

BIG DATA NA CARACTERIZAÇÃO DO USO INTEGRADO DE BICICLETA COMPARTILHADA E ÔNIBUS EM FORTALEZA

Raquel Chaves Costa Lima
Matheus Fontenelle Siqueira

Tais Barreto Costa

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

André Soares Lopes

Universidade de Fortaleza

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Universidade Federal do Ceará

RESUMO

O uso integrado da bicicleta com o transporte público vem despertando o interesse da comunidade acadêmica pelo potencial de melhoria na acessibilidade urbana. Este ganho agrega atratividade ao modo coletivo, beneficiando sobretudo os segmentos sociais economicamente menos favorecidos. Estudos sobre esta temática são mais desenvolvidos e expressivos no contexto europeu e americano, onde se utiliza dados oriundos de pesquisas tradicionais (domiciliares) na caracterização deste fenômeno. Visando superar as limitações inerentes aos métodos convencionais de pesquisa e à baixa ocorrência dessas viagens no Brasil, esse trabalho propõe um método utilizando o *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's interest due to its potential of improving urban accessibility. This advantage adds attractiveness to the public transport, benefiting the economically least favored social segments. Studies on this theme are well developed and more significant in the European and American 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 in 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, 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. Em termos de planejamento urbano, o uso da bicicleta é de interesse já que esse modo demanda baixo investimento em infraestrutura, ocupando apenas uma pequena parcela do espaço demandado por um automóvel. 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 and Buehler, 2008).

Apesar de haver uma atenção significativa da comunidade científica para o uso unimodal da bicicleta, diversos estudos têm surgido recentemente sobre o uso integrado da bicicleta com o

transporte público, como modo de acesso e/ou difusão. O interesse maior por esse tipo de integração reside na possibilidade de mitigar um dos principais problemas do transporte público: a acessibilidade das estações e pontos de parada, já que a bicicleta é consideravelmente mais rápida que a caminhada, aumentando assim a cobertura do sistema e eventualmente atraindo um contingente adicional de 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 favorecer a acessibilidade do transporte público para pessoas da baixa renda que não têm acesso ao automóvel (Boarnet, 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 (Ma *et al.*, 2018; Zhao e Li, 2017; Rietveld, 2000; Keijer e Rietveld, 2000) e os dados provêm de pesquisas de campo com os usuários (Martens, 2007; Martens, 2004; Keijer e Rietveld, 2000). A contribuição deste trabalho reside na utilização de *big data* dos sistemas de bilhetagem dos ônibus e das bicicletas compartilhadas para caracterizar esse fenômeno, por meio da proposição de um método que permita a identificação das viagens integradas entre esses sistemas. Busca-se, ainda, aprofundar o conhecimento sobre a integração bicicleta-ônibus em Fortaleza, escolhida como estudo de caso para a aplicação do método proposto, tendo em vista sua posição de destaque em termos de políticas públicas voltadas para os modos ativos e, em particular, para o uso integrado da bicicleta.

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 (Jäppinen *et al.*, 2016; Hegger, 2007).

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) introduz uma adaptação para países em desenvolvimento da estrutura das viagens integradas bicicleta-transporte público proposta por Kager *et al.* (2016), conforme Figura 1.



Figura 1: Estrutura característica das viagens integradas bicicleta-TP. 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 das mesmas. 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 2,6 milhões de habitantes, e a capital brasileira com maior densidade populacional (quase 8.000 habitantes/km²), segundo o IBGE (2018). Fortaleza se caracteriza, por um lado, 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 de onde as atividades estão concentradas (Andrade, 2016; Lima, 2017), sendo dependente prioritariamente do sistema de transporte público. Por outro lado, 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 três que se referem particularmente ao modo cicloviário. Primeiramente, houve uma expansão da rede cicloviária, que saltou de 68 km para 258 km nos últimos seis anos, 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 80 estações, sendo um dos sistemas com maior taxa de empréstimos por bicicleta no Brasil. 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 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. O posicionamento das estações favorece o uso integrado das bicicletas compartilhadas com o transporte público. Nas periferias, o *Bicicleta Integrada* favorece 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, 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.

