

USO DOS DADOS DE TELEFONIA PARA O PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Matheus Henrique Cunha Barboza

Juliana Gonçalves da Silva Ferreira

Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

RESUMO

No intuito de contribuir com o avanço do uso de dados passivos para o planejamento de transportes em substituição às caras pesquisas tradicionais, este artigo faz uma revisão dos trabalhos que já utilizaram os dados de cobrança das operadoras de telefonia, comparando as abordagens adotadas por cada trabalho em relação ao modelo de planejamento tradicional. Por fim, identifica os próximos passos a serem dados na área e as dificuldades específicas para o Brasil, resultantes da ausência de informações sobre os padrões de viagem da população.

ABSTRACT

In order to contribute to the advance of the use of passive data for transport planning, replacing the expensive traditional surveys, this article reviews the work that has already used the billing data of the cell phone carriers, comparing the approaches adopted by each study in relation to the traditional planning model. Finally, it identifies the next steps to be taken in the area and the specific difficulties for Brazil, resulting from the lack of information about the population's travel patterns.

1. INTRODUÇÃO

Dada a necessidade de planejamento dos transportes gerada pelo crescimento da demanda de viagens, o surgimento de um grande volume de informações sobre as posições das pessoas permite uma grande redução no valor gasto pelos planejadores, uma vez que reduz a necessidade de grande dispêndio para entrevistar as pessoas sobre como elas se locomovem.

Com o propósito de contribuir para a consolidação do conhecimento sobre a forma como o uso dos dados de telefonia pode ajudar no planejamento de transportes, o artigo apresentará uma análise da forma como os trabalhos mais recentes na matéria abordam a utilização dos dados gerados pelo registro de chamadas telefônicas - *Call Detail Records* (CDR) - em algumas das principais atividades do modelo de gestão da demanda, quais sejam: a elaboração de matrizes origem-destino, a divisão modal e a alocação de viagens.

Revisões que abordam o uso de dados de telefonia para a análise da demanda de transportes foram publicadas nos últimos anos (Barbosa-filho *et al.*, 2017; Blondel *et al.*, 2015; Z. Wang *et al.*, 2018), porém trabalham com uma visão bem mais geral, incluindo outras fontes de informação, como GPS ou dados geolocalizados de navegação na internet, e outros usos, como análise do transporte entre cidades ou modelos de migração populacional, sem entrar nos detalhes das etapas necessárias para utilização dos dados de telefonia na área de transportes. Barbosa-filho *et al.* (2017), ao abordar o uso da informação do CDR, limitam-se aos trabalhos que estudam as viagens casa-trabalho, dando alguns exemplos de bons trabalhos, mas sem críticas a eles. Blondel *et al.* (2015b) fazem um resumo dos avanços recentes no estudo dos dados providos pela telefonia móvel, não limitados à área de planejamento de transportes, mas apenas listam alguns trabalhos sem contrapor os métodos por eles empregados. Z. Wang *et al.* (2018) abordam o uso dos diferentes dados oriundos de telefones para a pesquisa no comportamento de viagens, tanto individualmente, quando num nível maior.

Com o intuito de gerar uma revisão bibliográfica aprofundada no uso dos dados de CDR para

o planejamento de transportes, o trabalho será apresentado nos próximos quatro capítulos. No segundo, será apresentada a metodologia adotada para elaboração da revisão bibliográfica. No terceiro, propõe-se uma análise bibliométrica para identificação dos mais importantes autores, revistas e trabalhos. No quarto, será feita uma análise sistêmica nas etapas realizadas pelos principais trabalhos selecionados, comparando como cada trabalho lida com cada etapa e mostrando até que etapa cada trabalho chega. Esse capítulo trata da forma como os principais trabalhos selecionados lidam com cada atividade do planejamento de transportes mostrando as possíveis mudanças e seu alcance no contexto geral.

Por fim, no quinto capítulo, o trabalho apresentará uma visão geral das metodologias predominantemente utilizadas, apontando quais as mais adequadas, e as oportunidades para o desenvolvimento de novos métodos, a partir de uma análise crítica das soluções adotadas para cada etapa.

2. METODOLOGIA

Para entendimento do estado da arte do uso dos dados de CDR para o planejamento de transportes, foi adotado o procedimento exposto na Figura 1.

