

Desenvolvimento de matriz origem-destino a partir de dados mensais de bilhetagem eletrônica.

Sideney Schreiner¹; Ronny Marcelo Aliaga Medrano²; Willer Luciano Carvalho²

1 Nihon University - College of Science and Technology – Chiba – Japan – 2748501 - Tel +81-02-470-9154. sideney@gmail.com.

2 Universidade Federal de Goiás, Rua Mucuri S/N - Setor Conde dos Arcos, Aparecida de Goiânia - Goiás – Brasil. ronnymarcelo@ufg.br; willer_carvalho@ufg.br.

SINÓPSE

A crescente disponibilidade de dados gerados por sistemas eletrônicos possibilita a atualização frequente, e com grande redução de custo, das condições de demanda. Em especial, a construção de matrizes origem-destino (OD) específicas para o transporte público a partir de dados de sistemas de bilhetagem eletrônica (SBE) figura como um avanço crucial já disponível aos órgãos gestores dos respectivos sistemas. Neste artigo descreve-se um método de construção de matrizes OD baseado na análise dos padrões de deslocamento dos passageiros, individualizados anonimamente, em períodos de um mês. Os padrões de deslocamento são definidos pela espacialização dos pontos de embarque e desembarque nas zonas de planejamento, e pela distribuição temporal das validações no SBE nos dias da semana e nas faixas horárias do dia. A metodologia permite a obtenção de uma matriz OD diária típica, representativa daquela amostra de validações, e matrizes específicas para cada dia da semana e para cada faixa horária, com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento de modelos de maior resolução temporal para estimativa de demanda de linhas de transporte público. A metodologia contribui para o avanço do estado da arte propondo a análise do padrão de deslocamento ao longo de vários dias para determinação dos locais principais de atividades e do processamento de validações únicas no dia, cuja análise é consideravelmente limitada nos processos baseados em amostras de apenas um dia de validações.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de bilhetagem eletrônica. Matrizes origem-destino. Padrões de deslocamento.

INTRODUÇÃO

O planejamento de transportes públicos das cidades é um grande desafio para os gestores, ainda mais quando se observa a grande velocidade de mudanças que ocorrem nos centros urbanos e que acabam afetando nos deslocamentos das pessoas, promovendo mudanças nos padrões de viagens da população, ou seja, influenciando nas origens e destinos dos deslocamentos (GUERRA; BARBOSA; OLIVEIRA, 2014).

A identificação dos padrões de viagens dentro dos centros urbanos é realizada por pesquisa denominada Pesquisa origem-destino (OD), que tradicionalmente é realizada com uma amostra da população da área de estudo, em um processo de coleta de dados em campo. Nessa coleta são levantados uma série de dados, dentre os quais, o local de início e fim da viagem, horário de realização dos deslocamentos, o modo de transporte utilizado, o motivo da realização do deslocamento, além de informações socioeconômicas que podem afetar na geração de viagem (MCNALLY, 2007). Por se tratar de um procedimento de coleta de dados em campo, com uma amostra significativa da população, esse é um processo dispendioso, tanto em tempo quanto em recursos financeiros, fazendo com que seja indicada sua realização a cada 10 anos (BERTONCINI, 2007).

Assim, sabe-se que atualmente existe uma grande quantidade de dados disponíveis, e esses circulam com uma velocidade cada vez maior, e as empresas ou instituições, incluindo aquelas relacionadas com a operação dos transportes públicos das grandes cidades, precisam também garantir agilidade no processo de coleta desses dados, de seu

armazenamento e sua análise, para se manterem competitivas e atentas às mudanças de seu público. Diante a este cenário, a utilização de ferramentas digitais tem sido uma grande aliada dessas organizações para melhor entender o mercado onde estão inseridas e, com isso, possibilitar um melhor desempenho na operação do serviço de transporte público, como é o caso da utilização dos dados dos sistemas de bilhetagem eletrônica utilizada nos sistemas de transporte público coletivo.

