tempos totais de deslocamento desde que todo o trajeto seja executado em um Nível de Serviço aceitável (Levine *et al.*, 2019). Por conta dessa fraqueza no sistema de avaliação, a análise de qualidade nos transportes tem mudado seu foco da mobilidade para a acessibilidade, ou a facilidade em se chegar a destinos desejados. Essa mudança de paradigma não implica um abandono completo das análises de mobilidade, já que a velocidade média e conforto dos

veículos e usuários são parâmetros importantes para determinar a acessibilidade de uma população, mas a proximidade dos usuários aos seus destinos pode ser mais determinante que sua velocidade média para esse fim (Levine *et al.*, 2012). Nesse aspecto, o modo a pé é um exemplo em que a proximidade do usuário a seus destinos tem um impacto significativamente maior que em outros modos, em parte por seu baixo alcance mas também porque o volume de tráfego ou fatores ambientais e topográficos tendem a possuir impactos menores na velocidade desse modo de forma que é usual serem utilizadas distâncias máximas de caminhada em avaliações pertinentes a pedestres em vez de tempos máximos (Higgs *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2019; Vale *et al.*, 2016; Vale e Pereira, 2017; WHO, 2016). O baixo alcance desse modo, também induz grande parte da pesquisa em acessibilidade de pedestres a se focar em acessibilidade por pedestres a meios com alcance maior, como o transporte público (García-Palomares *et al.*, 2013; Munoz-Raskin, 2010), contudo o uso misto do solo e densidades relativamente altas podem garantir acessibilidades altas o suficiente para incentivar o uso desse modo em detrimento de outros (Vale *et al.*, 2016).

Além disso, diversos estudos têm encontrado profundas desigualdades em acessibilidade em diversos modos de transporte causadas por falhas em conectividade (Chang *et al.*, 2019), diferenças em localidade (Chen *et al.*, 2020; Xiao *et al.*, 2021) ou status socioeconômico (Akhavan *et al.*, 2018). No caso de acessibilidade por pedestres, grande parte dos trabalhos são focados na acessibilidade de grupos vulneráveis como crianças (Reyes *et al.*, 2014) e idosos (Cheng *et al.*, 2019; Papa *et al.*, 2018), contudo acessibilidade pelo modo a pé pode melhorar as condições de vida em centros urbanos para todas as pessoas ao conectar pessoas a seus destinos de maneira facilitada, reduzir o tráfego de veículos motorizados, reduzir o espaço urbano ocupado por infraestrutura dedicada a veículos, como vagas de estacionamento e melhorar a saúde de um cidadão médio (Wong *et al.*, 2003)

No Brasil, as barreiras à mobilidade de pedestres têm sido recentemente exploradas (Lara e da Silva, 2018; Silva Júnior e Ferreira, 2008; Sousa *et al.*, 2009) contudo não existem estudos suficientemente abrangentes sobre as barreiras à acessibilidade de pedestres a pontos de interesse e os fatores mais impactantes em quanto um pedestre tem capacidade de acessar serviços próximos. Dado esse contexto, O objetivo deste trabalho é analisar os impactos de características da rede de transporte e da ocupação do solo urbano na acessibilidade por pedestres a instalações de saúde, educação e outros empreendimentos para as 609 maiores cidades brasileiras de forma a determinar fatores críticos para a acessibilidade e possivelmente orientar decisões acerca de políticas públicas. Além disso, também conduzimos uma análise sobre a desigualdade de acesso e como ela está atrelada a classes vulneráveis de residentes, como pessoas de baixa renda ou não alfabetizadas.

2. MÉTODO PROPOSTO

2.1. Bancos de dados

Para a análise proposta, foram necessários três bancos de dados: (1) Dados demográficos agregados por setores censitários, obtidos a partir do censo brasileiro de 2010 (IBGE, 2010); (2) dados de localização de pontos de interesse, obtidos a partir do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE); e (3) dados geométricos e topológicos de redes de transporte terrestre urbano, obtidos a partir da plataforma *OpenStreetMap*. Esses dados foram obtidos para todas as cidades com mais de 50 mil habitantes – da classe “cidade média” ou maior, como definido pelo IBGE – resultando em 609 cidades compreendendo todos os estados da União. As posições das cidades consideradas podem ser visualizadas na Figura 1.



Figura 1: Localização dos municípios considerados. A rede de Campo Grande-MS é mostrada como exemplo do tipo de rede extraída da plataforma OpenStreetMap.

O CNEFE contém dados associados ao banco de faces de logradouro do IBGE, de forma que a fusão entre os dados estatísticos e geospaciais é de simples execução. Entre as informações contidas no cadastro está a natureza do empreendimento, dividida em sete categorias: domicílio particular, domicílio coletivo, estabelecimento agropecuário, estabelecimento de ensino, estabelecimento de saúde, estabelecimento com outras finalidades e edificação em construção. Para os fins desse trabalho, foram utilizados apenas estabelecimentos educacionais, de saúde e com outras finalidades. Além disso, todos os estabelecimentos contidos em uma face de logradouro foram agregados no ponto médio da face, o que não prejudica o detalhamento da análise já que as faces de logradouro possuem comprimento médio reduzido (tamanho do lado de um quarteirão). Para fins ilustrativos, na Figura 2 são mostrados os pontos de interesse em uma região da cidade de São Paulo-SP.