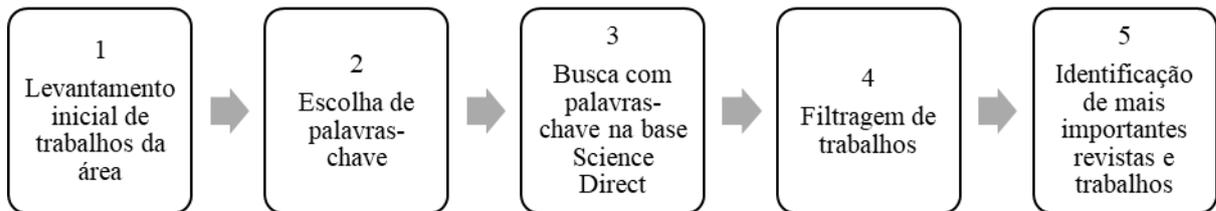


Figura 1: Fluxo da revisão bibliométrica adotada

A identificação dos trabalhos mais relevantes na área partiu de uma base inicial de 38 trabalhos previamente conhecidos, conforme etapa 1 da Figura 1. Na etapa 2, esses trabalhos mostraram que as palavras-chave mais relevantes se concentram nos dois tipos exibidos na Tabela 1, tecnologia (ligados ao fato de a fonte de informação ser da telefonia móvel) e transporte (decorrentes do uso dos dados para a área). Dentro de cada tipo, foram listados grupos de palavras-chave semelhantes; CDR, "Call detail records" e "Call data records", por exemplo, foram agrupadas no grupo *Call detail records*.

Tabela 1: Grupos de palavras-chave destacadas na pesquisa inicial

Tipo	Grupo
Tecnologia	<i>Call detail records</i>
	<i>Cellular network data</i>
	<i>Mobile phone</i>
Transporte	<i>Mobility</i>
	<i>Origin-destination</i>
	<i>Transport planning</i>

A busca foi feita então de forma a exigir que os dois tipos aparecessem, com o seguinte termo:

(CDR OR "Call detail record" OR "Call data record" OR "Cellular network data" OR "smart phone" OR "Mobile phone") AND (mobility OR "human dynamics" OR "Transportation planning" OR "transport planning" OR "Origin destination").

Nesse operador utilizado para a busca, o termo “OR” é um booleano correspondente ao operador “ou”, retornando verdadeiro caso qualquer um dos lados seja verdadeiro, enquanto “AND” equivale à condição “e”, retornando verdadeiro apenas se ambos os lados forem verdadeiros.

Utilizando a base Science Direct e limitando os resultados a artigos, a busca realizada na etapa 3 gerou 190 trabalhos. Destes, foram removidos na etapa 4 os que não se encaixavam no tema proposto ou que eram de revisão, através de uma leitura do título e do resumo de cada trabalho, restando 32 artigos. A esses, foram adicionados os trabalhos que haviam sido levantados anteriormente e não apareceram na busca, resultando em um total de 49 artigos e 1 tese de doutorado.

3. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Aos 32 trabalhos considerados relevantes para a este trabalho, foram adicionados os já levantados anteriormente e que não foram encontrados na nova busca, totalizando 50 trabalhos distribuídos conforme gráfico da Figura 2.

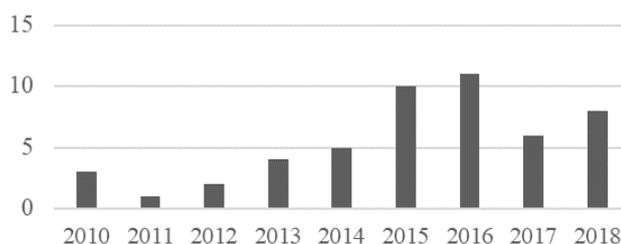


Figura 2: Número de publicações selecionadas por ano

A avaliação da distribuição dos trabalhos quanto à revista em que foram publicados, levantou 27 revistas no total, com grande importância ao periódico “*Transportation Research Part C: Emerging Technologies*”, que concentra 18,8% das publicações levantadas. A Tabela 2 mostra a quantidade de trabalhos selecionados para os periódicos que tiveram mais de 1 trabalho selecionado.