Diversos autores já abordaram esse tema, os quais reconhecem o potencial do uso dos dados coletados por um sistema de bilhetagem eletrônica, associados com os de localização do veículo, como maneira de identificar esses padrões de viagens, melhorando assim, o planejamento e a operação do transporte público urbano (CUI, 2006; LIANFU et al, 2007; ZHAO, 2007). No entanto, esses dados necessitam de tratamentos, os quais ainda não são convencionados, deixando-se muitas vezes de aproveitar ao máximo o potencial das informações coletadas.

Diante desse contexto, este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre o estado da arte do desenvolvimento de matrizes origem-destino com dados do sistema de bilhetagem eletrônica. Posteriormente, apresenta-se uma metodologia para obtenção de uma matriz OD diária típica a qual foi implementada com dados do sistema de bilhetagem eletrônica da região metropolitana de Goiânia.

REVISÃO DA LITERATURA

Diante da necessidade de se dispor de dados mais atuais para o planejamento do transporte nos centros urbanos, a utilização dos cartões magnéticos inteligentes, com microchips, como os adotados nos sistemas de bilhetagem eletrônicos, tem sido amplamente utilizado para a obtenção de dados mais precisos dos deslocamentos dos usuários do transporte público nos centros urbanos (NASIBOGLU et al., 2012). Esse sistema permite identificar o usuário e, com isso, trazer informações mais precisas para o entendimento dos padrões de viagens. Assim, é possível obter informações como:

- Categoria de passageiro (trabalhador, estudante, etc.);
- Dados sociais dos usuários (sexo, idade, etc.);
- Perfil de usuário (pagante ou gratuidade);
- Local, linha usada e horário de realização da validação etc.

Vários estudos demonstram a viabilidade e a qualidade da utilização dos dados da bilhetagem eletrônica, mais especificamente dos cartões inteligentes, para a estimativa de matriz O/D de transporte público, bem como estudos de padrões de viagens. Cui, em 2006, apresentou um algoritmo para estimar uma matriz OD de viagem de passageiro de ônibus de Chicago Transit Authority (CTA).

Morency, Trepanier e Agard (2007), utilizaram dados dos cartões inteligentes de sistema de transporte do Canadá, para estimar a variabilidade do uso da rede de transporte público no país, além do desempenho da rede e o comportamento dos passageiros. Lianfu et al, (2007) identificaram o importante papel dos dados dos cartões inteligentes utilizados em sistemas de transporte público, para o planejamento desses sistemas, mostrando que muitas informações obtidas a partir das pesquisas de viagens complexas podem ser obtidas através da análise de dados de cartão inteligente.

Seaborn (2009) mostra como dados de cartões inteligentes, de sistema de transporte coletivo, podem ser utilizados para agregar qualidade em análise de planejamento de redes de transporte coletivo. Em seu estudo teve como foco três linhas de ônibus e duas estações de metrô. Wang (2010) estudou o uso de dados de coleta automática de sistemas de transporte coletivo público para planejamento de transporte e obtenção da matriz O/D dos

passageiros de ônibus, investigando ainda os comportamentos de viagem em Londres em 2010. Guerra (2011), em seu estudo propõe uma metodologia para determinação de uma Matriz Origem/Destino (O/D) para passageiros do transporte público utilizando os dados do sistema de bilhetagem eletrônica. Mesquita, Amaral e Carvalho (2017) desenvolveram uma metodologia para estimativa de uma Matriz Origem/Destino (O/D), utilizando dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica - SBE. A metodologia desenvolvida foi aplicada no sistema de transporte coletivo de ônibus da Rede Metropolitana de Transporte Coletivo de Goiânia (RMTC). Os resultados obtidos foram consistentes, com identificação de cerca de 85% dos pares de O/D.

Hora et al (2017) realizaram um estudo para estimar a matriz Origem e Destino para a cidade de Porto, em Portugal, que conta com um sistema de bilhetagem eletrônica onde se identifica apenas o local de acesso do usuário ao sistema de transporte coletivo. Para a definição da matriz Origem Destino foi utilizado o Método do Encadeamento de Viagem (Trip-Chaining Method), e para a identificação do destino foram adotadas algumas premissas, sendo elas: os passageiros iniciam a próxima etapa da viagem no local de desembarque da viagem anterior ou próximo dele; os passageiros terminam a última viagem do dia no local de embarque da primeira viagem do dia; os passageiros só podem desembarcar na sequência de paradas ainda não percorridas pelo percurso/sentido em que embarcaram; os passageiros têm uma distância máxima para mudança de linha, acima da qual o destino dessa etapa da viagem não é inferido.