Figura 2: Seção da cidade de São Paulo-SP com pontos de interesse divididos em três categorias: educação, saúde e outros.

As redes de transporte foram obtidas a partir da plataforma *OpenStreetMap* utilizando-se a

biblioteca OSMnx (Boeing, 2017) para a linguagem *Python* de programação, que auxilia na extração e correção topológica da rede possibilitando a construção de grafos. Essas redes referem-se à camada “walk” da plataforma *OpenStreetMap* que possui as vias onde é possível caminhar, incluindo vias comuns e vias exclusivas de pedestres como caminhos em parques. Já a área de aquisição dos dados compreende tanto setores urbanos quanto rurais, de forma que todo o segmento de via que estiver contido nos limites municipais é considerado. Um exemplo de rede extraída pode ser obtido na Figura 1 que traz a ampliação da região urbana da rede de Campo Grande-MS.

2.2. Cálculo de métricas de acessibilidade

Modelos para o cálculo de acessibilidade levam em consideração uma função custo, dependente da impedância ao deslocamento pelo usuário. É comum que nos modelos a impedância seja computada como um custo ao deslocamento dependendo, em geral, do tempo de viagem somado a outros custos em potencial através de fatores de equivalência (Geurs e van Wee, 2004). Contudo, quando se trata de modos ativos, existe uma tendência de serem utilizadas funções de cuja impedância depende diretamente da distância percorrida pelo usuário até uma oportunidade (d_{ij}) já que há o entendimento de que esses modos, principalmente o a pé, têm velocidades relativamente constantes independente das condições de tráfego (Vale *et al.*, 2016; Vale e Pereira, 2017). Dentre os modelos baseados em distância, existem diversas expressões possíveis para a ponderação de oportunidades, como pode ser verificado na Tabela 1 e na Figura 3. Dessas, a mais simples é a função acumulativa, que dá peso unitário para todas as oportunidades a uma distância menor ou igual a um limiar e zero para todas fora desse limiar, acumulando todas as oportunidades em uma distância caminhável (t). Por outro lado, existem modelos gravitacionais, cujo fator de ponderação decai exponencialmente com o custo da viagem, como no caso do limiar suavizado proposto por Higgs *et al.* (2019) que possui a vantagem de considerar localidades fora do raio caminhável, mas a desvantagem de tratar com pesos consideravelmente diferentes localidades no interior da zona interna ao raio caminhável. Esses fatos, argumentam Vale e Pereira (2017), causam sensibilidade excessiva dos modelos ao parâmetro escolhido para a distância caminhável, de forma que os autores propõem um modelo que une os modelos acumulativos e gravitacionais com uma curva gaussiana achatada no topo, de forma que o modelo se comporta como um modelo acumulativo no interior do raio caminhável e como um modelo gravitacional no exterior, gerando maior estabilidade para o modelo.

Tabela 1: Funções de peso de acessibilidade por distância. w_{ij} é o fator de ponderação para a acessibilidade de um ponto i a um local j calculado a partir da impedância entre os pontos, d_{ij} , e de fatores de calibração dos modelos t , k e v , a depender do modelo.

Tipo de peso	Função	Fonte
Acumulativa	$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ij} \leq t \\ 0 & \text{se } d_{ij} > t \end{cases}$ (1)	Vale e Pereira (2017)
Limiar suavizado	$w_{ij} = \frac{1}{1 + e^{\frac{k(d_{ij}-t)}{t}}}$ (2)	Higgs <i>et al.</i> (2019)
Gaussiana acumulativa	$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ij} \leq t \\ e^{-\frac{d_{ij}-t}{v}} & \text{se } d_{ij} > t \end{cases}$ (3)	Vale e Pereira (2017)

Fonte: adaptado de (Liu *et al.*, 2021)

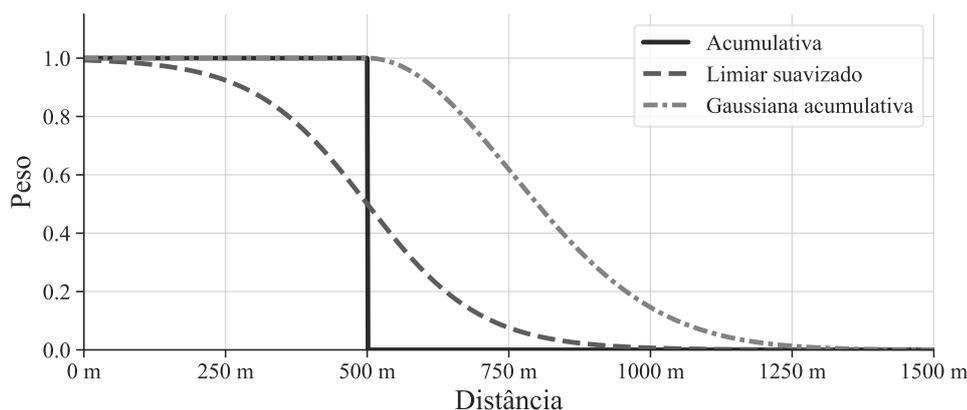


Figura 3: Comportamentos das curvas mais comumente utilizadas para o cálculo de acessibilidade pela distância.