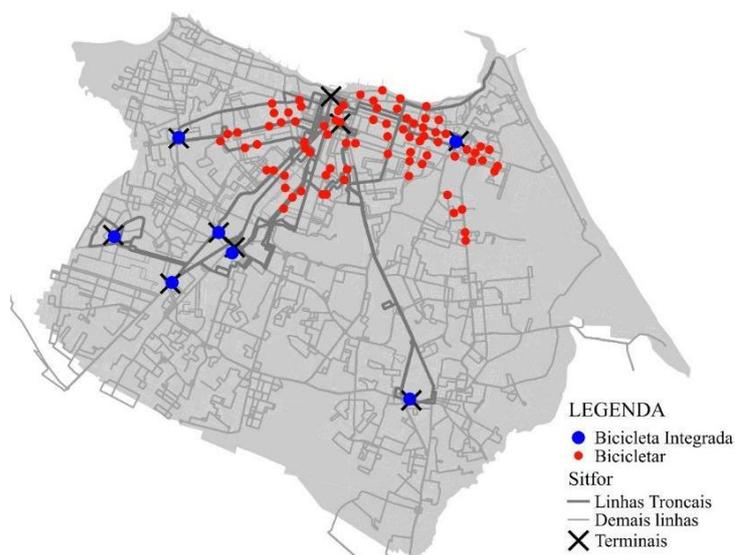


Figura 2: Disposição das estações de bicicleta compartilhada e das linhas de ônibus.

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 através da 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 conterem um volume de dados elevado, sendo preenchidos diariamente com uma elevada carga de registros, por serem exaustivos, contendo

a quase-totalidade dos dados populacionais, e por serem relacionais, permitindo o cruzamento de informações de diferentes conjuntos de dados (Kitchin, 2013).

Os dados operacionais do transporte público (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 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. Entretanto, a maior parcela das viagens ocorre com uso do BU, visto que este permite integrações abertas no sistema (embarques ilimitados) em um período de 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, visto que se tratam de sistemas independentes; entretanto suas estruturas são semelhantes, sendo ilustradas na Tabela 3. O sistema 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 mensais ou anuais. Por ser pago, o uso de aplicativos corresponde à menor parcela de utilização do sistema, 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/A	App	40	15/05/2018 05:15:38	42	15/05/2018 05:36:56

Neste trabalho, utilizou-se os dados do mês de setembro de 2018. 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 fundamental 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.