Cui, em 2006, apresentou um algoritmo para estimar uma matriz OD de viagem de passageiro de ônibus, baseada na cobrança automatizada de tarifas, na contagem automática de passageiros e na localização automática de veículos. Em seu estudo, ele aplicou o algoritmo para estimar a matriz OD em um corredor selecionado da rede de ônibus Chicago Transit Authority (CTA). O algoritmo foi desenvolvido em SQL e teve como premissa, para as viagens com transferência de veículos, que o destino seria considerado apenas aquele do último trecho do deslocamento, sendo desconsiderados os intermediários.

A metodologia de determinação de matriz Origem/Destino proposta por Guerra (2011), se divide em duas etapas principais, sendo a primeira correspondendo a determinação de uma matriz amostral que contempla parte dos passageiros usuários de cartão eletrônico, denominada matriz semente. Na segunda etapa, a matriz denominada semente é expandida através por meio de contagens de fluxos de passageiros. Como premissas adotadas tem-se que a primeira validação no sistema corresponde a origem, e a validação ocorrida ao final do dia, corresponde ao destino, ou ponto mais próximo deste destino. A metodologia proposta foi aplicada para o município de Maceió – AL, com dados do ano de 2000.

AREA DE ESTUDO

Goiânia é uma metrópole regional conforme pode ser visualizado na Figura 1 (IBGE,2018), definida assim por ser uma cidade que atrai e concentra riquezas, mão de obra, recursos, tecnologia, atividades e serviços em uma grande área de influência e relevância de uma perspectiva local, tornando-se referência naquela região (ALVES,2012). Justamente, por sua proporção e relevância regional, a demanda minuciosa de um planejamento integrado (MONTE-MÓR, 2006), racional e estratégico é de vital importância para o bom funcionamento da cidade, sobretudo naquilo que diz respeito ao setor de transportes, pois influencia diretamente na qualidade de vida de sua população, guiando seu desenvolvimento.

O transporte público em Goiânia é de operação metropolitana, sendo que Goiânia, Aparecida de Goiânia, Trindade, Senador Canedo e Goianira detém 93% da população total constituinte da RMTC.

RESULTADOS

O desenvolvimento de matrizes origem-destino para a cidade de Goiânia foi realizado a partir da aplicação de uma metodologia baseada na análise de uma base de dados dos registros do sistema de bilhetagem eletrônica (SBE). A base de dados é composta pela lista dos registros de validação, contendo: data da validação contendo o ano, o mês e o dia; o horário da validação contendo a hora, o minuto e o segundo; identificador do bilhete em formato alfanumérico; identificador do veículo; identificador da linha; identificador do ponto de embarque; nome do ponto de embarque; latitude e longitude do ponto de embarque.

Os dados utilizados compreendem os períodos de 1 a 30 de maio de 2019 e 1 a 31 de outubro de 2019. Na análise dos dois períodos, foram excluídos os finais de semana e feriados, assim, considerando apenas dias úteis.

O procedimento utilizado consiste na construção do roteiro diário de cada passageiro a partir da identificação do local de residência, dos locais de transferências e dos destinos sequenciais alcançados durante o dia.

A construção do roteiro diário seguiu as seguintes etapas (Figura 1): entrada de dados, determinação das zonas de tráfego, individualização das validações, análise temporal das validações e, finalmente, agregação das viagens nas matrizes de origem-destino. Cada uma das etapas é descrita nas próximas sessões.



Figura 1 – Etapas da construção das matrizes OD

Os dados utilizados nesta análise foram previamente trabalhados para homogeneização das informações de localização, onde as coordenadas geográficas registradas pelo sistema de bilhetagem eletrônica foram substituídas pelas coordenadas geográficas do ponto de embarque atendido imediatamente à validação. Essa correção foi realizada para diminuir a ocorrência de posições de validação fora dos pontos de embarque, já que, no caso dos ônibus, os passageiros muitas vezes formam filas para validação após o embarque, normalmente com o veículo já em movimento.

