

Caracterizando o uso integrado de bicicletas compartilhadas e ônibus em Fortaleza com *big data* de bilhetagem eletrônica

Characterizing the integrated use of shared bikes and buses in Fortaleza with big data of electronic ticketing

Raquel Chaves Costa Lima¹, Matheus Fontenelle Siqueira¹,
Carlos Felipe Grangeiro Loureiro¹, Francelino Franco Leite de Matos Sousa²

¹Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil

²Centro Universitário Christus, Fortaleza, Ceará, Brasil

Contato: raquelccl@gmail.com (RCCL); matheusfsiqueira@gmail.com,  (MFS); felipe@det.ufc.br,  (CFGL); francolms@gmail.com,  (FFLMS)

Recebido:

16 de agosto de 2022

Aceito para publicação:

3 de maio de 2023

Publicado:

26 de julho de 2023

Editor de Área:

Helena Beatriz Bettella Cybis
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul, Brasil

Palavras-chave:

Integração bicicleta-ônibus.
Bicicletas compartilhadas.
Big data.

Keywords:

Bike-bus integration.
Shared bikes.
Big data.

DOI: 10.58922/transportes.v31i2.2814

RESUMO

O uso integrado da bicicleta com o transporte público vem despertando o interesse da comunidade acadêmica pelo potencial de melhoria na acessibilidade urbana. Ganhos significativos no acesso/difusão devem agregar atratividade ao modo coletivo, beneficiando sobretudo os segmentos sociais economicamente menos favorecidos. Estudos sobre esta temática são mais desenvolvidos e expressivos nos contextos do Norte Global, onde se utilizam dados oriundos de pesquisas tradicionais (domiciliares) na caracterização desse fenômeno. Visando superar as limitações inerentes aos métodos convencionais de pesquisa e a baixa ocorrência dessas viagens no Brasil, este trabalho propõe um método utilizando *big data* dos registros operacionais do transporte público e sistemas de compartilhamento de bicicletas para caracterizar viagens integradas. Por meio de estudo de caso centrado em Fortaleza, o método proposto se mostra vantajoso na identificação das viagens integradas, possibilitando a análise de um conjunto de dados com larga representatividade, inviáveis de serem obtidos por métodos tradicionais.

ABSTRACT

The integrated use of bicycles and public transit has attracted the academic community due to its potential of improving urban accessibility. Significant gains in access/egress should increase the attractiveness of the public transport mode, benefiting the economically least favored social segments. Studies on this theme are well developed and more significant in the North Global contexts, which use data from traditional (household-based) surveys in the characterization of such phenomenon. Aiming to overcome the inherent limitations of conventional survey methods and the low occurrence of these trips in the Brazilian context, this work presents a method using big data from operational records of the public transit and bicycle-sharing systems to characterize integrated trips. By means of a case study focused on Fortaleza, the proposed method proves to be advantageous in the identification of the integrated trips, allowing the analysis of a data set with large representability, hardly obtainable by traditional methods.



1. INTRODUÇÃO

Diversas vantagens são descritas na literatura sobre o uso da bicicleta como modo de transporte. Quando usada em viagens pendulares, que constituem a principal parcela dos deslocamentos realizados diariamente nas cidades, o uso da bicicleta pode contribuir de forma mais eficaz na redução dos congestionamentos, sendo, em certos casos, mais veloz que alguns modos motorizados (Heinen et al., 2010). Além disso, trata-se de um modo sustentável para o meio ambiente, já que não há emissões de poluentes ou barulho, e ocupa ainda apenas uma pequena parcela do espaço requerido por veículos motorizados, demandando menor investimento em infraestrutura viária. Um outro aspecto essencial do uso da bicicleta diz respeito ao fato de ela ser um dos modos de transporte mais democráticos, já que sua aquisição é de menor custo quando comparada a outros modos privados, e seu uso e manutenção são mais baratos que o do automóvel e do transporte público (Pucher e Buehler, 2008).

Apesar de haver uma atenção significativa da comunidade científica para o uso unimodal da bicicleta, diversos estudos recentes discutem o uso da bicicleta como modo de acesso e difusão ao transporte público. O interesse maior por esse tipo de integração reside na possibilidade de mitigar um dos principais problemas do transporte público: a acessibilidade de estações e pontos de parada, já que a bicicleta é consideravelmente mais rápida que a caminhada, aumentando assim a cobertura do sistema, tornando-se potencialmente atraente para novos usuários (Martens, 2004). Além disso, esse uso integrado da bicicleta tende a melhorar a eficiência dos sistemas de transporte público já que se reduz a necessidade de um serviço alimentador (Krizek e Stonebraker, 2010) e de linhas pouco rentáveis para os operadores dos sistemas (Pazos, 2007).

Para Kager et al. (2016), a utilização conjunta da bicicleta e transporte público combina os aspectos positivos dos dois modos, gerando viagens rápidas e flexíveis. Por um lado, a bicicleta aumenta a acessibilidade porta-a-porta da viagem, enquanto os sistemas de transporte público promovem um aumento significativo na velocidade e alcance (sobretudo em sistemas de alta capacidade), o que torna esse uso integrado competitivo frente ao transporte motorizado individual. Essa integração modal agrega aspectos contrastantes, porém complementares de ambos os modos: enquanto a bicicleta é um modo individualizado que permite liberdade de horários de partida, escolha de rota e paradas intermediárias; o transporte público é submetido aos desenhos da rede e a uma forma de operação pré-definida. Por fim, essa modalidade de integração é importante da perspectiva da justiça social por prover a acessibilidade do transporte público para pessoas da baixa renda que não têm acesso ao automóvel (Boarnet et al., 2017).