Tabela 2: Número de publicações selecionadas por Revista

Revista	Quantidade	Parcela no total
<i>Transportation Research Part C: Emerging Technologies</i>	9	18,8%
<i>Computer Communications</i>	5	10,4%
<i>Transportation Research Procedia</i>	5	10,4%
<i>EPJ Data Science</i>	2	4,2%
<i>Journal of Transport Geography</i>	2	4,2%
<i>Journal of Urban Technology</i>	2	4,2%
<i>Pervasive and Mobile Computing</i>	2	4,2%
<i>Physica A: Statistical Mechanics and its Applications</i>	2	4,2%

Avaliando os trabalhos levantados quanto aos autores, foram identificados 193 diferentes, tendo 174 desses apenas uma publicação e 12 autores apenas duas. Os autores com mais de duas publicações são destacados na Figura 3 a seguir.

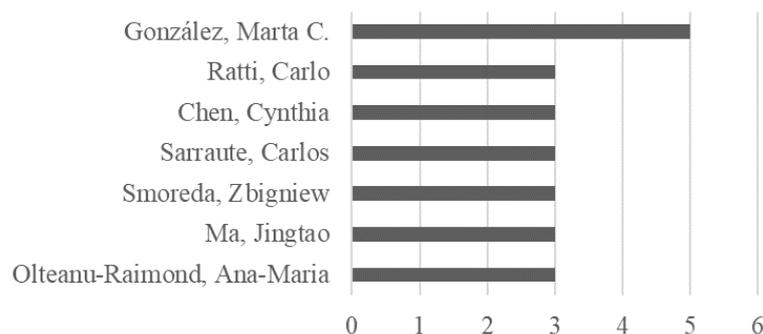


Figura 3: Número de publicações dos autores mais destacados

Também foi avaliada quantidade de citações de cada trabalho, tanto em número absoluto quanto em relação à média anual. Para tal, foi considerado o número de citações indicado pelo Google Acadêmico, com resultados mostrados na Tabela 3. Destaca-se que González não só tem o maior número de publicações, é também uma das autoras de 4 dos 10 trabalhos com mais citações anuais.

Tabela 3: Produtividade das citações

Referência	Citações		Ranking baseado em	
	total	por ano	total	por ano
(Blondel <i>et al.</i> , 2015)	194	49	3	1
(Calabrese <i>et al.</i> , 2013)	220	37	2	2
(Alexander <i>et al.</i> , 2015)	143	36	8	3
(Iqbal <i>et al.</i> , 2014)	175	35	5	4
(P. Wang <i>et al.</i> , 2012)	227	32	1	5
(Toole <i>et al.</i> , 2015)	100	25	11	6
(Ahas <i>et al.</i> , 2010)	192	21	4	7
(Csáji <i>et al.</i> , 2013)	123	21	9	8
(Çolak <i>et al.</i> , 2015)	77	19	14	9
(Järv <i>et al.</i> , 2014)	95	19	12	10
(Sevtsuk e Ratti, 2010)	166	18	6	11
(Chen <i>et al.</i> , 2016)	53	18	17	12
(Hoteit <i>et al.</i> , 2014)	87	17	13	13
(Ibrahima <i>et al.</i> , 2010)	153	17	7	14
(Kang <i>et al.</i> , 2012)	111	16	10	15
(Lenormand <i>et al.</i> , 2014)	61	12	15	16
(Chen <i>et al.</i> , 2014)	51	10	18	17
(Z. Wang <i>et al.</i> , 2018)	10	10	25	18
(Trasarti <i>et al.</i> , 2015)	38	10	19	19

A avaliação das palavras-chave mais adotadas foi a última etapa da análise bibliométrica e mostrou o mesmo padrão dos artigos utilizados como base para pesquisa, com as palavras-chave divididas em dois grupos: tecnologia e transportes. Neste aparecem *Human mobility* (7), *Mobility patterns* (4) e *Mobility* (3), enquanto naquele se destacam *Mobile phone data* (9), *Big data* (7), *Call detail records* (6), *Data mining* (4) e *Mobile phone* (3).

4. ANÁLISE SISTEMÁTICA

Dentre os trabalhos levantados na revisão bibliométrica, foi feita uma revisão sistêmica dos seis

com mais citações por ano. Para tal, foram listadas características dos dados de entrada e os passos realizados pelos trabalhos selecionados, conforme um fluxo geral mostrado na Figura 4. Alguns trabalhos realizam passos diferentes para chegar ao mesmo objetivo, como no caso do passo 4, de alocação, que pode ser feita pelos subpassos 4.1 a 4.4, ou pelo subpasso 4.5.