Além disso, as matrizes origem-destino não consideram as viagens realizadas entre pontos de embarque e desembarque, mas sim entre pares de zonas de planejamento. Portanto, as coordenadas geográficas do ponto de validação foram convertidas na respectiva zona de planejamento. Neste estudo, foram consideradas 371 zonas de planejamento, distribuídas conforme apresentado na Figura 2.

O processo de associação dos locais de validação, representados pelo par de coordenadas longitude e latitude, em suas respectivas zonas foi realizado no software VISUM, mediante a aplicação da função de interseção geográfica entre os locais de validação e as zonas de planejamento. Este processo verifica se o ponto definido pelas coordenadas geográficas do ponto de embarque está contido no polígono de cada zona. Se o resultado da verificação for positivo, o identificador da zona é associado o ponto testado. Após a associação, o banco de

dados passou a conter a zona de planejamento onde o bilhete foi validado, denominada aqui por zona de validação.

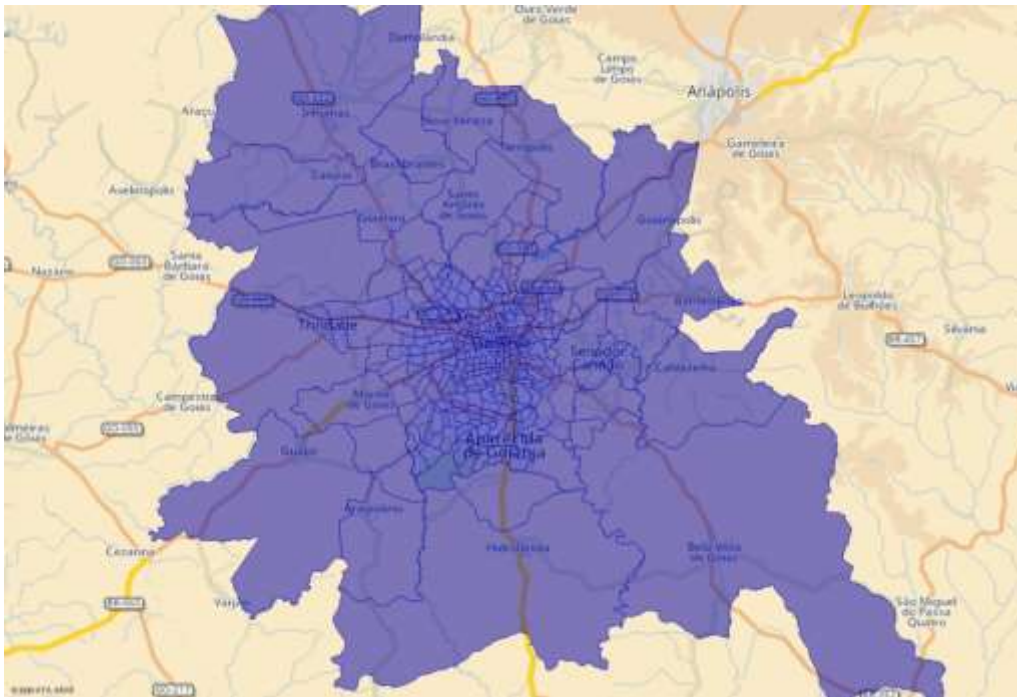


Figura 2 - Visão geral das zonas de planejamento

A análise dos padrões individuais de viagens é o núcleo fundamental da metodologia aplicada, portanto, torna-se necessário agregar por bilhete as validações registradas no banco de dados. Nesta etapa, as validações são reagrupadas por identificador do bilhete e ordenadas cronologicamente.

As informações de cada validação são usadas para a construção do perfil de viagens de cada bilhete ao longo dos períodos em estudo, a partir da premissa que cada bilhete corresponde a um passageiro específico, sem ocorrência de compartilhamento de cartões por mais de um passageiro.

No Brasil, as validações dos bilhetes eletrônicos do transporte público são realizadas apenas no momento do embarque, ou na entrada do sistema nos casos de estações de metrô e terminais de ônibus (quando esse permite integração). Assim, a análise das validações diárias de um passageiro identifica apenas os pontos de início ou de transferência de suas viagens. Portanto, para a determinação dos destinos, utiliza-se a hipótese de que o passageiro escolhe o ponto de embarque mais próximo do destino da viagem anterior para iniciar a viagem subsequente (Figura 3).

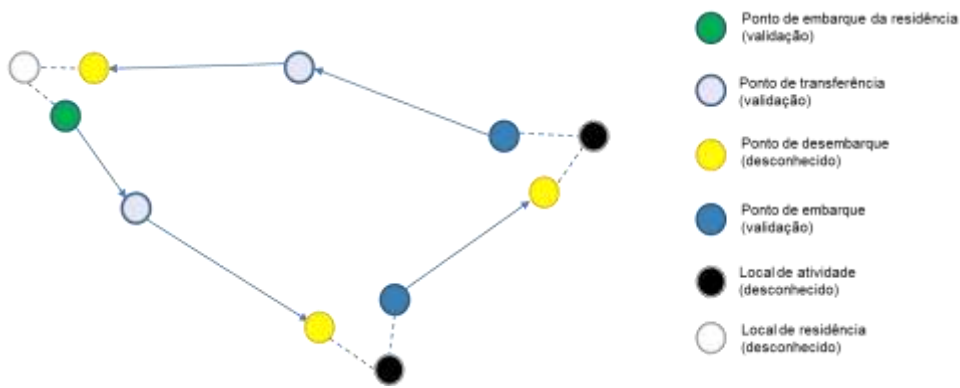


Figura 3 - Roteiro diário construído a partir das validações diárias

A construção do histórico de validações individuais permite a primeira verificação de viabilidade de uso dos dados de cada bilhete analisado. Foram identificados os bilhetes que possuíam quantidade de validações fora do intervalo de utilização. Tais bilhetes foram desconsiderados na elaboração das matrizes origem-destino. Foram analisados os bilhetes que apresentaram até 120 validações por mês, considerando uma média de 6 validações por dia útil (20 dias úteis por mês). O perfil de viagens de cada passageiro é construído a partir do sequenciamento das validações registradas em cada dia analisado, classificando cada local de validação como origem (residência), transferência ou destino. Várias transferências e vários destinos são possíveis dentro de um roteiro diário.

Diversos estudos que trabalham dados de deslocamento de pessoas adotam um horário padrão para a determinação do local de residência do passageiro, que, na análise do encadeamento diário das viagens é identificado como o ponto de origem e destino final para construção do percurso completo em loop do dia. Neste estudo, a estrutura dos dados não garante a identificação de um ponto em um certo horário. Dessa forma, adotou-se um procedimento baseado na análise das posições ao longo de todo o período estudado. Identificando o local de validação com horário mais cedo que ocorre com maior frequência. O local de origem é também considerado como o destino da última viagem ocorrida no dia em análise.

A determinação dos destinos foi realizada a partir da medição do tempo transcorrido entre duas validações sucessivas. Adotou-se, como parâmetro para detecção de destinos, o período de 2 horas, ou seja, quando o período entre duas validações subsequentes é superior a 2 horas, considera-se o local da segunda validação como um destino (Figura 4).

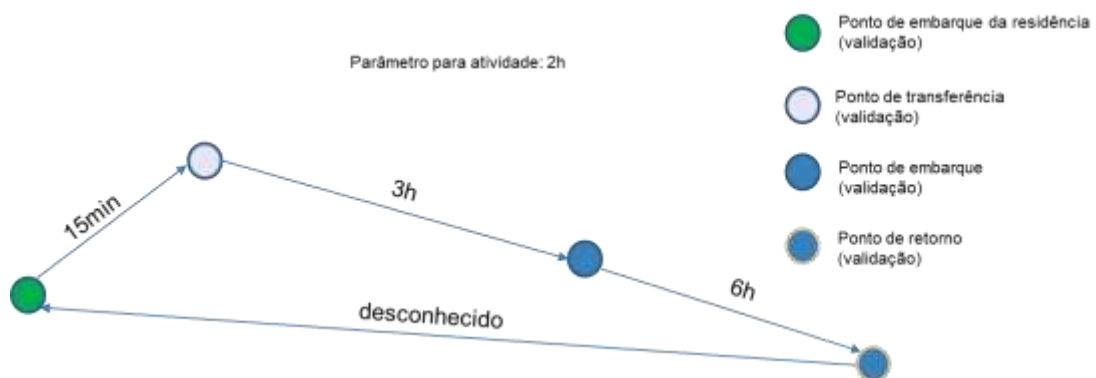


Figura 4 – Encadeamento de viagens a partir da identificação de destinos

Para cada passageiro, cada validação é caracterizada no tempo mediante a determinação da hora, do dia da semana e do dia do mês. Os dias úteis a serem analisados foram obtidos a partir da exclusão de sábados, domingos e feriados municipais, estaduais e federais.