Muitos autores já se dedicaram ao estudo da integração entre bicicleta e transporte público, mas a maioria desses estudos aborda apenas a integração com o metrô ou trem (Keijer e Rietveld, 2000; Rietveld, 2000; Zhao e Li, 2017; Ma et al., 2018) e os dados provêm de pesquisas de campo com os usuários (Keijer e Rietveld, 2000; Martens, 2004; Martens, 2007). O objetivo deste artigo é propor um método que permita a identificação das viagens integradas a partir da utilização de *big data* dos sistemas de bilhetagem dos ônibus e das bicicletas compartilhadas, tornando-se uma ferramenta que possibilite melhor caracterizar o fenômeno da integração entre bicicletas e ônibus. Busca-se, ainda, aprofundar o conhecimento sobre a integração bicicleta-ônibus em Fortaleza, cidade

escolhida como estudo de caso para a aplicação do método proposto, tendo em vista sua posição de destaque nacional, considerando suas políticas públicas voltadas para os modos ativos e, em particular, para o uso integrado da bicicleta compartilhada.

2. O USO INTEGRADO DA BICICLETA COM O TRANSPORTE PÚBLICO

A relação entre a bicicleta e o transporte público pode ser descrita sob duas perspectivas: competição ou complementariedade. Por um lado, a competição entre esses modos acontece no componente de alimentação do transporte público, com linhas caracterizadas por baixas velocidades operacionais, visto que o foco está na acessibilidade e cobertura do sistema. Nesse caso, a bicicleta permite superar alguns dos problemas das linhas alimentadoras, como elevados tempos de espera nas paradas. Por outro lado, observa-se uma complementariedade entre a bicicleta e o transporte público de maior velocidade (como metrô, linhas expressas de ônibus, BRT, etc.), em que se combina a maior acessibilidade da bicicleta com a maior mobilidade nos veículos de transporte público (Hegger, 2007; Jäppinen et al., 2013).

Kager et al. (2016) distinguem três segmentos em uma viagem integrada bicicleta-transporte público: (a) um segmento de acesso, entre a origem da viagem e a estação de transporte público; (b) um segmento principal, realizado por transporte público, entre os pontos de embarque e desembarque do sistema; e (c) um segmento de difusão, entre a estação de desembarque e o destino final. Nos segmentos de acesso e difusão, haveria competição entre a bicicleta e as linhas alimentadoras de transporte público, enquanto o segmento principal seria operado por linhas de transporte público com maior velocidade e capacidade. Givoni e Rietveld (2007) reconhecem que existem distinções entre as viagens de acesso e difusão, mas afirmam que as maiores diferenças ocorrem entre as pontas da viagem ligadas ao domicílio e às atividades. De fato, a bicicleta própria é submetida a um problema de assimetria, estando prioritariamente disponível no segmento de viagem referente ao domicílio, que constitui a base de seu uso (Rietveld, 2000). A utilização da bicicleta na ponta da atividade só é possível quando esta é levada a bordo dos veículos de transporte público, ou através de sistemas de compartilhamento de bicicletas. Unindo as discussões apresentadas anteriormente, Costa (2019) propôs uma adaptação da estrutura das viagens integradas bicicleta-transporte público para países em desenvolvimento, a partir do trabalho de Kager et al. (2016), conforme Figura 1.



Figura 1. Estrutura característica das viagens integradas bicicleta-transporte público [fonte: Costa, 2019].

Distingue-se, assim, o uso da bicicleta em duas modalidades. A primeira constituindo o uso da bicicleta própria, que é submetido ao problema da assimetria, ocorrendo prioritariamente na ponta da viagem ligada ao domicílio, e cuja integração com o transporte público demanda a existência de estacionamentos de bicicleta na estação de acesso, ou o embarque da bicicleta junto ao transporte público, o que nem sempre é autorizado (Krizek e Stonebraker, 2010). A segunda modalidade de integração consiste no uso da bicicleta compartilhada tanto na ponta do domicílio quanto da atividade, dispensando facilidades de estacionamento para bicicletas, porém submetida à disposição espacial das estações e à disponibilidade de bicicletas. No presente estudo, propõe-se um método para caracterização da integração do transporte público apenas com a bicicleta compartilhada, a qual oferece possibilidades de análise de dados operacionais em larga escala.

3. DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO E DA PROPOSTA METODOLÓGICA

3.1. Área de estudo

Escolhida como estudo de caso para o presente trabalho, Fortaleza é a quinta cidade mais populosa do país, com cerca de 2,7 milhões de habitantes, sendo a capital brasileira com maior densidade populacional (quase 7.800 habitantes/km²), segundo o IBGE (2021). Fortaleza se caracteriza pela elevada desigualdade em termos de renda, infraestrutura e níveis de acessibilidade, estando a população de baixa renda predominantemente situada nas periferias da cidade, longe das regiões onde as atividades estão concentradas (Andrade et al., 2020; Lima et al., 2021), sendo dependente prioritariamente do sistema de transporte público. Fortaleza vem se destacando positivamente pela quantidade de investimentos que priorizam o transporte público e o não-motorizado, em particular a bicicleta (Costa, 2019).

Dentre as políticas públicas implementadas na cidade, destacam-se aquelas que se referem particularmente ao modo ciclovitário. Houve uma expansão da rede ciclovitária, que saltou de 68 km para 418 km de 2013 até 2022, passando a cobrir não somente a área central, mas também parte dos bairros periféricos. Além disso, dois sistemas de compartilhamento de bicicleta foram implantados. O primeiro deles é chamado “*Bicicletar*” e atende à região mais central da cidade com 192 estações. Esse sistema pode ser utilizado com passes pagos ou de forma gratuita com o cartão de transporte público, denominado “Bilhete Único” (BU). Como o sistema cobra por excesso de tempo, o *Bicicletar* exige cadastro de cartão de crédito mesmo em viagens utilizando o BU. O segundo sistema, localizado nos bairros periféricos da cidade, ao lado dos terminais de ônibus, denomina-se “*Bicicleta Integrada*”. Esse sistema permite ao usuário empréstimos gratuitos de até 14 horas pelo BU e não requer cadastro de cartão de crédito.