A etapa 1, de elaboração da matriz diária, tem por objetivo gerar uma matriz O-D, sendo cada zona denominada partição geográfica. A utilização dos dados de telefonia para esse propósito demanda algumas filtragens dos dados como a remoção de pontos de passagem (etapa 1.1) – já que esses não indicam viagens terminadas –, remoção de usuários raros (etapa 1.5) – porque o baixo número de dados não permite identificação de padrões – e remoção de usuários com muitos dados (etapa 1.6) – pois esse comportamento indica que o aparelho celular utilizado não pertence a uma pessoa, mas provavelmente a algum estabelecimento comercial. A etapa 1.2, determinação de pontos importantes, serve para consolidação de dados referentes a um único local, mas que devido à imprecisão das antenas é registrado em locais próximos.

Para que o conjunto de todas as viagens realizadas em uma região possa ser representado pelo conjunto de usuários com deslocamento captados pelos dados de telefonia, é necessário expandir este conjunto e isso é na maior parte das vezes feito através da identificação da zona de domicílio de cada usuário na etapa 1.3 e da adoção de um fator expansão para cada usuário de modo a que esse represente todos a população daquela zona, na etapa 1.7. Para classificação das viagens realizadas e posteriores análises específicas, o subpasso 1.4 identifica o local de trabalho de cada usuário.

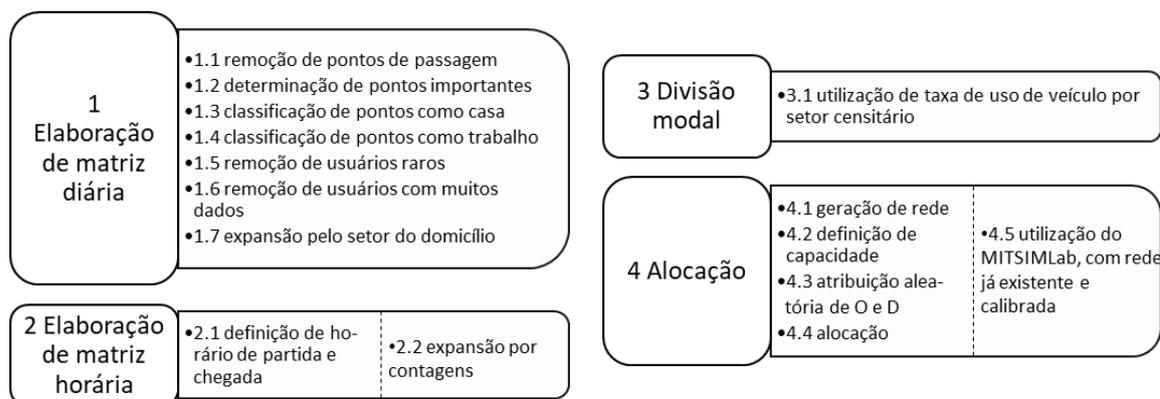


Figura 4: Passos avaliados em cada trabalho

A etapa 2 esmiúça a matriz diária em diferentes períodos, passo importante para o planejamento de transportes, que costuma trabalhar com matrizes na hora pico. A dificuldade nessa etapa está no fato de as ligações não corresponderem aos instantes de partida ou chegada nos locais, sendo necessário buscar alguma forma de suprir essas informações. No subpasso 2.1, as soluções adotadas se dividem entre gerar horários aleatórios com base na distribuição de horários encontrados em outras fontes ou utilizar os horários das interações com as antenas, mas considerando apenas viagens curtas na matriz. Iqbal *et al.* (2014) adotam essa estratégia, mas diferem dos outros trabalhos por não gerarem matrizes diárias e não realizarem expansão com uso dos dados censitários. São geradas matrizes de certos intervalos de tempo por meio da expansão das viagens, captadas com os dados de telefonia, para o total de viagens captadas em contagens veiculares. Dessa forma, o trabalho também resolve o passo 3, de divisão modal. Os outros trabalhos, para determinar quais viagens captadas eram realizadas por automóvel,

utilizaram a informação de taxa de uso de automóvel em cada setor censitário.

Por fim, no passo 4, de alocação, Iqbal *et al.* (2014) usam o MITSIMLab alimentado por uma rede já existente anteriormente e calibrada, não detalhando as etapas adotadas para chegar nesse produto. Os outros trabalhos, por outro lado, definem a capacidade dos trechos no subpasso 4.2, de uma rede obtida no subpasso 4.1. Em 4.3, a matriz é atribuída à rede, sendo distribuída aleatoriamente entre os nós contidos na zona, e em 4.4 ocorre a alocação incremental com busca do menor caminho através do algoritmo de Dijkstra e tempo de retardo dado pela Equação (1).

$$t = t_0 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(\frac{V}{C} \right)^\beta \right) \quad (1)$$

em que: t: tempo de percurso;
t₀: tempo de percurso em fluxo livre;
V: volume alocado;
C: capacidade;
α e β: parâmetros.