Uma matriz OD foi construída para cada um dos dias úteis a partir da análise dos destinos de cada passageiro, somando-se as viagens por zona de origem e destino para cada dia, ou seja, considerando o conjunto de passageiros $p = \{1, \dots, P\}$, onde P é o total de passageiros, e o conjunto de viagens de cada passageiro $k(p) = \{1, \dots, K(p)\}$, onde $K(p)$ é o total de viagens do passageiro p no período de análise, temos o total de viagens com origem na zona i e destino na zona j no dia d , $OD_{d,i,j}^{diária}$, dado pela Eq. 1

$$OD_{d,i,j}^{diária} = \sum_{p=0}^P \sum_{k=0}^{K(p)} c_1(k, p, i, j) \quad \text{Eq. 1}$$

Em que $c_1(k, p, i, j) = 1$, se a viagem k do passageiro p ocorreu no dia d com origem em i e destino em j , senão, $c_1(k, p, i, j) = 0$.

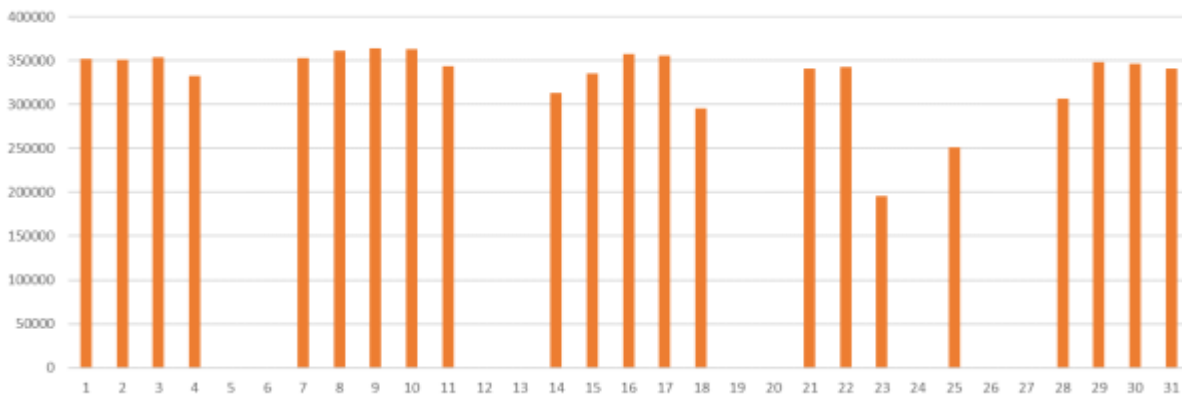


Figura 5 – Totais de viagens por dia útil (Outubro/2019)

As matrizes representativas dos dias úteis da semana consideraram a média dos totais de viagens em cada dia da semana, de segunda a sexta-feira. Formalmente, temos a média de viagens no dia da semana s com origem em i e destino em j , $OD_{s,i,j}^{dia da semana}$, dado pela Eq. 2

$$OD_{s,i,j}^{dia da semana} = \frac{\sum_{d=1}^{31} \sum_{p=0}^P \sum_{k=0}^{K(p)} c_1(k, p, i, j) \times c_2(d)}{\sum_{d=1}^{31} c_2(d)} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que $c_2(d) = 1$, se o dia útil d corresponde ao dia da semana s em análise, senão, $c_2(d) = 0$.

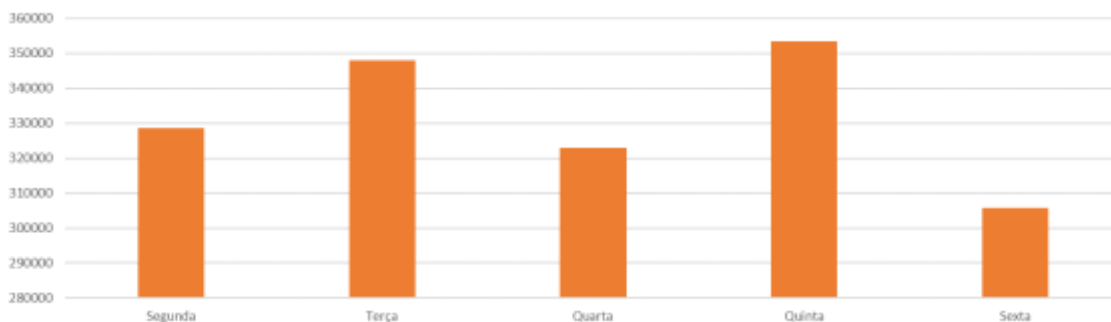


Figura 6 – Média dos totais de viagens por dia da semana

As matrizes representativas dos períodos horários consideram a média dos totais de viagens em cada período de 0h a 23h, nos dias úteis. Formalmente, temos a média de viagens no período horário h com origem em i e destino em j , $OD_{h,i,j}^{horária}$, dada pela Eq. 3.

$$OD_{h,i,j}^{horária} = \frac{\sum_{d=1}^{31} \sum_{p=0}^P \sum_{k=0}^{K(p)} c_3(k,p,i,j,t) \times c_4(d)}{\sum_{d=1}^{31} c_4(d)} \quad \text{Eq.3}$$

Em que:

$c_3(k,p,i,j,t) = 1$, se a viagem k do passageiro p com origem em i e destino em j e horário de validação t teve início no período horário h , senão, $c_1(k,p,i,j) = 0$.

Em que $c_4(d) = 1$, se o dia d corresponde a um dia útil, senão, $c_4(d) = 0$.

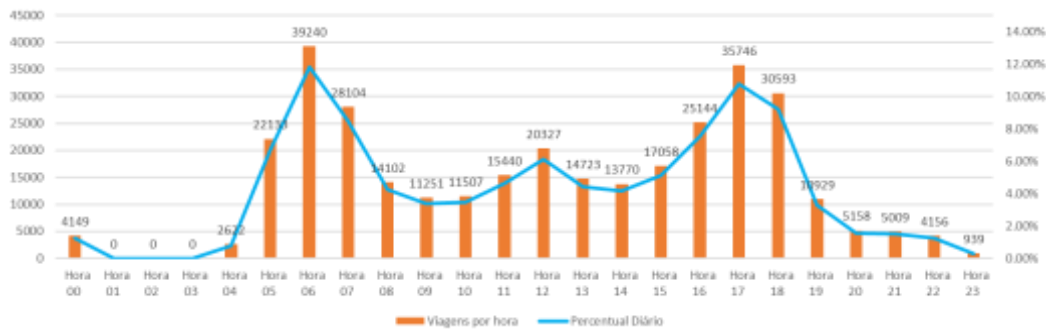


Figura 7 - Média de viagens iniciadas por hora do dia em Outubro de 2019

A construção de uma matriz representativa para um dia típico no período de análise considerou a média de todos os dias úteis no período. Formalmente, a média de viagens em dias úteis, $OD_{i,j}^{dia\ útil}$, é dada pela Eq. 4.

$$OD_{i,j}^{dia\ útil} = \frac{\sum_{d=1}^{31} \sum_{p=0}^P \sum_{k=0}^{K(p)} c_1(k,p,i,j) \times c_4(d)}{\sum_{d=1}^{31} c_4(d)} \quad \text{Eq. 4}$$

CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste estudo mostra que é possível explorar a potencialidade dos dados de bilhetagem eletrônica para a construção de matrizes origem-destino em várias temporalidades, adequadas a diversas utilizações desde ajustes da oferta do sistema de transporte público como previsão de mudanças da demanda em função de feriados e outros eventos.

O acompanhamento da evolução da demanda também pode ser realizado periodicamente após a construção dos códigos para análise dos dados, permitindo aos órgãos responsáveis pelo planejamento do transporte público o ajuste gradual da oferta e otimização dos recursos disponíveis.

REFERENCIAS

ALVES, G. A. A Mbrickaetropolização do Espaço. In: Almeida, M. G. et al (Org.) Metrôpoles: teoria e pesquisa sobre a dinâmica metropolitana. Goiânia: Cãnone Editorial, 2012.

BERTONCINI, B. V. Uma Proposta de Carregamento Incremental de Fluxos Veiculares para Estimacão de Matriz O-D Sintética. 2007, 137f. Dissertacão (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CETTRAN, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/resolucoes-contran>.

CUI, A. Bus Passenger Origin-Destination Matrix Estimation Using Automated Data Collection Systems. 2006. 134f. Thesis (Master of Science in Transportation) – Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Berkeley, 2006.

CHEN, S. and LIU, D. Bus Passenger Origin-Destination Matrix Estimation Using Available Information from Automatic Data Collection Systems in Chongqing, China. Advanced Materials Research Vols. 779-780. pp 878-889, Trans Tech Publications, Switzerland, 2013.

CUI, A., "Bus passenger origin-destination matrix estimation using automated data collection systems" Master of Science in Transportation, Massachusetts Institute of Technology, 2006

GERRA, A. L. Determinacão de Matriz Origem/Destino Utilizando Dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica. Dissertacão de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2011.

HORA, J.; DIAS, T. G.; CAMANHO, A. SOBRAL, T. Estimation of Origin-Destination matrices under Automatic Fare Collection: the case study of Porto transportation system. 20th EURO Working Group on Transportation Meeting, EWGT 2017, 4-6. Transportation Research Procedia 27 (2017) 664–671. Budapest, Hungary, 2017

IPECE (2016). Análise comparativa da taxa de motorizacão do Ceará, Nordeste e Brasil – 2011 a 2016. Ipece Informe, n. 118. Fortaleza, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

LIANFU, Z; SHUZH, Z.; YONGGANG, Z.; ZIYIN, Z. Study on the Method of Constructing Bus Stops OD Matrix Based on IC Card Data. International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing, Shanghai, Sept. 2007.

MCNALLY, M. G. The Four Step Model. In: Hensher, D.; Button, K (editors). Handbook of Transport Modelling. 2nd ed. Irvine: Pergamon, 2007. v 1, p. 35-52.

MESQUITA, H. C.; AMARAL, M. J. E CARVALHO, W. L. Matriz O/D com base nos dados de sistema de bilhetagem eletrônica. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes – APET, 2017

MONTE-MÓR, Roberto Luís. As teorias urbanas e o planejamento urbano no Brasil. Economia regional e urbana: Contribuições teóricas recentes. Belo Horizonte: Editora ufmg, p. 61-85, 2006.

MORENCY, C., Trepanier, M. and Agard, B., "Measuring transit use variability with smart-card data," Transport Policy, vol. 14, pp. 193-203,2007

NASIBOGLU, E., KUVVETLI, U., OZKILCIK, M., ELIYI, U. Origin-Destination Matrix Generation Using Smart card data: Case study for Izmir. IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI). Baku, Azerbaijan, 2012.

RASOULI, S.; TIMMERMANS, H. Preface. In: RASOULI, S.; TIMMERMANS, H. (editors). Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis. 1st ed. Hershey: IGI

Global, 2014. p. xix-xxvi. GUERRA, A. L.; BARBOSA, H. M.; OLIVEIRA, L. K. Estimativa de Matriz Origem/Destino Utilizando Dados do Sistema de Bilhetagem Eletrônica: Proposta Metodológica. Transportes, [s.l.], v 22, n. 3, p. 26-38, 2014.

SEABORN, C. Smart card data for multi-modal network planning in london: Five case studies. Association for European Transport and contributors, Halcrow Group Ltd, 2009.

WANG, W. "Bus passenger origin-destination estimation and travel behavior using automated data collection systems in London, UK," Master of Science in Transportation Massachusetts Institute of Technology, 2010,

ZHAO, J. The Planning and Analysis Implications of Automated Data Collection Systems: Rail Transit OD Matrix Inference and Path Choice Modeling Examples. 2004. 124f. Thesis (Master in City Planning) – Department of Urban Studies and Planning and Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2004.