Ambos os sistemas de bicicletas compartilhadas descritos foram planejados para operar de forma complementar ao Sistema Integrado de Transporte Coletivo de Fortaleza (SITFOR), sendo a disposição espacial das estações de bicicletas compartilhadas e das linhas de ônibus do SITFOR mostradas na Figura 2 para 2018, quando foi concluída a primeira fase de implementação dos sistemas compartilhados, e em 2022, após sua expansão ao longo dos principais eixos viários da cidade. O posicionamento das estações favorece o uso integrado das bicicletas compartilhadas com o transporte público. Nas periferias, o *Bicicleta Integrada* possibilita o uso da bicicleta entre os terminais de integração de ônibus e os domicílios dos usuários, que podem retirar a bicicleta em um dia e devolvê-la apenas no dia

seguinte, sem custos. Na região central e ao longo dos corredores de transporte público, o *Bicicletar*, por estar localizado em uma região com alta diversidade de usos, permite aos usuários usar a bicicleta entre a parada de ônibus e as atividades com facilidade.

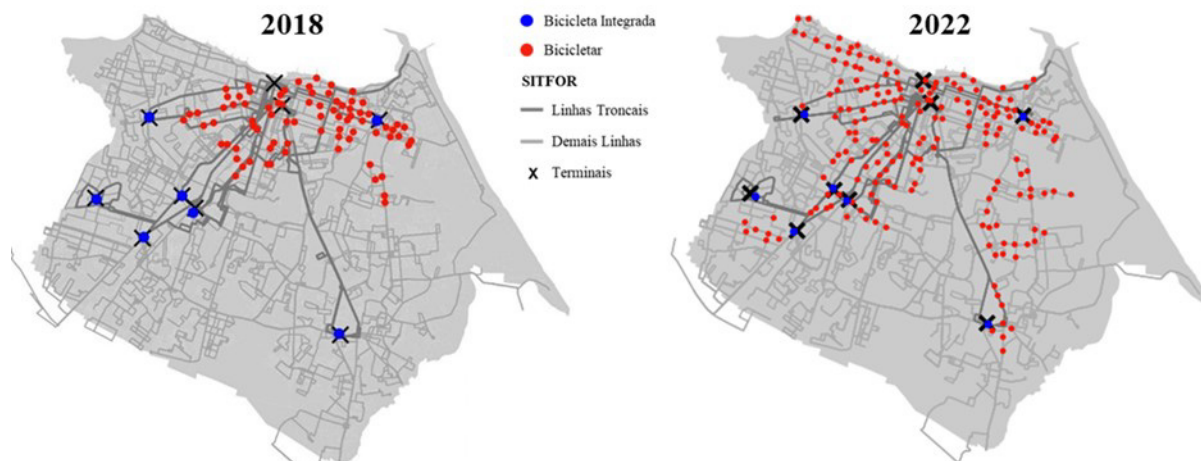


Figura 2. Disposição das estações de bicicleta compartilhada e do SITFOR em 2018 e 2022.

3.2. Estrutura dos dados

A utilização do cartão BU no embarque dos ônibus e no empréstimo das bicicletas compartilhadas torna possível a identificação das viagens integradas pela combinação dos dados de bilhetagens dos diversos sistemas. Trata-se de um conjunto de bancos de dados que podem ser denominados de *big data* por: (i) conterem um grande volume de dados, sendo preenchidos diariamente com uma elevada carga de registros; (ii) serem exaustivos, contendo a quase-totalidade dos dados populacionais; e (iii) serem relacionais, permitindo o cruzamento de informações de diferentes conjuntos de dados (Kitchin, 2013).

Os dados operacionais do SITFOR são provenientes de dois bancos de dados: uma base de usuários, contendo informações sobre os indivíduos; e uma base de dados de viagens, contendo todos os registros de utilização do BU pelos usuários ao longo de cada dia. Em Fortaleza, a validação do cartão acontece próximo à porta de entrada do ônibus, somente no momento de embarque. Isso impõe dificuldades consideráveis na compreensão dos padrões de viagem, em especial na determinação do local e horário de descida dos ônibus. Além disso, vale ressaltar que o uso do BU nos ônibus não é obrigatório, sendo também possível a aquisição de passes avulsos que não permitem o rastreamento de viagens integradas. No período em análise, 44% dos usuários do SITFOR realizaram seus embarques utilizando o BU. Tais passageiros se beneficiam da integração temporal, pela qual podem realizar embarques ilimitados em um período de até duas horas. A estrutura do banco de dados de embarques (validações do BU) é apresentada na Tabela 1, com exemplos de dados.

Tabela 1: Estrutura do banco de dados de embarques do SITFOR

ID Usuário ônibus	Linha de ônibus	Veículo	Data Hora	Tipo de cartão	Integração
7034759	84	2006	05/05/2018 13:18	04-Vale Transporte	Não
659783	84	2006	05/05/2018 13:14	02-Estudante	Sim
4824988	84	2006	05/05/2018 12:08	03-Gratuidade	Não

O banco de dados de usuários do BU (Tabela 2), por sua vez, permite a caracterização de alguns dos atributos socioeconômicos dos usuários, como idade e gênero. Além disso, dispõe-se do endereço do domicílio e do local de trabalho ou estudo, no caso de se tratar de um vale-transporte empresarial ou de uma carteira de estudante, respectivamente.

Tabela 2: Estrutura do banco de dados de usuários do SITFOR

ID Usuário ônibus	ID Cartão	Data de Nascimento	Gênero	Endereço do Domicílio	Local da Empresa/Escola
2333834	1187318139	29/08/1988	M	Omitido	Omitido
4065506	2858788923	20/01/2005	F	Omitido	Omitido
2198916	66738798	24/12/1990	M	Omitido	Omitido

Por fim, os dados de utilização dos sistemas de compartilhamento de bicicleta vêm em duas bases distintas, já que são sistemas independentes; entretanto suas estruturas são semelhantes, sendo ilustradas na Tabela 3. O sistema operacional utilizado permite dois modos de empréstimo: por meio do uso do BU, como mencionado anteriormente; ou pelo uso de aplicativo móvel, que demanda a aquisição de passes. Por ser gratuito, o uso do BU corresponde à maior parcela de utilização do sistema de bicicletas compartilhadas (66%), favorecendo assim a identificação de uma maior parcela das viagens integradas.