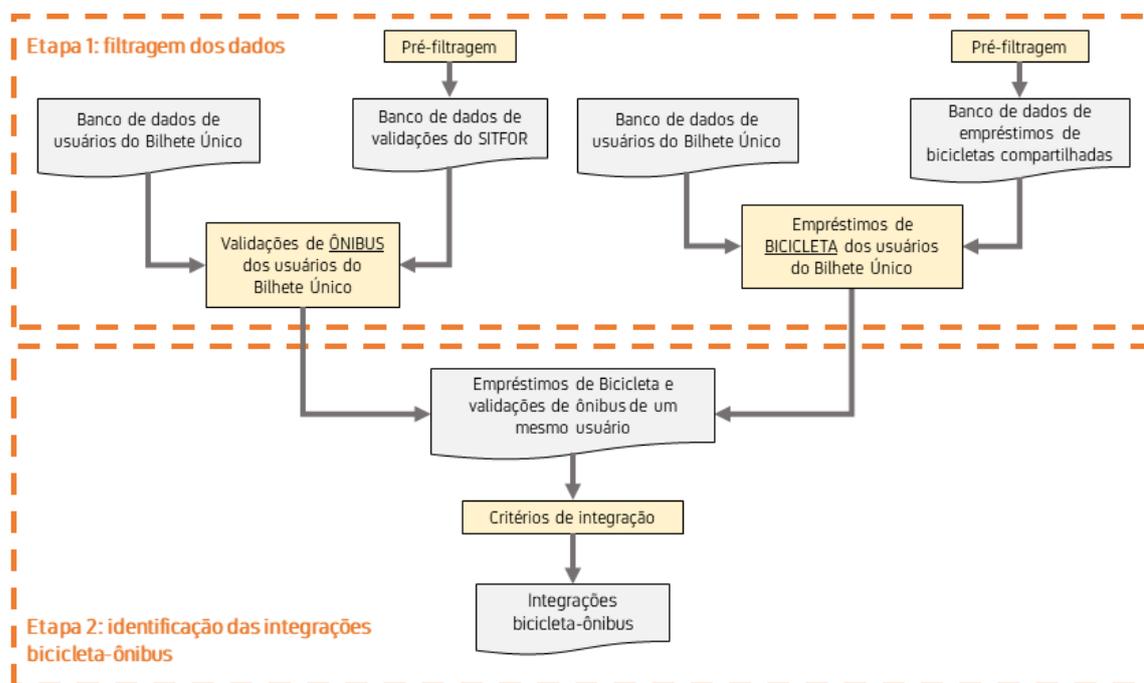


Figura 3: Método proposto para identificação das integrações bicicleta-ônibus.

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. 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. Porém 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, visto que 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 inicialmente 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. Para as integrações em difusão, percebe-se um conjunto de dificuldades adicionais na definição destes critérios. Como foi discutido anteriormente, as validações do BU ocorrem somente no momento de embarque no ônibus, de modo que não é possível conhecer o horário em que o usuário desembarca do ônibus. Por isso, buscou-se estabelecer um critério que relacionasse o horário de embarque no ônibus ao posterior horário 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, identificou-se ainda 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.

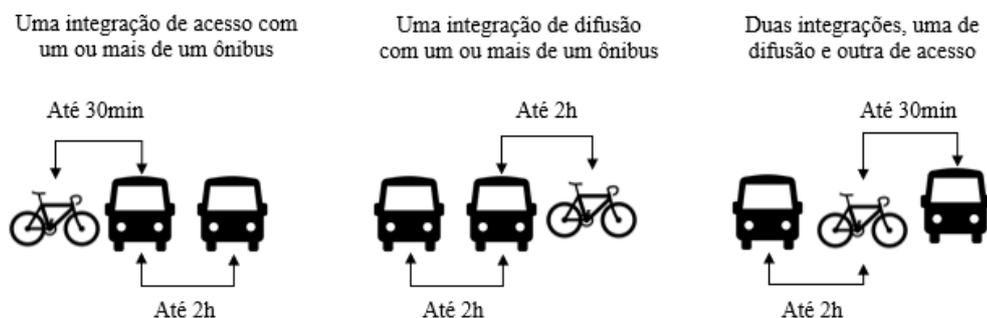


Figura 4: Método proposto para identificação das integrações bicicleta-ônibus.

Por fim, buscou-se identificar 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/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 ele poderia utilizar, e escolhe as que o farão caminhar menos, calculou-se a distância da estação de bicicleta compartilhada utilizada na integração a todas as paradas da linha de ônibus que o usuário utilizou, definindo-se como a parada utilizada aquela que tiver a menor distância euclidiana.

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*. Os dados tabulares foram unidos, transformados e carregados em planilhas com o PDI, utilizando-se também o QGIS, um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG), 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. O baixo percentual de integração nos dois sistemas chama a atenção, 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 inicialmente as análises de caracterização das viagens integradas, para então se descrever o 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, entre 5h-10h, observa-se que a maioria das viagens integradas com o *Bicicletar* é de difusão (84%); já no início da noite, entre 16h-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%); de noite, percebe-se que os percentuais de acesso e de difusão também se equiparam. Esse comportamento reforça, por um lado, a hipótese de que o sistema *Bicicletar* favorece o uso da bicicleta no segmento final da viagem, por suas estações estarem situadas próximas às atividades, o que é evidenciado pela maior quantidade de difusões pela manhã. Por outro lado, esperava-se que o *Bicicleta Integrada*, com estações localizadas nos bairros periféricos, concentrasse os acessos na manhã. O comportamento oposto observado pode ser explicado pela utilização desse sistema para viagens não-compulsórias (compras, lazer, etc.), cujo padrão de deslocamento não seria direcionado para a área central da cidade.