É usual em trabalhos de acessibilidade que os parâmetros das equações (t , k ou v) sejam calibrados a depender do comportamento da população local das cidades (Geurs & van Wee, 2004; Hansen, 1959; Pritchard *et al.*, 2019), contudo ressaltamos que esse tipo de abordagem, além de requerer uso intensivo de dados sobre desejo de viagem, pode inserir vieses locais na comparação entre regiões diferentes, dando crédito indevido às cidades maiores já que residentes nessas regiões tendem a dar peso menor ao custo de deslocamento, por isso é mais usual a utilização de parâmetros fixos na comparação entre regiões urbanas (Levine *et al.*, 2012, 2019). Nesse caso, dada a ausência de dados sobre desejo de viagens, principalmente nas cidades médias brasileiras, e a necessidade da padronização dos resultados, optamos por considerar a acessibilidade de pedestres com a função gaussiana acumulativa (Vale e Pereira, 2017) com distância de caminhada $t = 500\text{ m}$, equivalente a algo entre 5 e 10 minutos de caminhada, como usualmente é recomendado (Liu *et al.*, 2021; WHO, 2016); e com parâmetro de calibração $v = 129\ 842$ seguindo os resultados de Vale e Pereira (2017) resultando na curva que pode ser verificada na Figura 3. Nesse contexto, a acessibilidade de um ponto i na malha urbana é dado por:

$$A_i = \sum_{j \in N} w_{ij} \cdot P_j \quad (4)$$

Em que:

- A_i : acessibilidade do ponto i ;
- j : ponto pertencente à rede de transporte N ;
- w_{ij} : fator de ponderação calculado pela função gaussiana acumulativa; e
- P_j : número total de pontos de interesse no ponto j .

Nesse caso, o índice A_i pode ser calculado separadamente para cada tipo de facilidade urbana, por exemplo, caso se deseje calcular a acessibilidade a estabelecimentos de saúde, P_j será o número de empreendimentos de saúde em j .

2.3. Indicadores urbanos

Indicadores urbanos relativos a variáveis socioeconômicas e espaciais foram computados para todas as cidades de forma a observar padrões do impacto desses fatores na acessibilidade. Os

fatores calculados podem ser verificados na Tabela 2.

Tabela 2: Indicadores geométricos e socioeconômicos calculados

Tipo	Indicador
Geométrico	Indicador orgânico (Kuramoto, 2019)
	Sinuosidade (Boeing, 2019; Giacomini & Levinson, 2015; Levinson & El-Geneidy, 2009)
	Densidade viária [km/km ²]
Demográfico	Densidade urbana [pessoas/km ²]
	Densidade de estabelecimentos [estab./km ²]
	População total
	Renda média [R\$/pessoa]
	Distribuição de renda (índice Gini)

O indicador orgânico oferece uma estimativa do quanto a cidade se distancia de uma grelha perfeita (blocos retangulares com interseções em cruz), nesse caso, cidades com maiores indicadores orgânicos tendem a apresentar maior número de “vias sem saída” e entroncamentos em no desenho de sua rede. Sinuosidade, também conhecido pelo termo em inglês *circuitry*, é um indicador do quanto uma rota em rede se distancia de uma rota em linha reta, de forma que maiores graus de sinuosidade indicam que, em média, são necessários mais desvios em rede para se deslocar de um ponto a outro da cidade. O restante dos indicadores é autoexplicativo.

2.4. Método de análise

Para a comparação entre cidades e verificação do efeito de variáveis espaciais ou socioeconômicas na acessibilidade, foram computadas estatísticas acerca da acessibilidade em cada região urbana. Mais especificamente, são computadas a mediana (acessibilidade para um morador médio da cidade); o 15º percentil (acessibilidade para os moradores com menor acesso); e o 85º percentil (acessibilidade para os moradores com maior acesso) de forma que esses valores possam ser comparados cidade a cidade por meio de análises de distribuição e correlação. Também conduzimos uma análise de extremos para verificar a discrepância entre a acessibilidade de categorias socioeconômicas distintas. Para as categorias socioeconômicas avaliadas – escolaridade e renda – divide-se cada cidade em dois grupos de zonas censitárias, o primeiro contendo os 25% das zonas mais vulneráveis da população (menor taxa de letrados e renda) contra as 25% menos vulneráveis (maior taxa de letrados e renda). A partir dessa divisão, comparam-se as estatísticas de acessibilidade para cada grupo de forma a se obter uma síntese das diferenças de acesso.

2.4. Ferramentas computacionais

Toda a análise foi conduzida na linguagem *Python* de programação, sendo utilizadas as bibliotecas OSMnx (Boeing, 2017) e iGraph (Csardi *et al.*, 2006) para cálculos de caminhos mínimos e estatísticas de redes. As rotinas criadas para avaliação de acessibilidade em regiões urbanas, bem como para a extração de locais de interesse a partir de dados de faces de logradouro e do CNEFE, foram disponibilizadas em formato aberto para uso e adaptação¹.