Tabela 3: Estrutura dos bancos de dados de empréstimos de bicicletas compartilhadas

ID Usuário Bicicleta	ID Cartão	Tipo de Empréstimo	Estação de Retirada	Data/Hora da Retirada	Estação de Devolução	Data/Hora da Devolução
1803649	187746149	Smartcard	11	15/05/2018 05:01:17	15	15/05/2018 05:51:20
1649577	467248612	Smartcard	19	15/05/2018 05:06:32	15	15/05/2018 05:46:36
1924005	N/D	App	40	15/05/2018 05:15:38	42	15/05/2018 05:36:56

N/D: Não Disponível

Neste trabalho, utilizou-se os dados do mês de setembro de 2018, entendido como um período representativo da consolidação da demanda após a primeira fase de implantação dos sistemas compartilhados, além de anterior ao ponto de inflexão na demanda do SITFOR, com queda constante a partir do início de 2019, ainda não estabilizada no pós-pandemia Covid-19. No período de análise, os bancos de dados de viagens continham cerca de um milhão de viagens do SITFOR por dia; uma base de dados de cerca de 2,7 milhões de usuários; mais de 2 mil empréstimos diários do *Bicicletar* e menos de 200 empréstimos diários do *Bicicleta Integrada*.

3.3. Proposta metodológica

Os bancos de dados operacionais apresentados acima têm uma estrutura própria que exige a elaboração de um método específico para identificar viagens integradas entre bicicleta compartilhada e ônibus. Uma preocupação é a de minimizar os tempos de processamento devido ao grande volume de dados mensais para que o método possa ser estendido para volumes de dados ainda maiores (como períodos de análise mais longos). A Figura 3 apresenta as etapas metodológicas propostas, detalhadas a seguir.

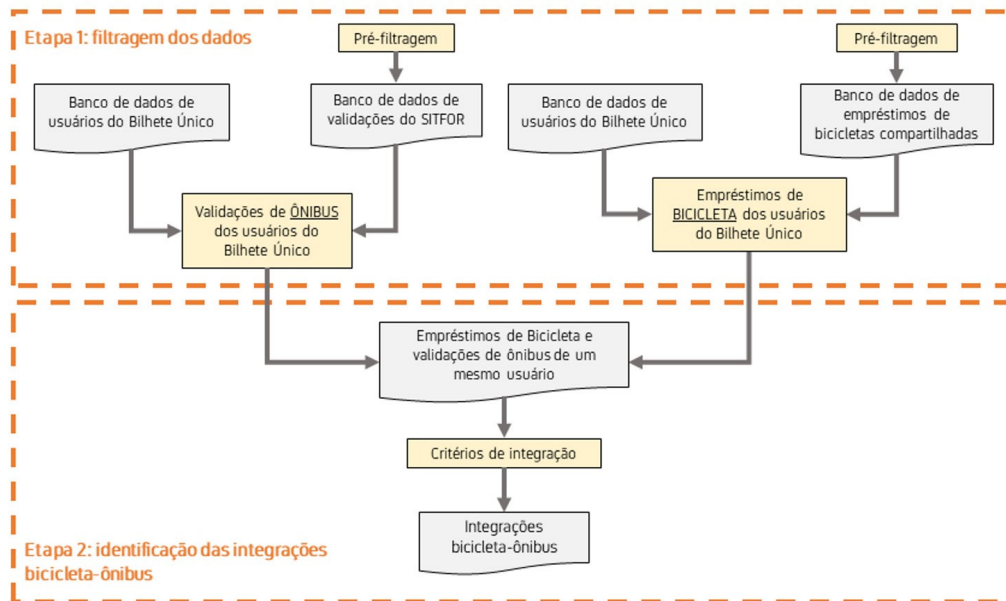


Figura 3. Método proposto para identificação das integrações bicicleta-ônibus.

3.3.1. Etapa 1: filtragem dos dados

A primeira etapa do método consiste em realizar uma pré-filtragem nos bancos de dados. Primeiramente, foram eliminados para o presente estudo os empréstimos e validações realizados em fins de semana e feriados, considerados atípicos em termos de padrões de viagens, pois Costa (2019) demonstra que a maioria das viagens do *Bicicletar* e do *Bicicleta Integrada* acontece por motivo trabalho ou educação. Além disso, eliminou-se os empréstimos de bicicleta considerados *inválidos*, que ocorrem em dois casos: (i) quando os registros que possuem duração de viagem negativa, devido a erros nos campos de horários de empréstimo/devolução; ou (ii) quando os empréstimos e devoluções ocorrem na mesma estação com um intervalo inferior a 5 minutos. De acordo com Andrade et al. (2016), nesses casos se considera que o usuário devolveu a bicicleta por causa de defeito. Ressalta-se que empréstimos com retirada e devolução em estações diferentes não devem ser descartados independentemente do tempo de duração por representarem empréstimos para viagens curtas, que são características de um sistema de bicicletas compartilhadas denso, como o *Bicicletar*.

Em seguida, realizou-se o cruzamento do banco de dados do BU com os bancos de dados de validações de ônibus e empréstimos de bicicleta, no sentido de manter apenas os registros vinculados a um cartão de BU. No caso das validações de ônibus, a união das tabelas se dá por meio do ID do usuário, enquanto no caso dos sistemas de bicicletas compartilhadas essa união ocorre por meio do ID do cartão. Vale enfatizar que a condição básica para a identificação das viagens integradas por meio de *big data* é a utilização do BU no embarque no ônibus e no empréstimo da bicicleta. Essa limitação não compromete a validade dos resultados, pois os sistemas favorecem a utilização desse cartão e os dados operacionais confirmam que a maioria das viagens de ônibus e de bicicleta se dá por meio dele. O produto dessa etapa é, portanto, um banco de dados agregado que contempla validações de ônibus e empréstimos de bicicletas realizados pelos mesmos usuários, porém não necessariamente se configurando em integrações entre a bicicleta e o ônibus. A aplicação de critérios para identificar as reais integrações entre esses modos se dá na etapa seguinte.