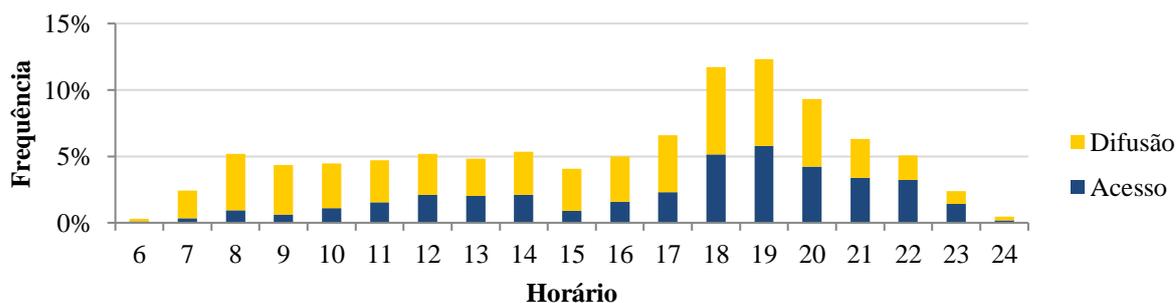


Figura 5: Horários das integrações do *Bicicletar* (acesso e difusão).

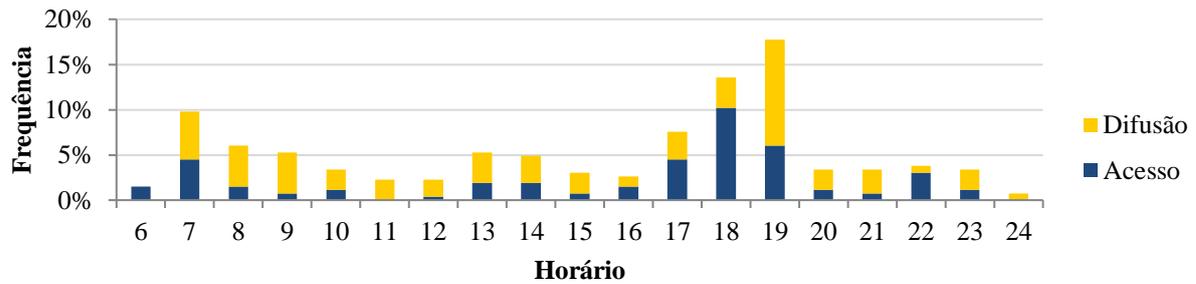


Figura 6: Horários das integrações do *Bicicleta Integrada* (acesso e difusão).

4.2. Intervalos de tempo para integração

No acesso, o tempo de integração observado 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 tanto o tempo de caminhada, como 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), esse tempo 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*.

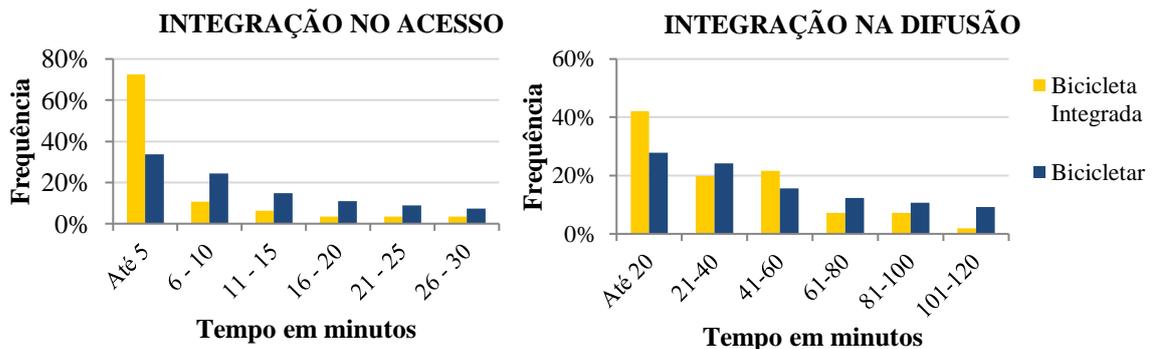


Figura 7: Tempo de integração no acesso e na difusão.

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.