¹ <https://github.com/andre-morelli/Urban-Analytics>

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Distribuição da acessibilidade e análise de correlação

A Figura 4 traz a distribuição dos 15°, 50° e 85° percentis de acessibilidade por cidade. De modo geral, é possível observar que a disparidade entre a população com menor nível de acessibilidade (expressa pelo 15° percentil) e a com maior nível (expressa pelo 85° percentil) é de aproximadamente uma ordem de grandeza. Para as pessoas com menos acesso, apenas algumas metrópoles atingem níveis razoáveis de acessibilidade e a vasta maioria possui o 15° percentil centrado em zero, indicando que ao menos 15% da população da maior parte das cidades brasileiras tem acessibilidade negligível pelo modo a pé. Outro resultado observado é que existe uma proporção significativa de cidades médias e grandes com acesso próximo a zero mesmo quando se considera o residente médio da cidade (mediana ou 50° percentil) ou o usuário com maior acesso (85° percentil).

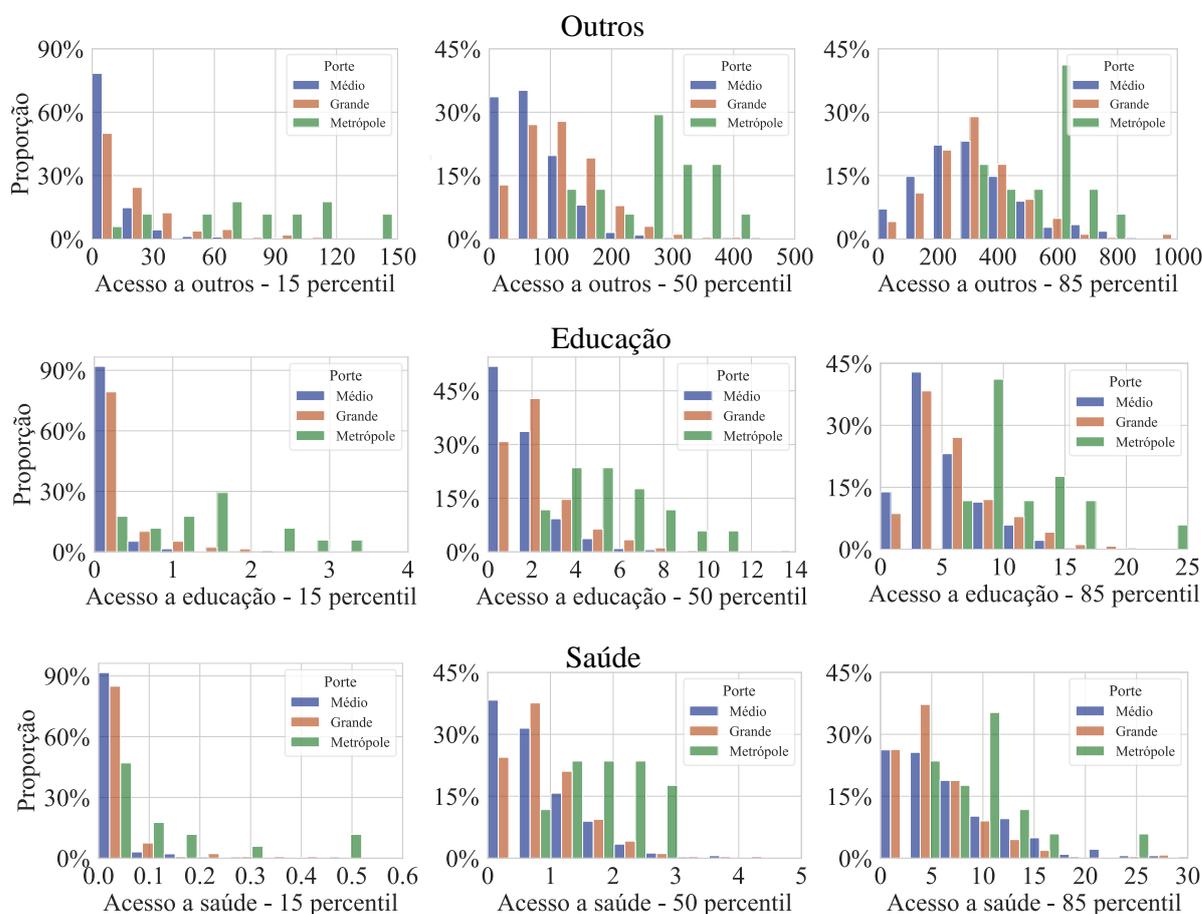


Figura 4: Distribuição de acessibilidade nos 15, 50 e 85 percentis por categoria de cidade. O eixo horizontal contém o valor calculado do n° percentil de A_i (Eq. 4) para a cidade, de forma que o 15° percentil representa os grupos com menor acesso em cada cidade, o 50° percentil representa a acessibilidade de um residente médio da cidade e o 85° percentil representa a acessibilidade de um residente de locais com maior acessibilidade da cidade.

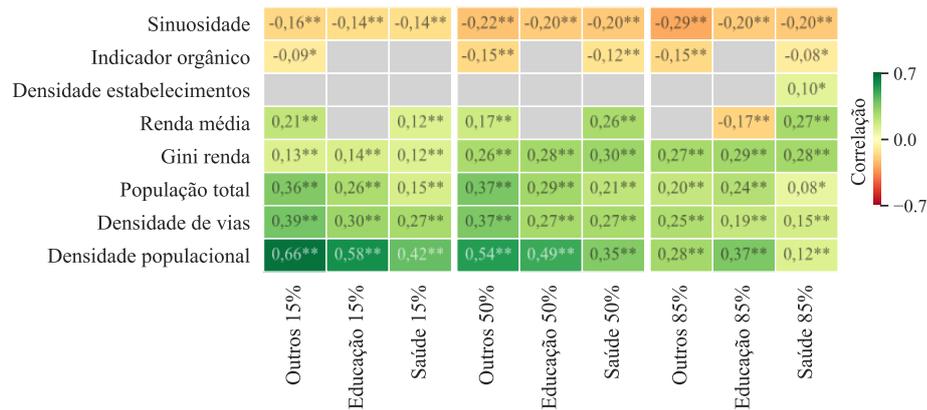


Figura 5: Correlação entre acessibilidade e indicadores urbanos.

Além disso, de forma geral, metrópoles apresentam acessibilidade mais elevada. Esse comportamento pode se dar por diversos mecanismos, e à primeira vista poderia ser explicado pela concentração de oportunidades e empreendimentos nessas cidades que se apresentam como polos regionais. Contudo, a Figura 5 mostra que a densidade de estabelecimentos – que computa o número de estabelecimentos por unidade de área – não parece estar correlacionado de maneira significativa com as métricas de acessibilidade. Por outro lado, a densidade urbana apresenta a maior correlação observada nesta análise e pode explicar em parte a disparidade entre as categorias já que as densidades urbanas médias para cidades médias, grandes e metrópoles são de 1819, 2530 e 4899 pessoas/km², respectivamente. Existe, contudo, indicação de que outros fatores influem na acessibilidade, apesar de possuírem um efeito menos pronunciado, como a sinuosidade e o indicador orgânico que impactam a acessibilidade negativamente ao aumentar as distâncias médias que um usuário necessita percorrer na malha urbana ou a densidade de vias que produz o efeito contrário por reduzir as distâncias. Em termos socioeconômicos, o nível de renda de uma cidade parece impactar de maneira reduzida a acessibilidade, mas a distribuição de renda parece ter um impacto mais pronunciado. O Gini da renda está positivamente correlacionado à acessibilidade, o que significa que em cidades com renda mais desigual (Gini maior) parece existir maior acessibilidade média. Pesquisas futuras devem ajudar explicar esse fenômeno, mas a hipótese levantada é de um efeito colateral de a acessibilidade ser elevada para cidades maiores e mais densas, onde existe a tendência de a renda ser mais desigual como observado pelo índice Gini médio para as cidades médias, grandes e metrópoles igual a 0,24; 0,26 e 0,40; respectivamente para nosso banco de dados.

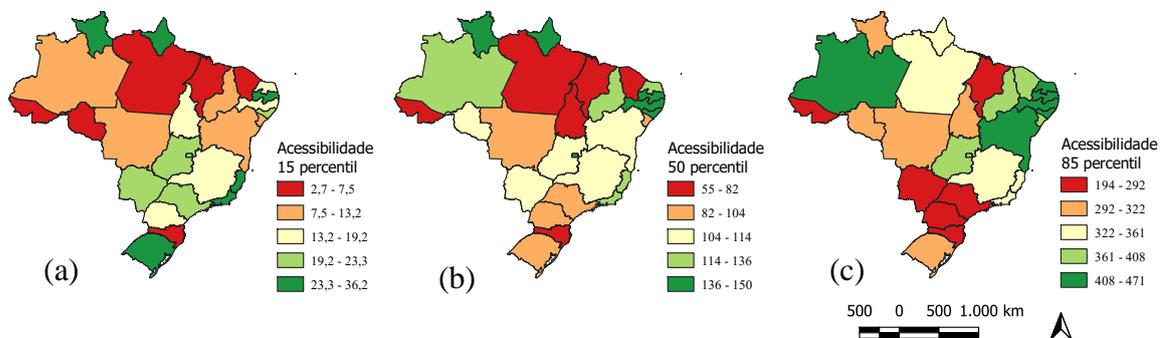


Figura 6: Mapas temáticos expressando a acessibilidade média a estabelecimentos classificados como “outros” das cidades de cada estado nos grupos de (a) 15º percentil; (b) 50º percentil; e (c) 85º percentil.

Em termos geográficos, a Figura 6 mostra a distribuição dos resultados por Estado da União para o acesso a estabelecimentos classificados como “outros” que compõem a maioria das oportunidades nas cidades. É interessante notar que vários estados que possuem algumas das maiores acessibilidades para o 15° percentil, apresentam algumas das piores para o 85° percentil como nos casos de SP e MS. Isso pode indicar uma maior proximidade entre os grupos de maior e menor acesso, com as pessoas mais vulneráveis ainda tendo acessibilidade razoável ao custo do acesso dos grupos menos vulneráveis, que mesmo assim apresentam um nível de acesso elevado. A situação oposta também pode ser observada em outros estados como BA e AM, indicando maior disparidade entre os dois grupos.

3.2. Análise de extremos

A Figura 7 contém as distribuições de acessibilidade mediana para grupos extremos de renda e alfabetização. Nessa figura, cada cidade tem suas zonas censitárias divididas em categorias de renda e alfabetização com os 25% mais vulneráveis (abaixo do 25° percentil) em uma categoria e os 25% menos vulneráveis (acima do 75° percentil) em outra. Dada a diversidade de municípios e suas naturezas distintas, os limites de corte para cada categoria variam de cidade para cidade, e as zonas censitárias que caem entre o 25° e o 75° percentis são excluídas da análise por representarem uma zona de transição entre esses extremos. Nesta análise, diferentemente da anterior, foram apenas consideradas as acessibilidades do cidadão médio da categoria (50° percentil).

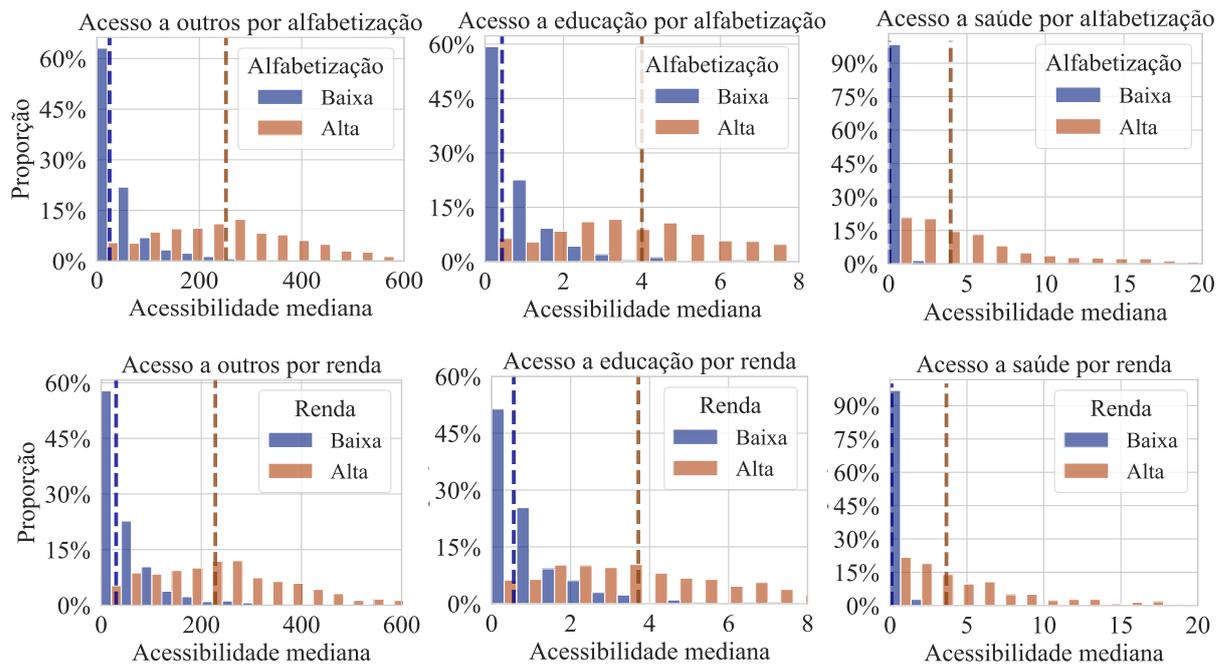


Figura 7: Distribuição de acessibilidade para os grupos extremos de renda e alfabetização. A linha tracejada representa a mediana de cada grupo. O eixo horizontal contém o valor calculado do n° percentil de A_i (Eq. 4) para a cidade, de forma que o 15° percentil representa os grupos com menor acesso em cada cidade, o 50° percentil representa a acessibilidade de um residente médio da cidade e o 85° percentil representa a acessibilidade de um residente de locais com maior acessibilidade da cidade.

A disparidade entre as categorias é facilmente observada, principalmente quando se comparam as linhas de mediana (tracejadas) de cada distribuição. A Tabela 3 coloca essa diferença em

termos estatísticos comparando as medianas de acessibilidade dos dois grupos com o teste de Mood para a mediana (Mood, 1950). Nessa análise, todos os casos apresentaram uma diferença relativa entre as medianas de mais de 85% com nível de significância maior ou igual a 99,9%. Esse resultado demonstra a discrepância entre o grau de acesso de pessoas vulneráveis e não vulneráveis, mas ressaltamos que não há evidências de que maior acessibilidade cause maiores níveis de escolaridade e renda. Essa disparidade pode ser explicada em parte pela valorização relativa de imóveis em regiões mais acessíveis e com maior disponibilidade de serviços (Yang *et al.*, 2018) o que leva à conclusão de que grupos mais favorecidos tendem a se deslocar para essas localidades. Contudo, o problema pode ser amenizado com políticas públicas mais inclusivas, o que não é observado em larga escala no Brasil onde faltam políticas de estímulo ao uso misto em grande parte das cidades brasileiras, o que pode excluir grandes blocos da cidade – inclusive os mais pobres – de regiões com mais oportunidades.

Tabela 3: Resultados do teste de Mood para a diferença entre as medianas dos grupos extremos. ΔM é a diferença relativa entre as medianas, **Stat.** a estatística do teste e **p** é o p-valor para a diferença. Todas as diferenças foram significativas para o intervalo de confiança de 99,9% (p-valor ≤ 0.001).

Característica	Outros			Educação			Saúde		
	ΔM	Stat	p-val	ΔM	Stat	p	ΔM	Stat	p
renda	86,9%	586,8	0,000	84,9%	496,0	0,000	97,4%	667,2	0,000
alfabetização	90,2%	691,1	0,000	89,1%	620,6	0,000	98,7%	715,5	0,000

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise dos impactos de características da rede de transporte e da ocupação do solo urbano na acessibilidade por pedestres nas cidades com mais de 50 mil habitantes no Brasil. Para tanto, foram utilizados dados socioeconômicos referentes ao censo brasileiro 2010, dados de endereços de pontos de interesse referentes ao levantamento do CNEFE de 2019 e redes viárias extraídas da plataforma *OpenStreetMap*. Foi calculada a acessibilidade a partir de um modelo gravitacional com decaimento da função acessibilidade em relação à distância de caminhada. No modelo utilizado, destinos há distâncias de até 500 m foram considerados plenamente acessíveis – peso igual a 1,0 – enquanto distâncias maiores que 500 m possuem pesos decaindo de acordo com uma curva gaussiana. Como a acessibilidade é definida para um ponto da malha urbana e não uma área, para o cálculo da acessibilidade média de um setor censitário foram amostrados cinco pontos aleatórios internos ao setor e computada a acessibilidade para cada um desses pontos, com a acessibilidade do setor sendo definida como a média entre essas cinco amostras.

Os resultados mostram que a densidade urbana é o parâmetro mais correlacionado com acessibilidade, com cidades mais densas tendendo a ser mais acessíveis já que a proximidade de pessoas facilita o acesso a facilidades urbanas. Também foi verificado que cidades maiores, principalmente metrópoles, tendem a possuir maior acessibilidade média, o que se deve, provavelmente, à íntima relação entre a classe de uma região com sua densidade populacional. Por outro lado, parâmetros topológicos de rede como sinuosidade e o indicador orgânico estão correlacionados negativamente com a acessibilidade do residente médio, apesar de possuírem efeito menor se comparado ao da densidade. Esse efeito de parâmetros de rede se deve ao fato de essas características tenderem a aumentar os tamanhos dos trajetos, fato evidenciado pela correlação positiva com parâmetros que tendem a reduzir as distâncias, como a densidade da rede de

transporte. Em termos socioeconômicos, verificou-se uma divisão significativa entre classes das regiões urbanas, com pessoas em grupos mais vulneráveis de renda e escolaridade tendo menor acessibilidade a facilidades urbanas pelo modo a pé. Essa realidade pode estar pautada em diversos aspectos como o fato de a acessibilidade média de uma região poder influenciar de maneira significativa no valor imobiliário, excluindo pessoas vulneráveis de locais de maior acessibilidade; e a ausência de políticas de inclusão e uso misto do solo na maior parte das cidades brasileiras. Essa realidade mostra que ainda existe um longo caminho para que o país possa se tornar mais inclusivo no acesso a instalações urbanas por meios ativos, o que pode não apenas promover mais igualdade nas regiões urbanas, mas também promover efeitos colaterais desejáveis como a redução do tráfego, redução na emissão de poluentes e diminuição do tempo médio de viagens diárias da população. Nesse sentido, para auxiliar profissionais, cientistas e tomadores de decisão a promover cidades mais acessíveis, disponibilizamos as ferramentas computacionais concebidas neste trabalho de forma simplificada para uso aberto, de forma que qualquer pessoa com entendimento básico de programação possa utilizá-las.

Este trabalho utilizou dados de endereços comerciais como pontos de interesse sem discriminar ou ponderar esses pontos por tamanho. Isso acontece porque no banco de dados do CNEFE não existe informação com relação ao tamanho de cada empreendimento, contudo em trabalhos futuros pode-se associar essa informação a dados de empregos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) que podem ser geocodificados a partir do CEP dos empreendimentos (principalmente em cidades maiores) e associados aos dados do CNEFE, adicionando informação sobre o tamanho e natureza dos empreendimentos comerciais.

Financiamento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhavan, A., Phillips, N. E., Du, J., Chen, J., Sadeghinassr, B., & Wang, Q. (2018). Accessibility inequality in Houston. *IEEE Sensors Letters*, 3(1), 1–4.
- Boeing, G. (2017). OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, 65, 126–139.
- Boeing, G. (2019). The morphology and circuitry of walkable and drivable street networks. In *Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12381-9_12
- Chang, Z., Chen, J., Li, W., & Li, X. (2019). Public transportation and the spatial inequality of urban park accessibility: New evidence from Hong Kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76, 111–122.
- Chen, Y., Yue, W., & La Rosa, D. (2020). Which communities have better accessibility to green space? An investigation into environmental inequality using big data. *Landscape and Urban Planning*, 204, 103919.
- Cheng, L., Caset, F., De Vos, J., Derudder, B., & Witlox, F. (2019). Investigating walking accessibility to recreational amenities for elderly people in Nanjing, China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76, 85–99.
- Csardi, G., Nepusz, T., & others. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695(5), 1–9.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., & Cardozo, O. D. (2013). Walking accessibility to public transport: an analysis based on microdata and GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(6), 1087–1102.
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140.
- Giacomin, D. J., & Levinson, D. M. (2015). Road network circuitry in metropolitan areas. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 42(6), 1040–1053. <https://doi.org/10.1068/b130131p>
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73–76.

- HCM. (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1207.
- Higgs, C., Badland, H., Simons, K., Knibbs, L. D., & Giles-Corti, B. (2019). The Urban Liveability Index: developing a policy-relevant urban liveability composite measure and evaluating associations with transport mode choice. *International Journal of Health Geographics*, 18(1), 1–25.
- IBGE. (2010). *Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 48.
- Kuramoto, B. (2019). *Exploração de dados de mapas colaborativos em avaliações de morfologias urbanas brasileiras*. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Lara, D. V. R., & da Silva, A. N. (2018). Questões de equidade associadas a barreiras de transportes em uma cidade média. *Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*, 32.
- Levine, J., Grengs, J., & Merlin, L. A. (2019). *From Mobility to Accessibility*. Cornell University Press.
- Levine, J., Grengs, J., Shen, Q., & Shen, Q. (2012). Does accessibility require density or speed? A comparison of fast versus close in getting where you want to go in US metropolitan regions. *Journal of the American Planning Association*, 78(2), 157–172.
- Levinson, D., & El-Geneidy, A. (2009). The minimum circuitry frontier and the journey to work. *Regional Science and Urban Economics*, 39(6), 732–738. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2009.07.003>
- Liu, S., Higgs, C., Arundel, J., Boeing, G., Cerdera, N., Moctezuma, D., Cerin, E., Adlakha, D., Lowe, M., & Giles-Corti, B. (2021). A Generalized Framework for Measuring Pedestrian Accessibility around the World Using Open Data. *Geographical Analysis*.
- Martins, M. C. da M., Rodrigues da Silva, A. N., & Pinto, N. (2019). An indicator-based methodology for assessing resilience in urban mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, 352–363.
- Mood, A. M. (1950). *Introduction to the Theory of Statistics*. McGraw-Hill.
- Munoz-Raskin, R. (2010). Walking accessibility to bus rapid transit: Does it affect property values? The case of Bogotá, Colombia. *Transport Policy*, 17(2), 72–84.
- Papa, E., Carpentieri, G., & Guida, C. (2018). Measuring walking accessibility to public transport for the elderly: the case of Naples. *Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 105–116.
- Pritchard, J. P., Tomasiello, D. B., Giannotti, M., & Geurs, K. (2019). Potential impacts of bike-and-ride on job accessibility and spatial equity in São Paulo, Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121(May 2018), 386–400.
- Reyes, M., Páez, A., & Morency, C. (2014). Walking accessibility to urban parks by children: A case study of Montreal. *Landscape and Urban Planning*, 125, 38–47.
- Silva Júnior, S. B. da, & Ferreira, M. A. G. (2008). Rodovias em áreas urbanizadas e seus impactos na percepção dos pedestres. *Sociedade & Natureza*, 20, 221–237.
- Sousa, J. R., de Sousa, M. T. R., & Braga, R. (2009). Os problemas da mobilidade urbana na periferia brasileira: o caso do município de Rio Claro/SP. *Revista Da Casa Da Geografia de Sobral*, 11(1), 7.
- Vale, D. S., & Pereira, M. (2017). The influence of the impedance function on gravity-based pedestrian accessibility measures: A comparative analysis. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(4), 740–763.
- Vale, D. S., Saraiva, M., & Pereira, M. (2016). Active accessibility: A review of operational measures of walking and cycling accessibility. *Journal of Transport and Land Use*, 9(1), 209–235.
- WHO. (2016). *Global report on urban health: equitable healthier cities for sustainable development*.
- Wong, C. H., Wong, S. F., Pang, W. S., Azizah, M. Y., & Dass, M. J. (2003). Habitual walking and its correlation to better physical function: implications for prevention of physical disability in older persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 58(6), M555--M560.
- Xiao, W., Wei, Y. D., & Li, H. (2021). Spatial inequality of job accessibility in Shanghai: A geographical skills mismatch perspective. *Habitat International*, 115, 102401.
- Yang, L., Wang, B., Zhou, J., & Wang, X. (2018). Walking accessibility and property prices. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 551–562.

André Borgato Morelli (andre.morelli@usp.br)

André Luiz Cunha (alcunha@usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos, SP, Brasil