3.3.2. Etapa 2: identificação das integrações bicicleta-ônibus

Na definição de critérios para identificar viagens integradas, foram diferenciadas as integrações em acesso ao transporte público das integrações em difusão. Para as integrações em acesso, considerou-se 30 minutos como o tempo máximo entre o horário de devolução da bicicleta e de embarque no ônibus. Esse intervalo considera o tempo de caminhada entre a estação de bicicleta compartilhada e a plataforma de embarque ou ponto de parada de ônibus, assim como o tempo de espera pelo ônibus. Como as validações do BU ocorrem somente no embarque no ônibus, então não é possível conhecer o horário em que o usuário desembarca do veículo. Por isso, buscou-se estabelecer um critério para as integrações em difusão que iniciasse na validação no ônibus e incorporasse o momento de empréstimo de bicicleta, contemplando assim o tempo de viagem dentro do ônibus e o tempo de caminhada entre a parada final de ônibus e a estação de bicicletas compartilhadas. Adotou-se, para esse intervalo, o limite máximo de duas horas, justificado por ser o tempo máximo de integração tarifária (gratuita) com o BU, contemplando assim a maior parcela das viagens de ônibus dentro de Fortaleza.

Na reconstrução das integrações entre bicicleta e ônibus, foram identificadas situações em que a viagem integrada ao transporte público envolveu o uso de mais de uma linha de ônibus no intervalo de duas horas (período de integração tarifária com o BU). Merece atenção o caso particular em que o uso da bicicleta ocorre entre duas viagens de ônibus, pois, nessa situação, considerou-se como possíveis duas integrações, uma de difusão e outra de acesso; nos demais casos só uma integração foi contabilizada, conforme mostrado na Figura 4.



Figura 4. Método proposto para identificação das integrações bicicleta-ônibus.

Por fim, buscou-se localizar espacialmente o segmento de caminhada do usuário entre a estação de empréstimo da bicicleta compartilhada e a parada de ônibus utilizada para o seu embarque ou desembarque, já que se conhece a linha utilizada pelo usuário nos dados do BU mas não se sabe em qual parada ele entrou ou saiu do veículo. Assim, partindo da premissa de que o usuário conhece a localização das paradas e estações que poderia utilizar, e que ele as escolhe de tal forma que caminhe o mínimo possível, a parada utilizada foi definida como aquela que pertence a linha de ônibus utilizada e possui a menor distância até a estação de bicicleta compartilhada utilizada na integração. Como em Fortaleza, a malha viária é em grande parte quadriculada, então foi utilizada a distância euclidiana ao invés de distância na rede, dado que nestas condições de malha uma torna-se proxy da outra.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS INTEGRAÇÕES EM FORTALEZA

Na aplicação do método proposto para as análises de caracterização das viagens integradas entre bicicleta compartilhada e ônibus em Fortaleza, optou-se por utilizar o software gratuito

Pentaho Data Integration (PDI), específico para análise de *Big Bata*. Com o PDI, os dados tabulares foram unidos, transformados e carregados em planilhas. Em seguida, também se utilizou o QGIS, um software de Sistema de Informações Geográficas, para os dados que precisavam ser espacializados. Ao longo dos 19 dias úteis do mês de setembro de 2018, foram identificados 46.076 empréstimos válidos do *Bicicletar* e, desses, 3.369 aconteceram de forma integrada, resultando em 7,3% de integração. Ao se analisar o sistema *Bicicleta Integrada*, observou-se 3.314 empréstimos válidos, dos quais 211 aconteceram de forma integrada, o que representa 6,4% de integração. Destaca-se o baixo percentual de integração entre os sistemas de bicicletas compartilhadas da cidade com a rede de transporte público, especialmente quando se reconhece que o *Bicicleta Integrada* foi pensado prioritariamente para a integração com os ônibus nas proximidades dos terminais. A seguir, são apresentadas as análises de caracterização das viagens integradas e a descrição do perfil dos usuários que integram.

4.1. Perfil horário das integrações

Em ambos os sistemas, verifica-se um pico de integrações no fim da tarde, com integrações de difusão superando as de acesso em quase todas as faixas horárias. No período da manhã, observa-se que a maioria das viagens integradas com o *Bicicletar* é de difusão (84%); já no início da noite, entre 18h-20h, os percentuais de acesso e de difusão se aproximam, conforme mostrado na Figura 5. Nas viagens do *Bicicleta Integrada* (Figura 6), há também maior percentual de difusão no período da manhã (69%); enquanto, no período noturno, percebe-se que os percentuais de acesso e de difusão também se equiparam.

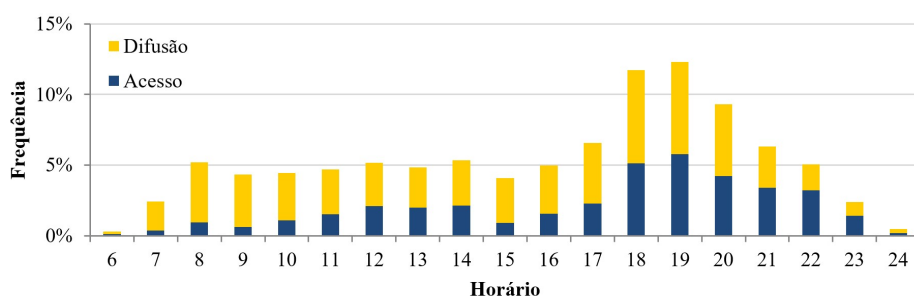


Figura 5. Horários das integrações do *Bicicletar* (acesso e difusão).

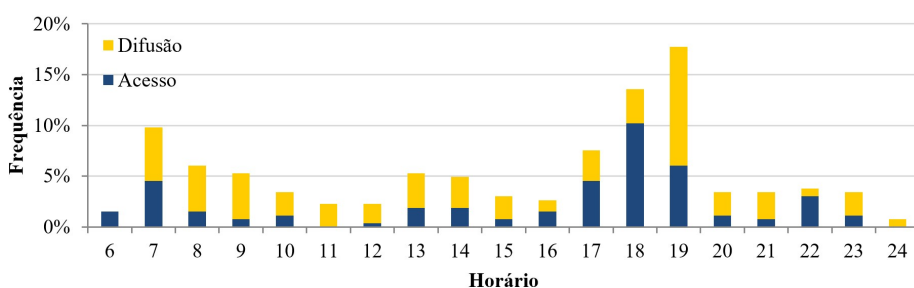


Figura 6. Horários das integrações do *Bicicleta Integrada* (acesso e difusão).

4.2. Intervalos de tempo para integração

No acesso, o tempo de integração analisado neste estudo corresponde ao período entre a devolução da bicicleta e o embarque no ônibus. A Figura 7 revela que, nos dois sistemas,

esse transbordo acontece em pouco tempo, mostrando que o tempo de caminhada e o tempo de espera pelo ônibus são baixos. No *Bicicleta Integrada*, os tempos mais reduzidos de acesso podem ser explicados pela proximidade física com os terminais de integração.

Ao se analisar os tempos de integração na difusão vale ressaltar que, como só há registro de embarques (e não de desembarques), o tempo descrito neste trabalho inclui o tempo dentro do ônibus e o tempo de caminhada entre a parada do ônibus e estação da bicicleta. Observa-se que tais tempos são relativamente elevados, apontando para a ocorrência de segmentos longos de viagem por ônibus, e que há uma tendência de menores tempos na integração com o *Bicicleta Integrada* do que com o *Bicicletar*.

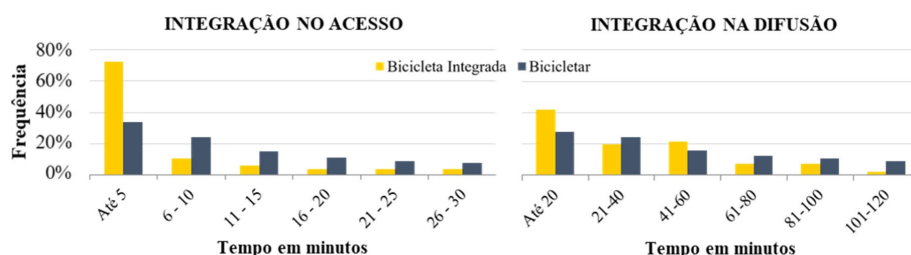


Figura 7. Tempo de integração no acesso e na difusão.

4.3. Distâncias de caminhada entre as estações de bicicleta e as paradas de ônibus

Independentemente de as viagens acontecerem no acesso ou na difusão, os usuários caminham pouco para integrar a bicicleta compartilhada ao ônibus nos dois sistemas. No *Bicicletar*, a média das distâncias euclidianas entre a parada de ônibus e a estação de bicicletas é de cerca de 250 m, com distribuição de frequência mostrada na Figura 8. As distâncias de caminhada em integrações com o *Bicicleta Integrada* são ainda menores visto que as estações estão localizadas no entorno dos terminais de ônibus e a maioria das integrações acontece dentro dos terminais ou nas proximidades deles.

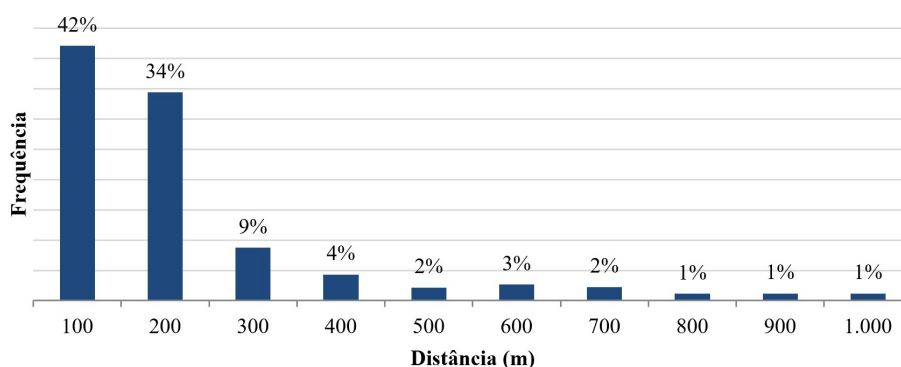


Figura 8. Distâncias de caminhada entre as estações do *Bicicletar* e as paradas de ônibus.

Observando-se a distribuição espacial das integrações do *Bicicletar*, constata-se que cerca de 30% dessas acontecem em apenas seis das suas 80 estações, localizadas em três áreas no entorno da região central da cidade com grande concentração de integrações ônibus-ônibus, o que corrobora com a diminuição das distâncias de caminhada. Nas demais estações há poucas integrações, com mais da metade delas apresentando menos de 1% do total.

4.4. Características dos usuários que integram

Em relação à frequência com que os usuários utilizam a bicicleta compartilhada na integração com os ônibus, a maioria deles faz uso ocasional. Em 19 dias úteis analisados, 54% dos usuários do *Bicicletar* realizaram somente um empréstimo integrado, 37% realizaram entre dois e cinco empréstimos, e menos de 1% realizaram 19 ou mais empréstimos integrados, que seria o equivalente a pelo menos um por dia. Quanto ao *Bicicleta Integrada*, cerca de metade dos usuários observados realizou somente um empréstimo integrado, 29% realizaram dois e nenhum usuário realizou o equivalente a um empréstimo integrado por dia. A baixa frequência dos usuários pode decorrer das limitações de capacidade das estações, especialmente no caso do *Bicicleta Integrada*, em que a rotatividade é consideravelmente menor, dado o maior período de empréstimo das bicicletas.