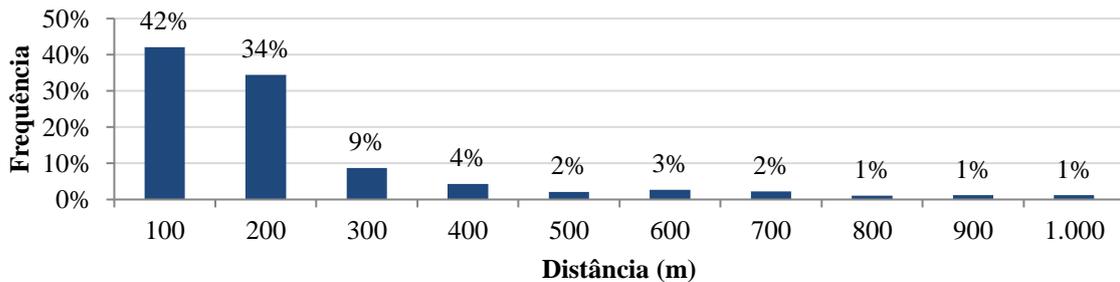


Figura 8: Distâncias de caminhada entre as estações do *Bicicletar* e as paradas de ônibus.

Observando-se a distribuição espacial das integrações do *Bicicletar*, constata-se que cerca de 30% destas 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% cada uma.

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, 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*).

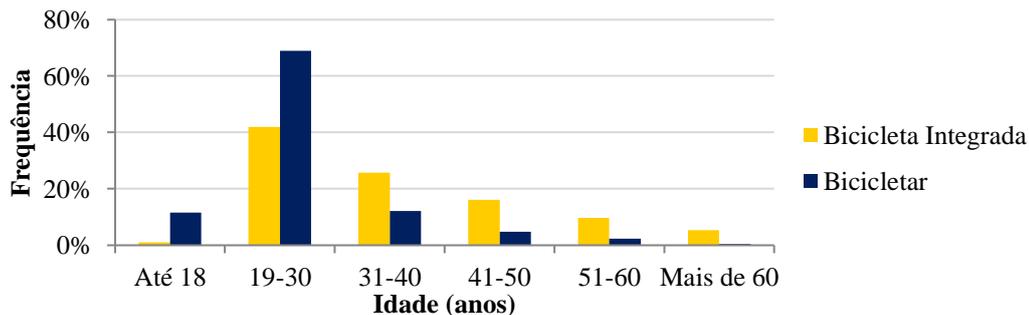


Figura 9: Distribuição etária dos usuários que integram.

Visando compreender com maior profundidade a procedência dos usuários que integram, utilizou-se a ferramenta *Geocoding API* do Google que permite estimar a localização geográfica dos domicílios dos usuários, 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* tem 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.

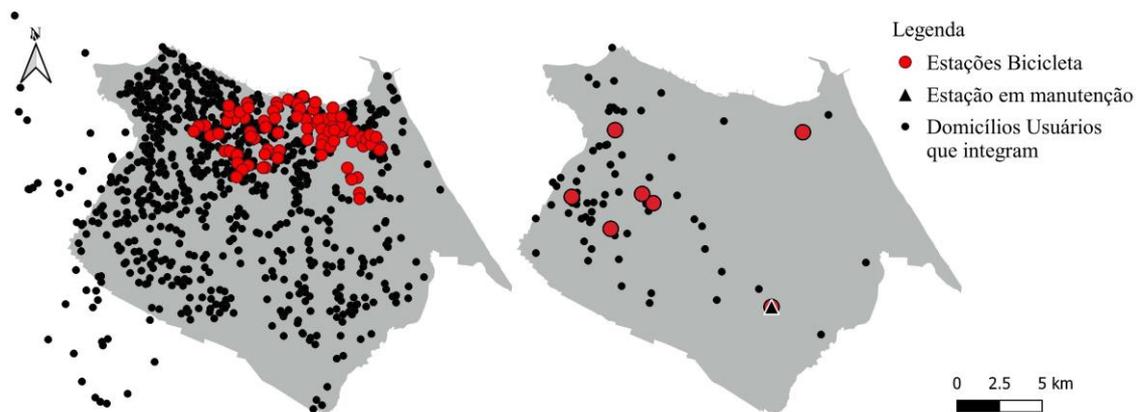


Figura 10: Localização das residências dos usuários que realizam integração utilizando *Bicicletar* (à esquerda) e o *Bicicleta Integrada* (à direita).

5. CONCLUSÕES

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 bicicleta 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 dependentes desse modo, justifica a necessidade de explorar com maior profundidade esse fenômeno. Recomenda-se ampliar a investigação das condições de ocorrência dessa integração nas grandes cidades brasileiras, buscando compreender os fatores que influenciam na utilização integrada da bicicleta e abordando, sobretudo, aqueles aspectos que o *big data* possui limitações em caracterizar. Tais informações 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) pelo apoio financeiro por meio de concessão de bolsa de mestrado e à Prefeitura de Fortaleza pela disponibilização dos dados necessários para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, B. R. (2016) *Compreensão da problemática da periferização por segregação involuntária no planejamento da acessibilidade e mobilidade em Fortaleza*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- Andrade, B.R.; Parente, G.P.L.; Costa, T.B. (2016) Bicicletar: Caracterização do Sistema de Bicicletas compartilhadas de Fortaleza. *XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes, ANPET*. Rio de Janeiro, RJ, p. 1887-1895.
- Boarnet, M.G. et al. (2017). First/last mile transit access as an equity planning issue. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, V. 103, pp. 296-310.
- Costa, T. B. (2019). *Integração Bicicleta – Transporte Público: Barreiras e Oportunidades para a Acessibilidade da População de Baixa Renda em Fortaleza*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- Givoni, M. e Rietveld, P. (2007) The Access Journey to the Railway Station and Its Role in Passengers' Satisfaction with Rail Travel. *Transport Policy*, Vol. 14, p. 357–365.
- Hegger, R. (2007). Public transport and cycling: living apart or together?. *Public Transport International*, 56(2).
- Heinen, E., van Wee, B., e Maat, K. (2010) Commuting by bicycle: An overview of the literature. *Transport Reviews*, 30(1), 59–96.
- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2018. Rio de Janeiro, 2018.
- Jäppinen, S., Toivonen, T., & Salonen, M. (2013). Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied Geography*, 43, 13-24.
- Kager, R.; Bertolini, L.; Te brömmelstroet, M. (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.
- Keijer, M. J. N., e Rietveld, P. (2000) How do people get to the railway station? The dutch experience. *Transportation Planning and Technology*, 23(3), 215–235.
- Kitchin, Rob (2013). Big data and human geography Opportunities, challenges and risks. *Dialogues in Human Geography*, V.3, n.3, p. 262–267.
- Krizek, K. J. e Stonebraker E. W. (2010) Bicycling and Transit. A Marriage Unrealized. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, V. 2144 p. 161-167.
- Lima, L. S. (2017) *Espraiamento urbano por autossegregação e seus impactos na acessibilidade urbana de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- Martens, K. (2004) The bicycle as a feeding mode: Experiences from three European countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, V.9 p. 281-294.
- Martens, K. (2007) Promoting bike-and-ride: The Dutch experience. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(4), 326–338.
- Ma, X., Ji, Y., Yang, M., Jin, Y., e Tan, X. (2018) Understanding bikeshare mode as a feeder to metro by isolating metro- bikeshare transfers from smart card data. *Transport Policy*, 71(August 2017), 57–69.
- Pazos, E. (2007) A integração entre bicicletas e transporte público. *Cadernos Técnicos –Transporte Cicloviário. ANTP*, São Paulo. V. 7, p. 32-43.

- Pucher, J., Buehler, R., 2008. Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews* V.28, n.4, p. 495–528.
- Rietveld, P., 2000. The accessibility of railway stations: The role of the bicycle in The Netherlands. *Transportation Research Part D*. V.5, n.1, p. 71–75.
- Zhao, P., e Li, S. (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*, 99, 46–60.

Raquel Chaves Costa Lima (raquelcl@gmail.com), Matheus Fontenelle Siqueira (matheusfsiqueira@gmail.com), Tais Barreto Costa (taiscosta@gmail.com), André Soares Lopes (soareslopes@gmail.com), Carlos Felipe Grangeiro Loureiro (felipe@det.ufc.br)
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703, CEP 60440-900 – Fortaleza, CE – Fone/Fax: (85) 3366 9488