Condicionantes para a metodologia aplicada em cada trabalho, os dados de telefonia disponíveis em cada um dos trabalhos são apresentados na Tabela 4. A localização dada por triangulação, por exemplo, é superior à dada pela torre de cobertura, possuindo maior precisão na determinação do usuário. Outro ganho acontece quando há disponibilidade de informações não somente de ligações, mas também de mensagens e conexão com a internet, o que gera uma maior continuidade nas informações sobre a posição dos usuários, permitindo identificar maior número de viagens.

Além da listagem dos passos e subpassos, as tabelas 5, 6 e 7 também registram as verificações adotadas em cada um dos passos, feitas com comparações com outras fontes de dados – como o 2006-2010 *Census Transportation Planning Products* (CTPP), o 1991 Boston Household Travel Survey (BHHS), o 2010/2011 Massachusetts Travel Survey (MTS) e o 2009 National Household Travel Survey (NHTS). Destaca-se a grande variedade de verificações realizadas por Alexander *et al.* (2015) na etapa 1 e a validação, na etapa 4, dos tempos de viagem calculados com uso dos dados de telefonia em relação aos calculados com dados de GPS da frota de táxis realizada por P. Wang *et al.* (2012).

Um fator importante na utilização dos dados de telefonia é o tamanho da zona adotada, fator que fica claro na verificação do “total de viagens HBW, em função de buffer da zona” na etapa 1, feita por Alexander *et al.* (2015). Quanto maior a zona adotada, menor a influência da oscilação do sinal entre antenas na determinação da residência dos usuários e, além disso, mais representativa a amostra de viagens captadas. Dessa forma, aumentando-se o buffer em torno da zona, Alexander *et al.* (2015) chegaram em maiores correlações com o total de viagens indicados nas matrizes dos métodos tradicionais.

Toole *et al.* (2015) apesar de terem o trabalho mais completo, possuem um artigo que é no geral muito pouco transparente, não apresentando o detalhamento das soluções adotadas. Além do modo de calcular o horário de saída e chegada das viagens, os parâmetros adotados na etapa da alocação de viagens não estão claros, por não se expor como foram tratados o uso da via também por outros modos e a presença de viagens originadas fora da área de estudo.

Tabela 4: Dados utilizados e partição geográfica das referências

referência	Dados de telefonia utilizados					partição geográfica
	lugar	tipo	localização dada por	período de dados	número de registros	
(Calabrese et al., 2013)	região metropolitana de Boston, EUA	ligações feitas e recebidas, mensagens enviadas e recebidas, conexão com a internet.	triangulação	3 meses	1 milhão de usuários	grid
(Alexander et al., 2015)	região metropolitana de Boston, EUA	ligação ou outro tipo de comunicação do celular, como envio de SMS	triangulação	2 meses	mais de 8 bilhões	setor
(Iqbal et al., 2014)	Dhaka, Bangladesh	ligações	torre	1 mês	2,87 milhões de usuários	nós da rede (bem pouco densa)
(P. Wang et al., 2012)	São Francisco Bay Area e Boston Area, EUA	ligação, mensagem ou conexão com a internet	torre em São Francisco e triangulação em Boston	3 semanas	374 milhões	torre em São Francisco, setor em Boston
(Toole et al., 2015)	Boston e São Francisco, EUA, Lisboa e Porto, Portugal, e Rio de Janeiro, Brasil	não explicitado	torre ou triangulação, dependendo da cidade	no mínimo 3 semanas; 6 em Boston	2,462 bilhões	grid
(Ahas et al., 2010)	Estônia	ligações feitas	torre	1 ano	784 milhões	torre