Ao se analisar o perfil dos usuários que realizam viagens integradas, percebeu-se que a maioria é do gênero masculino (63% no *Bicicletar* e 69% no *Bicicleta Integrada*), mas que os usuários dos dois sistemas se distinguem em relação à ocupação: 85% dos usuários do *Bicicletar* são estudantes; no *Bicicleta Integrada* esse percentual cai para 44%. Em relação à idade desses usuários, a distribuição também varia entre os dois sistemas. Como mostrado na Figura 9, os usuários que integram com o *Bicicletar* são mais jovens, embora em ambos os sistemas haja uma predominância de usuários de até 40 anos (93% no *Bicicletar* e 69% no *Bicicleta Integrada*).

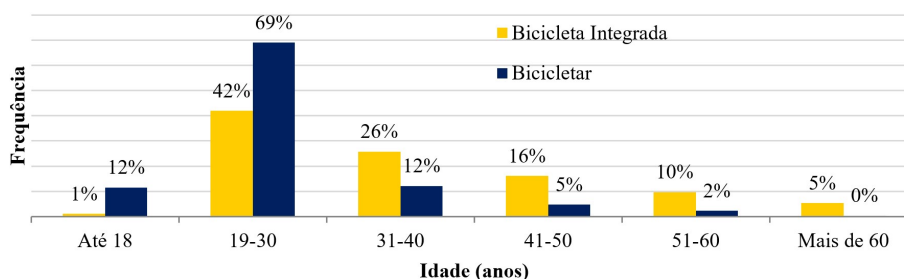


Figura 9. Distribuição etária dos usuários que integram.

Visando compreender com maior detalhamento a localização dos domicílios dos usuários, utilizou-se a ferramenta *Geocoding API* do Google que realiza uma estimativa das coordenadas geográficas dos domicílios a partir dos endereços cadastrados no banco de dados. Os endereços georreferenciados são evidenciados na Figura 10, podendo-se observar que os usuários que integram utilizando o *Bicicletar* têm domicílios dispersos por toda a cidade, enquanto os usuários do *Bicicleta Integrada* residem mais nas regiões periféricas próximas aos terminais - com a ressalva de que a estação de Messejana (estação mais a sudeste) estava em manutenção (fora de operação) no período analisado. Vale ainda destacar que, embora as estações do *Bicicletar* estejam basicamente concentradas na região central de Fortaleza, seu alcance é ampliado para toda a cidade a partir do uso integrado com o transporte público.

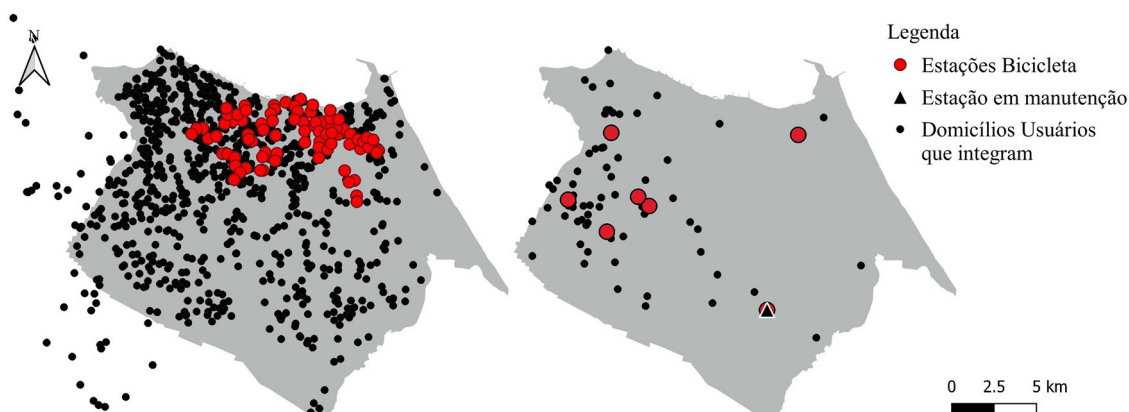


Figura 10. Localização das residências dos usuários que realizam integração utilizando *Bicicletar* (a) e o *Bicicleta Integrada* (b).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, buscou-se utilizar *big data* relativo à operação dos sistemas de transporte público por ônibus de Fortaleza (SITFOR) e de compartilhamento de bicicletas (*Bicicletar* e *Bicicleta Integrada*) para caracterizar e melhor compreender esse fenômeno recente, e em expansão na cidade, de realização de viagens integradas entre bicicletas compartilhadas e ônibus. Tal esforço só foi possível devido à existência de um meio físico comum, o cartão Bilhete Único, que permite acesso aos sistemas estudados e cuja utilização é registrada pelos diversos operadores envolvidos. O método proposto para identificar e descrever as viagens integradas, exclusivamente a partir do *big data* produzido nos três sistemas, buscou se adequar às particularidades de operação de cada sistema e da estruturação dos seus bancos de dados, mostrando-se eficaz na obtenção de informações que permitissem caracterizar adequadamente os principais aspectos do fenômeno de interesse.

Como esse fenômeno da integração bicicleta-ônibus ainda é pouco expressivo na matriz modal dos deslocamentos realizados diariamente em Fortaleza, o método utilizado mostrou-se vantajoso por permitir a análise de um conjunto de dados com larga representatividade, que demandaria elevados recursos para ser obtido por meios tradicionais de levantamento de dados em campo. Por outro lado, reconhece-se que há limitações nas informações que podem ser obtidas a partir do *big data*. A principal delas decorre do fato de que os registros de deslocamentos nos ônibus ocorrem apenas no momento do embarque dos passageiros, o que dificulta a caracterização completa dos padrões de viagem dos usuários, em particular suas origens e destinos. Outras limitações resultam da ocorrência de transbordos não rastreáveis pelos dados operacionais, especialmente aqueles dentro dos terminais de integração.

O potencial do uso integrado da bicicleta em melhorar a acessibilidade do transporte público, beneficiando principalmente os segmentos da população mais dependente desse modo, justifica a necessidade de explorar com maior profundidade esse fenômeno. Recomenda-se que sejam realizadas novas análises sobre os níveis de utilização da integração de bicicletas compartilhadas com os ônibus em Fortaleza assim que se estabilizarem as oscilações na demanda, e consequentes ajustes na oferta do SITFOR, decorrentes do contexto pós-pandêmico. Recomenda-se também ampliar a investigação

das condições de ocorrência dessa integração em outras metrópoles brasileiras, buscando compreender fatores específicos que influenciam na utilização integrada da bicicleta e abordando, sobretudo, aqueles aspectos que o *big data* possui limitações em caracterizar. Tais análises empíricas, que permitam embasar estimativas dos potenciais benefícios da intermodalidade bicicleta-ônibus, são fundamentais na construção de políticas públicas que possam elevar a competitividade do transporte público frente aos modos motorizados individuais e melhorar os níveis de acessibilidade da população de baixa renda.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro por meio de concessão de bolsa de mestrado e doutorado, além da Prefeitura de Fortaleza pela disponibilização dos dados necessários para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Andrade, B.R.; C.F.G. Loureiro; F.F.L.M. Sousa et al. (2020) Efeitos da periferização nos níveis de acessibilidade aos empregos da população de baixa renda em Fortaleza. *Transportes*, v. 28, n. 3, p. 46-60. DOI: 10.14295/transportes.v28i3.1810.
- Andrade, B.R.; G.P.L. Parente e T.B. Costa (2016) Bicicletar: caracterização do sistema de bicicletas compartilhadas de Fortaleza. In Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (org.) *XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes*. Rio de Janeiro: ANPET, p. 1887-1895.
- Boarnet, M.G.; G. Giuliano; Y. Hou et al. (2017) First/last mile transit access as an equity planning issue. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, v. 103, p. 296-310. DOI: 10.1016/j.tra.2017.06.011.
- Costa, T.B. (2019) *Integração Bicicleta - Transporte Público: Barreiras e Oportunidades para a Acessibilidade da População de Baixa Renda em Fortaleza*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/54744> (acesso em 23/06/2023).
- Givoni, M. e P. Rietveld (2007) The access journey to the railway station and its role in passengers' satisfaction with rail travel. *Transport Policy*, v. 14, n. 5, p. 357-365. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.04.004.
- Hegger, R. (2007) Public transport and cycling: living apart or together? *Public Transport International*, v. 56, n. 2, p. 38-41.
- Heinen, E.; B. van Wee e K. Maat (2010) Commuting by bicycle: an overview of the literature. *Transport Reviews*, v. 30, n. 1, p. 59-96. <http://dx.doi.org/10.1080/01441640903187001>.
- IBGE (2021) *Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2021*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama> (acesso em 23/06/2023).
- Jäppinen, S.; T. Toivonen e M. Salonen (2013) Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: an open data approach. *Applied Geography*, v. 43, p. 13-24. DOI: 10.1016/j.apgeog.2013.05.010.
- Kager, R.; L. Bertolini e M. Te Brömmelstroet (2016) Characterisation of and reflections on the synergy of bicycles and public transport. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, v. 85, p. 208-219. DOI: 10.1016/j.tra.2016.01.015.
- Keijer, M.J.N. e P. Rietveld (2000) How do people get to the railway station? The Dutch experience. *Transportation Planning and Technology*, v. 23, n. 3, p. 215-235. DOI: 10.1080/03081060008717650.
- Kitchin, R. (2013) Big data and human geography: opportunities, challenges and risks. *Dialogues in Human Geography*, v. 3, n. 3, p. 262-267. DOI: 10.1177/2043820613513388.
- Krizek, K.J. e E.W. Stonebraker (2010) Bicycling and transit: a marriage unrealized. *Transportation Research Record*, v. 2144, n. 1, p. 161-167. DOI: 10.3141/2144-18.
- Lima, L.S.; C.F.G. Loureiro; F.F.L.M. Sousa et al. (2021) Espraçamento urbano e seus impactos nas desigualdades socioespaciais da acessibilidade ao trabalho em Fortaleza. *Transportes*, v. 29, n. 1, p. 229-246. DOI: 10.14295/transportes.v29i1.2348.
- Ma, X.; Y. Ji; M. Yang et al. (2018) Understanding bikeshare mode as a feeder to metro by isolating metro-bikeshare transfers from smart card data. *Transport Policy*, v. 71, p. 57-69. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.07.008.
- Martens, K. (2004) The bicycle as a feeding mode: experiences from three European countries. *Transportation Research Part D, Transport and Environment*, v. 9, n. 4, p. 281-294. DOI: 10.1016/j.trd.2004.02.005.

- Martens, K. (2007) Promoting bike-and-ride: the Dutch experience. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, v. 41, n. 4, p. 326-338. DOI: 10.1016/j.tra.2006.09.010.
- Pazos, E. (2007) A integração entre bicicletas e transporte público. *Transporte Ciclovitário*, v. 7, p. 32-43.
- Pucher, J. e R. Buehler (2008) Making cycling irresistible: lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews*, v. 28, n. 4, p. 495-528. DOI: 10.1080/01441640701806612.
- Rietveld, P. (2000) The accessibility of railway stations: the role of the bicycle in The Netherlands. *Transportation Research Part D, Transport and Environment*, v. 5, n. 1, p. 71-75. DOI: 10.1016/S1361-9209(99)00019-X.
- Zhao, P. e S. Li (2017) Bicycle-metro integration in a growing city: the determinants of cycling as a transfer mode in metro station areas in Beijing. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, v. 99, p. 46-60. DOI: 10.1016/j.tra.2017.03.003.