Tabela 6: Passos para elaboração de matriz horária e verificações das referências

referência	2.1 definição de horário de partida e chegada	2.2 expansão por contagens	verificações		
			comparação com as contagens não usadas para expansão	total de viagens por intervalo do dia	curvas de viagem/ hora, para cada tipo de viagem
(Calabrese et al., 2013)	-	-	-	-	-
(Alexander et al., 2015)	gera funções de densidade de probabilidade para determinar horário de partida para dia de semana ou não e para cada propósito (HBW, NHB, HBO), a partir de dados da NHTS, filtrando apenas respostas de residentes em áreas metropolitanas com mais de 3 milhões de habitantes. Usuário é sempre assumido em casa às 3h	-	-	sim, compara com BHTS, MTS e NHTS	sim, compara com BHTS, MTS e NHTS
(Iqbal et al., 2014)	horário das ligações considerados como partida e chegada	sim	sim, com contagens separadas exclusivamente para a verificação posterior	-	-
(P. Wang et al., 2012)	horário das ligações considerados como partida e chegada	-	-	-	-
(Toole et al., 2015)	horário de partida aleatório é atribuído com base em uma probabilidade condicional de o usuário ter partido em um dado momento, entre o instante em que ele foi percebido na origem e o que ele foi percebido no destino. Não explicitada origem dos dados para montar probabilidade, citando possíveis fontes: pesquisas como a <i>NHTS</i> , ou estimativas a partir de informações de todos os usuários	-	-	-	-
(Ahas et al., 2010)	-	-	-	-	-

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliométrica foi utilizada para selecionar as publicações mais relevantes que abordam o tema escolhido, uma vez que há uma grande quantidade de assuntos na área. Para os 50 trabalhos considerados relevantes para o tema, foram avaliados os principais autores, trabalhos, anos e revistas. Com os 6 de maior destaque, foi feita uma avaliação sistemática para comparar os passos adotados em cada trabalho.

Não foram encontrados artigos brasileiros na área, sendo a tese de Chaves (2018) o trabalho mais completo encontrado. Para futuros estudos nessa área que venham a ser desenvolvidos no Brasil, a elaboração de uma matriz horária é um próximo passo a ser dado - já que Chaves (2018) não o fez - e não poderá ser feita pelo método mais comumente utilizado até agora, já que o censo aqui realizado não pergunta sobre a hora das viagens realizadas e essa informação é utilizada pelos trabalhos que se propõem a inferir o horário das viagens. Como alternativa, pode-se trabalhar com viagens curtas que permitam a consideração de que os horários de chamadas equivalem a horários de chegada e saída. Dado que o critério de tempo entre ligações deve ser bastante restritivo nesse caso, ele acaba por gerar um grande descarte de viagens. Pode-se também inferir os horários com base na distribuição das chamadas do próprio usuário nos outros dias, ou até mesmo dos outros usuários, sendo esse método mais complexo, no entanto.

Outro avanço possível nas metodologias apresentadas é a utilização de outras fontes de informação que sirvam para ajuste das matrizes, como contagens volumétricas, ou pesquisas de frequência e ocupação visual. Essas pesquisas, realizadas entre diferentes modos de transporte, serviriam para melhorar a etapa de divisão modal, sendo indispensável no Brasil, já que não se tem a informação de taxa de uso de automóvel por setor, necessária na etapa 3.1.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahas, R., Silm, S., Järvi, O., Saluveer, E., e Tiru, M. (2010) Using Mobile Positioning Data to Model Locations Meaningful to Users of Mobile Phones. *Journal of Urban Technology*, 17(1), 3–27. doi:10.1080/10630731003597306
- Alexander, L. P., Jiang, S., Murga, M., e González, M. C. (2015) Origin-destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 240–250. doi:10.1016/j.trc.2015.02.018
- Barbosa-filho, H., Barthelemy, M., Ghoshal, G., James, C. R., Lenormand, M., Louail, T., Menezes, R., Simini, F., e Tomasini, M. (2017) Human Mobility: Models and Applications. doi:10.1016/j.physrep.2018.01.001
- Barbosa, H., Barthelemy, M., Ghoshal, G., James, C. R., Lenormand, M., Louail, T., Menezes, R., Ramasco, J. J., Simini, F., e Tomasini, M. (2018, setembro 29) Human mobility: Models and applications. *Physics Reports*. doi:10.1016/j.physrep.2018.01.001
- Blondel, V. D., Decuyper, A., e Krings, G. (2015) A survey of results on mobile phone datasets analysis. *EPJ Data Science*, 4(1), 1–55. doi:10.1140/epjds/s13688-015-0046-0
- Calabrese, F., Diao, M., Di Lorenzo, G., Ferreira, J., e Ratti, C. (2013) Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: A mobile phone trace example. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 301–313. doi:10.1016/j.trc.2012.09.009
- Chaves, J. C. (2018) *Estimativa de matrizes de origem-destino a partir de registros de chamadas de telefonia celular*. Tese - Doutorado em Engenharia Civil - COPPE/UFRJ.
- Chen, C., Bian, L., e Ma, J. (2014) From traces to trajectories: How well can we guess activity locations from mobile phone traces? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, 326–337. doi:10.1016/j.trc.2014.07.001
- Chen, C., Ma, J., Susilo, Y., Liu, Y., e Wang, M. (2016) The promises of big data and small data for travel behavior (aka human mobility) analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 68, 285–299. doi:10.1016/j.trc.2016.04.005
- Çolak, S., Alexander, L. P., Alvim, B. G., Mehndiratta, S. R., e González, M. C. (2015) Analyzing Cell Phone Location Data for Urban Travel. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2526, 126–135. doi:10.3141/2526-14

- Csáji, B. C., Browet, A., Traag, V. A., Delvenne, J. C., Huens, E., Van Dooren, P., Smoreda, Z., e Blondel, V. D. (2013) Exploring the mobility of mobile phone users. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(6), 1459–1473. doi:10.1016/j.physa.2012.11.040
- Hoteit, S., Secci, S., Sobolevsky, S., Ratti, C., e Pujolle, G. (2014) Estimating human trajectories and hotspots through mobile phone data. *Computer Networks*, 64, 296–307. doi:10.1016/j.comnet.2014.02.011
- Ibrahima, S. Y., Handschumacher, P., Piermay, J. L., Tanner, M., Wyss, K., e Cissé, G. (2010) Daily rhythms of suburban commuters' movements in the Tallinn metropolitan area: Case study with mobile positioning data. *Transportation Research Part C*, 18, 45–54. doi:10.1016/j.trc.2009.04.011
- Iqbal, M. S., Choudhury, C. F., Wang, P., e González, M. C. (2014) Development of origin–destination matrices using mobile phone call data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 63–74. doi:10.1016/J.TRC.2014.01.002
- Järv, O., Ahas, R., e Witlox, F. (2014) Understanding monthly variability in human activity spaces: A twelve-month study using mobile phone call detail records. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 122–135. doi:10.1016/j.trc.2013.11.003
- Kang, C., Ma, X., Tong, D., e Liu, Y. (2012) Intra-urban human mobility patterns: An urban morphology perspective. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(4), 1702–1717. doi:10.1016/j.physa.2011.11.005
- Lenormand, M., Picornell, M., Cantú-Ros, O. G., Tugores, A., Louail, T., Herranz, R., Barthelemy, M., Frías-Martínez, E., e Ramasco, J. J. (2014) Cross-Checking Different Sources of Mobility Information. *PLoS ONE*, 9(8), e105184. doi:10.1371/journal.pone.0105184
- Sevtsuk, A., e Ratti, C. (2010) Does Urban Mobility Have a Daily Routine? Learning from the Aggregate Data of Mobile Networks. *Journal of Urban Technology*, 17(1), 41–60. doi:10.1080/10630731003597322
- Toole, J. L., Colak, S., Sturt, B., Alexander, L. P., Evsukoff, A., e González, M. C. (2015) The path most traveled: Travel demand estimation using big data resources. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 162–177. doi:10.1016/j.trc.2015.04.022
- Trasarti, R., Olteanu-Raimond, A. M., Nanni, M., Couronné, T., Furletti, B., Giannotti, F., Smoreda, Z., e Ziemlicki, C. (2015) Discovering urban and country dynamics from mobile phone data with spatial correlation patterns. *Telecommunications Policy*, 39(3–4), 347–362. doi:10.1016/j.telpol.2013.12.002
- Wang, P., Hunter, T., Bayen, A. M., Schechtner, K., e González, M. C. (2012) Understanding road usage patterns in urban areas. *Scientific Reports*, 2(1), 1001. doi:10.1038/srep01001
- Wang, Z., He, S. Y., e Leung, Y. (2018) Applying mobile phone data to travel behaviour research: A literature review. *Travel Behaviour and Society*, 11, 141–155. doi:10.1016/j.tbs.2017.02.005

Matheus Henrique Cunha Barboza

Juliana Gonçalves da Silva Ferreira

Marcelino Aurélio Vieira da Silva

Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia Bloco H, Sala 106, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil