



Proposta metodológica para construção e análise de uma rede real urbana

BRUNA KURAMOTO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

bruna.kuramoto@usp.br

André Luiz Barbosa Nunes da Cunha

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

alcunha@usp.br



PROPOSTA METODOLÓGICA PARA CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UMA REDE REAL URBANA

B. Kuramoto, A. L. Cunha

RESUMO

Na engenharia de transportes, o estudo de redes complexas vem sendo aplicado devido ao alto poder explicativo de suas propriedades. As pesquisas buscam caracterizar as relações entre o espaço físico e os atores dinâmicos através das particularidades de cada rede. Estes estudos estão incluídos nos que foram impulsionados pelo desenvolvimento dos Sistemas Inteligentes de Transportes e de *Big Data*. Algumas dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores estão na obtenção de dados espacial e temporalmente semelhantes e no tratamento de informações heterogêneas e volumosas. Este trabalho tem como objetivo propor um método para coleta de dados geométricos e de tráfego de forma desagregada, referentes ao mesmo período de uma situação urbana. Através de análise de correlação entre as variáveis coletadas, foi detectada a possibilidade de utilizar o método como ferramenta expedita de planejamento urbano de setores de cidades. Teoria de Grafos foi utilizada para representação de uma rede viária urbana.

1. INTRODUÇÃO

O estudo de redes complexas vem sendo aplicado em várias áreas devido ao alto poder explicativo de suas propriedades. Por exemplo, o grau de um nó é a quantidade de arestas com ele conectadas. Por isso, é uma característica correlata com a conectividade, existência de caminhos entre pares de vértices (Newman, 2003). Outra propriedade, a centralidade de intermediação de um elemento é a relação entre a quantidade de caminhos mínimos da rede que atravessam o elemento e a quantidade total de caminhos mínimos da rede (Crucitti *et al.*, 2005). Estas propriedades são relacionadas com o grau de resiliência de uma rede.

Crucitti *et al.* (2005) afirmam que um caso particular de redes complexas são as que cujos nós ocupam uma posição precisa em um espaço euclidiano bi ou tridimensional, e cujas arestas são conexões físicas reais, por exemplo, a rede viária urbana. Na engenharia de transportes, as pesquisas buscam caracterizar as relações entre o espaço físico e os atores dinâmicos através das particularidades de cada rede. Neste contexto, Tang *et al.* (2016) construíram uma rede com base nas viagens realizadas por 1.100 táxis da cidade de Harbin (China). A partir da Teoria de Grafos, determinaram propriedades topológicas como grau, força e peso de aresta, além dos coeficientes de agrupamento e de intermediação. A par destas propriedades, os autores hierarquizaram a importância dos elementos da rede e

caracterizaram a rede quanto à similaridade entre regiões, aos padrões de viagens e à identificação de zonas mais atrativas.

Baseado em conceitos análogos, a Teoria da Sintaxe Espacial foi desenvolvida. Pereira *et al.* (2011) a utilizaram para analisar os efeitos da configuração urbana sobre o desempenho do transporte nos sistemas viários do Distrito Federal (DF, Brasil) e suas regiões administrativas. No estudo, os autores utilizaram análises de Regressão Linear Simples com variáveis topológicas e topo geométricas, na posição de variáveis explicativas da variável de desempenho do tráfego. A variável dependente era referente ao tempo médio de deslocamentos urbanos de cada rede (DF e regiões administrativas) e foi obtida por meio de uma pesquisa origem-destino de 2000.

Esses trabalhos mostram que os pesquisadores encontraram dificuldades na obtenção de informações que descrevam o mesmo período de um sistema urbano. No estudo em Harbin, embora os dados tenham sido obtidos de forma contínua e desagregada por meio de GPS, a rede construída não se referia a realidade da estrutura viária, mas somente indicava as intenções das viagens. No caso da pesquisa da região do DF, os mapas viários foram gerados em 2011, enquanto que os dados de viagem eram referentes a 2000. Isto ocorre devido à defasagem entre as atualizações de bancos de dados de trânsito e de vias.

As investigações das áreas de engenharia de transportes e de urbanismo ganharam impulso com o desenvolvimento dos Sistemas Inteligentes de Transportes e de *Big Data*. Sobre as vantagens oferecidas pela “Revolução Telemática”, Marchetti *et al.* (2015) afirmam que o *Big Data* pode ser um fornecedor mais rápido de variáveis auxiliares do que fontes oficiais de dados para modelos de pequenas áreas, mesmo com a indisponibilidade de informações individuais, devido às restrições de privacidade. Os autores ainda ressaltam o desafio de trabalhar com dados relacionados às novas Tecnologias de Comunicação e Informação (*Information and Communication Technology - ICT*). Este desafio é justificado pela heterogeneidade, falta de estrutura e grande volume dos dados. Para que esta vantagem seja eficientemente aproveitada, as informações devem ser organizadas de forma rápida e precisa para serem interpretadas pelos engenheiros e urbanistas.

Dentre as novas *ICT*, os serviços de mapeamento online e rastreamento de veículos aparecem como opção para obtenção de dados de tráfego, frente aos detectores físicos de laço e os sensores eletrônicos em postos de pedágio (Morgul *et al.*, 2014). Diversas empresas oferecem ferramentas de aplicação de interface de programação (*Application Programming Interface – API*) para disponibilizar serviços online de dados de tráfego, como *Google Maps*, *Bing Maps*, *MapQuest*, *NextBus*, *Nokia Maps (HERE)* e *TomTom*. Morgul *et al.* (2014) listaram as características destes serviços, que geralmente são relativos a dados coletados em tempo real e fornecidos em formatos XML ou JSON. Dentre as empresas fornecedoras citadas, a *TomTom* possui serviços que fornecem também dados de tráfego históricos das áreas em que possui cobertura. Este tipo de dado permite análises de diferentes períodos de uma mesma região, o que o torna mais interessante do que as informações que são obtidas em tempo real.

O objetivo deste trabalho foi propor um método para coleta de dados e análise de características topológicas e de parâmetros de tráfego de uma cidade. Inicialmente é descrito o método de obtenção de dados a partir da plataforma da empresa *TomTom*. Em seguida é apresentada a solução para a determinação da rede viária e suas propriedades. Ao final, os resultados da correlação entre as variáveis de tráfego e topológica são apresentados.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1. Seleção do trecho de análise

A primeira etapa do estudo envolveu a escolha da área que serviu de base para aplicação do método. A cobertura da região pela base tecnológica da empresa *TomTom* foi essencial para a obtenção de dados consistentes. Outro critério foi determinado pelo objetivo de analisar uma malha viária urbana. O grau de complexidade da rede influenciou de forma diretamente proporcional o tempo de coleta e de processamento dos dados, por isso, a seleção da área de estudo foi de tal tamanho que permitisse cumprir os objetivos do estudo em tempo conveniente.

2.2. Banco de Dados de Tráfego

Application Programming Interface ou API é um conjunto de rotinas e padrões de programação que permite o acesso a um aplicativo de software ou plataforma baseado na Web. A coleta dos dados deste trabalho foi realizada através da API da empresa *TomTom* de análise de área (*Traffic Stats*¹), cuja base de dados fornece informações de veículos com GPS integrado. Este processo ocorreu com a elaboração de uma rotina computacional que solicitou informações a partir dos critérios:

- i. *jobName*: nome da consulta;
- ii. *distanceUnit*: unidade base para distância e velocidade (quilômetro ou milha);
- iii. *network*: rede viária relativa aos dados, deve ser especificado segundo os itens da Tabela 1.

Tabela 1 Componentes da *network*

<i>name</i>	nome da rede
<i>boundingBox</i>	limites da área de abrangência das redes que deve ter no máximo 20.000 km ²
<i>zoneId</i>	fuso horário em que devem ser coletados os dados
<i>frcs</i>	classes funcionais da via
<i>probeSource</i>	indica quais tipos de veículos devem ser fontes de dados (passageiros, cargas ou todos)

- iv. *dateRange*: período em que devem ser coletados os dados. Possui um limite máximo de um ano e deve ser especificado de acordo com o apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 Componentes do *dateRange*

<i>name</i>	nome do período
<i>from</i>	data do início do período (AAAA-MM-DD)
<i>to</i>	data do fim do período (AAAA-MM-DD)
<i>exclusions</i>	lista de dias que devem ser desconsiderados do período

- v. *timeSets*: intervalos de tempo em que devem ser coletados os dados, com limite máximo de 24 intervalos por consulta; devem seguir o padrão apresentado na Tabela 3:

Tabela 3 Componentes do *timeSets*

<i>name</i>	nome do intervalo de tempo
<i>timeGroups</i>	dias e horários que devem ser considerado nos intervalos de tempo

¹ <https://developer.tomtom.com/traffic-stats>

Os dados de entrada do processo definem a área (*boundingBox*) e o período (*dateRange*) de estudo. Estas definições devem obedecer aos limites da API e a seleção realizada na etapa anterior. Para a obtenção de dados de forma desagregada, foi definido que cada coleta abrangeria um período de 5 minutos, de forma a obter, na sequência, dados relativos a uma semana. A semana coletada foi de 1 a 7 de agosto de 2017.

O serviço da API é assíncrono e para acompanhar o andamento (*status*) das coletas, a plataforma gerou um código de identificação (*jobId*) único para cada consulta realizada. Através da resposta do *status*, foi identificada a etapa do processamento em que a coleta estava e se tinha sido finalizada ou interrompida por algum erro. Quando a consulta era finalizada, a plataforma gerava arquivos de saída disponíveis para *download*, com os dados nos formatos JSON (Notação de objetos JavaScript) e SHAPE (conjunto de arquivos), de acordo com os parâmetros solicitados. Os dados foram coletados para cada segmento de via da área selecionada e foram fornecidos na forma de resultados espaciais e temporais (Tabela 4 e Tabela 5).

Tabela 4 Resultados espaciais de segmento (*segmentResults*)

<i>segmentId</i>	identificação do segmento coletado
<i>speedLimit</i>	limite de velocidade do segmento
<i>frc</i>	classe funcional da via
<i>streetName</i>	nome da via
<i>distance</i>	comprimento do segmento
<i>shape</i>	forma geométrica do segmento

Tabela 5 Resultados temporais de segmento (*segmentTimeResults*)

<i>timeSet</i>	refere ao intervalo de tempo coletado
<i>dateRange</i>	refere ao período de dias coletado
<i>harmonicAverageSpeed</i>	média harmônica da velocidade
<i>medianSpeed</i>	média da velocidade
<i>travelTimeStandardDeviation</i>	desvio padrão dos tempos de viagem
<i>sampleSize</i>	tamanho da amostra usada nos cálculos
<i>averageTravelTime</i>	tempo médio de viagem (segundos)
<i>medianTravelTime</i>	mediana do tempo de viagem (segundos)
<i>speedPercentiles</i>	Percentis das velocidades em ordem crescente.

Deste modo, foram obtidas métricas médias de tráfego discretizadas por via e por período, dentro dos limites geográficos e temporais especificados. Para este trabalho, a variável de desempenho de tráfego utilizada foi a velocidade média de cada trecho.

2.3. Grafo da infraestrutura/rede viária

As informações fornecidas na seção de resultados dos segmentos (*segmentResults*) descreveram cada via da área selecionada. No campo forma geométrica (*shape*), foram fornecidos pares de coordenadas de latitude e longitude, referentes aos pontos que formavam cada fragmento, conforme exemplificado na Tabela 6, que traz as coordenadas dos pontos que formavam os trechos 52 e 121.

Tabela 6 Coordenadas dos pontos dos segmentos 52 e 121

ID (Ponto)	Latitude (°)	Longitude (°)
52 (1)	-22.01059	-47.89780
52 (2)	-22.01059	-47.89681
121 (1)	-22.01059	-47.89681
121 (2)	-22.01041	-47.89682
121 (3)	-22.01030	-47.89683
121 (4)	-22.01025	-47.89684
121 (5)	-22.01016	-47.89689
121 (6)	-22.00990	-47.89711
121(7)	-22.00967	-47.89735

Os trechos estão representados na Figura 1 com os pontos que os formam. O trecho 52 (Figura 1a) possuía somente dois pontos, os quais referenciam às extremidades. O trecho 121 (Figura 1b e c) possuía 7 pontos, sendo 2 de extremidades e 5 de inflexão, utilizados para a melhor adequação do traçado à geometria da rede viária.

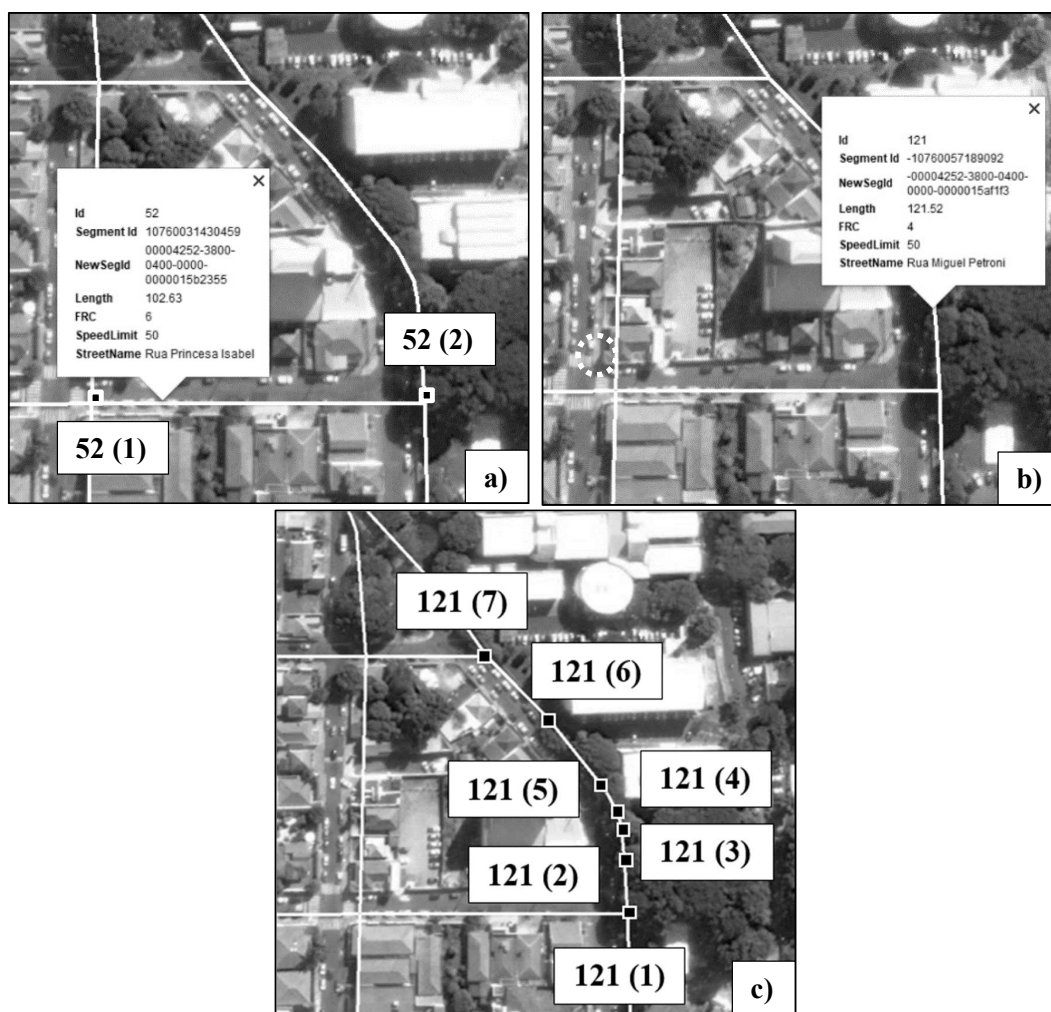


Figura 1 - Propriedades e pontos dos trechos 52 (a) e 121 (b e c)

Para a obtenção dos nós inicial e final de cada segmento, foram isolados o primeiro e o último ponto respectivamente. Desta forma, foram determinados os primeiros elementos do grafo, os nós. Somente os nós de extremidade de cada segmento foram utilizados para a construção do grafo pois os de inflexão não possuíam importância topológica e o descarte deles implicou em simplificação da rede.

A Tabela 6 mostra que os pontos 52 (2) e 121 (1) possuem as mesmas coordenadas. Deste modo, eles representam a ligação entre os trechos 52 e 121. A determinação das arestas do grafo, que correspondiam às vias coletadas, ocorreu a partir das informações dos nós de ligação entre os segmentos. A Figura 2 mostra os elementos lineares do grafo referentes aos trechos 52 e 121.



Figura 2 Arestas referentes aos trechos 52 e 121

Assim, a rede viária da área em estudo foi traduzida em forma de grafo, em que as arestas representavam os segmentos viários e os nós as interseções dos segmentos. Por representar a forma da rede, o grafo não precisou ser construído para cada período coletado, visto que no intervalo de uma semana, não foram realizadas alterações físicas na área de estudo. Com isto, foram calculadas propriedades descritivas e hierarquizantes dos elementos (grau e centralidade de intermediação).

2.4. Fusão de Bancos de dados

Neste momento, existiam dois tipos de base de dados, a primeira com medidas médias de tráfego por via e por período (5 minutos) e a segunda com métricas topológicas por elemento da rede. Para realizar uma comparação entre as informações destas duas naturezas (tráfego e topológica), foram montados bancos de dados para cada parâmetro de tráfego (velocidade média, velocidade média harmônica e tempo médio de viagem). Em cada banco, cada segmento de via foi considerado um elemento da população (rede) e os parâmetros de tráfego para cada período foram considerados como variáveis. Os valores de centralidade de intermediação (*edge betweenness*) de cada aresta também entraram como variáveis.

2.5. Análises de correlação

O comportamento do conjunto dos dois tipos de variáveis (tráfego e topológica) foi investigado através de análises de Regressão Linear, através do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, para cada período. A variável independente considerada foi a centralidade de intermediação e a variável dependente foi a velocidade média.

3. PROCEDIMENTOS E RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados das etapas descritas anteriormente no método.

3.1. Construção do grafo

O método foi aplicado em um estudo de caso na cidade de São Carlos, São Paulo, que tem uma frota com aproximadamente 172 mil veículos (DENATRAN, 2016) e uma população estimada para 2017 de 246 mil habitantes (IBGE, 2017). Para isso, foi selecionada uma área retangular de um quilômetro quadrado cujas características estão listadas a seguir:

- Extremidade esquerda inferior da *bounding box*: lat: -22.012507°; lon: -47.901518°
- Extremidade direita superior da *bounding box*: lat: -22.002253°; lon: -47.890928°
- Perímetro: 4,46 km
- Área: 1,25 km²

A região investigada está localizada nos limites do centro da cidade e compreende trechos de vias importantes no trânsito local (Avenida São Carlos e Avenida Doutor Carlos Botelho). Além disso, a área possui um grande espaço de interrupção da malha viária, devido a presença do Campus I da USP-São Carlos, conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3 Destaque do mapa de São Carlos com a área de estudo delimitada

Através do método descrito no item anterior, o grafo referente à malha viária foi construído e é demonstrado na Figura 4. O grafo gerado possui 239 nós e 391 arestas direcionadas. Os elementos do limite da área possuem grau 1, de forma semelhante aos elementos de extremidade de redes completas. Por ser uma rede interna da cidade, a análise da centralidade do grau dos elementos não consideraria a totalidade da rede e, por isso, os resultados de conectividade seriam equivocados. A propriedade centralidade de intermediação foi determinada para as arestas, a fim de fornecer parâmetro topológico apropriado para comparação com a variável de desempenho de tráfego.

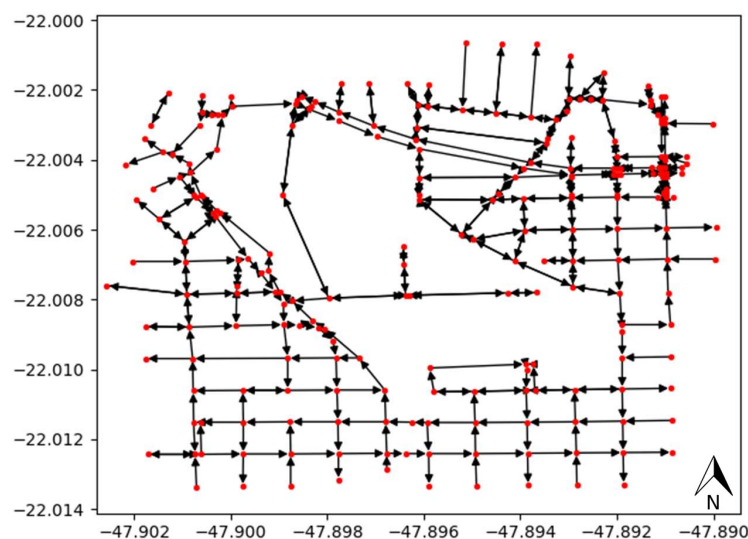


Figura 4 Grafo referente à malha viária da área de estudo

3.2. Banco de dados

Os dados de tráfego obtidos correspondem a uma semana do mês de agosto de 2017, desagregados em intervalos de cinco em cinco minutos, o que totalizou 2016 períodos coletados. Em 22,86% dos períodos coletados, não foram obtidos valores de velocidade média, conforme demonstrado no gráfico da Figura 5. Este comportamento foi observado em todos os dias analisados, de forma aproximadamente análoga. Isto ocorreu porque nestes períodos, nenhum dispositivo forneceu alguma informação de movimento em alguma das ruas coletadas.

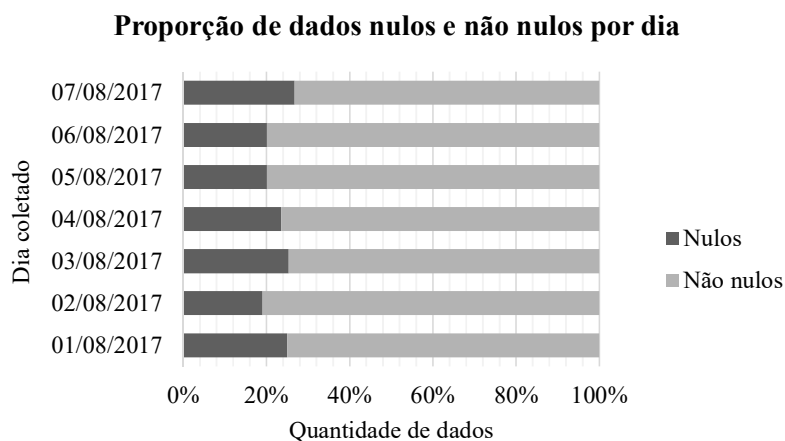


Figura 5 Proporção de quantidade de dados nulos e não nulos por dia

O gráfico da Figura 6 traz a frequência de ocorrência de dados nulos por intervalo. O gráfico mostra que a ausência de dados está concentrada no período matutino, com alta frequência nos horários correspondentes às madrugadas (entre 2:00 e 6:00).

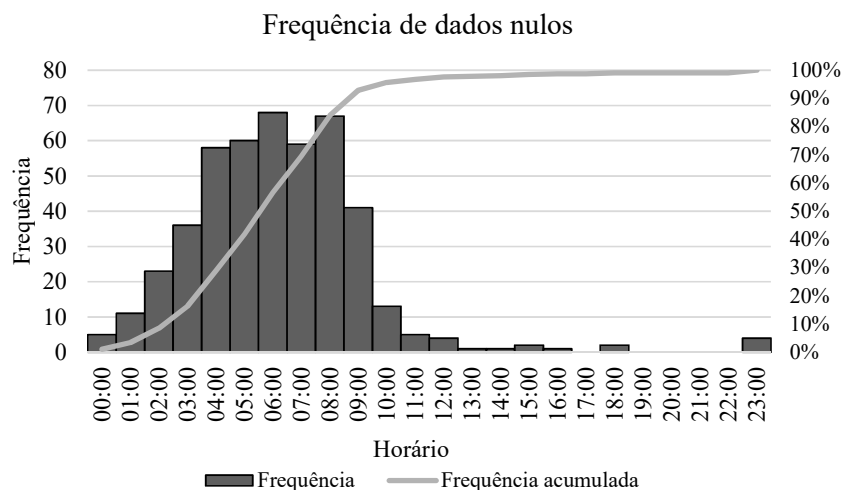


Figura 6 Gráfico de frequência de dados nulos por intervalo

3.3. Análises de correlação

O valor de centralidade de intermediação de cada aresta foi comparado com a velocidade média (*average speed*) dos veículos registrada no segmento de via referente a mesma aresta, conforme exemplo da Figura 7. Na Figura 7a os tamanhos dos nós e as larguras das arestas são proporcionais aos valores de centralidade de intermediação. A Figura 7b mostra a mesma região, porém as áreas sombreadas são proporcionais a velocidade média em cada trecho, no período entre 15:20 e 15:25 do dia 6/8/2017.

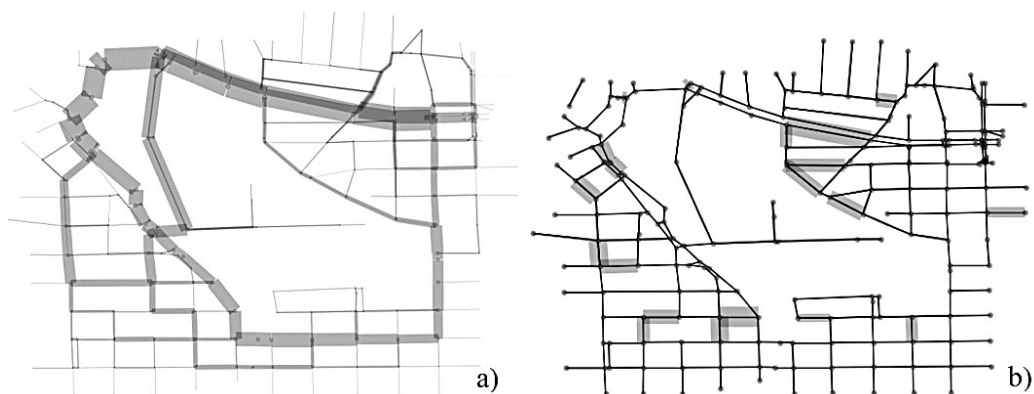


Figura 7 Representação proporcional a centralidade de intermediação (a) e a velocidade média no período de 15:20-15:25 (6/8/17) (b)

A Figura 8 mostra o gráfico de dispersão dos dados por via de centralidade de intermediação e velocidade média no período de 15:20-15:25 do dia 6/8/17.

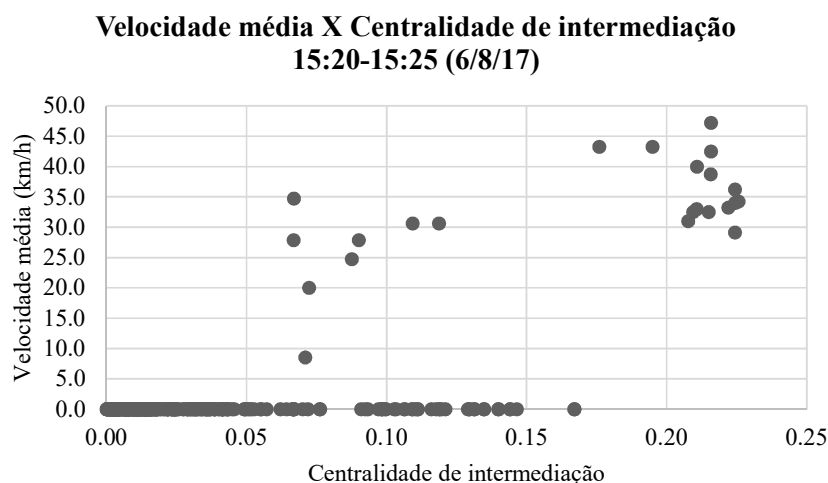


Figura 8 Gráfico de Velocidade média X Centralidade de intermediação por via no período de 15:20-15:25 (/8/17)

Conforme visto na Figura 7b, em muitas vias não foram detectadas informações de velocidade, o que justifica a presença de dados plotados no eixo horizontal do gráfico da Figura 8. A Tabela 7 mostra as estatísticas da análise de regressão linear dos dados do gráfico da Figura 8.

Tabela 7 Estatísticas de regressão

R múltiplo	0.689765	
R-Quadrado	0.475776	
R-quadrado ajustado	0.474428	
Erro padrão	5.793203	
Observações	391	
	Interseção	Valor avaliado
Coefficientes	-1.87553	109.3775
Erro padrão	0.356269	5.821177
Stat t	-5.26436	18.78959
valor-P	2.33E-07	1.63E-56
95% inferiores	-2.57598	97.93264
95% superiores	-1.17508	120.8225
Inferior 95.0%	-2.57598	97.93264
Superior 95.0%	-1.17508	120.8225

O valor de R^2 obtido com valores de significância aceitáveis, indica que 47,58% da variação velocidade média foi explicada pela variação da centralidade de intermediação. Estas análises foram realizadas para todos os períodos. A variação do grau de correlação ao longo da semana investigada está no gráfico da Figura 9.

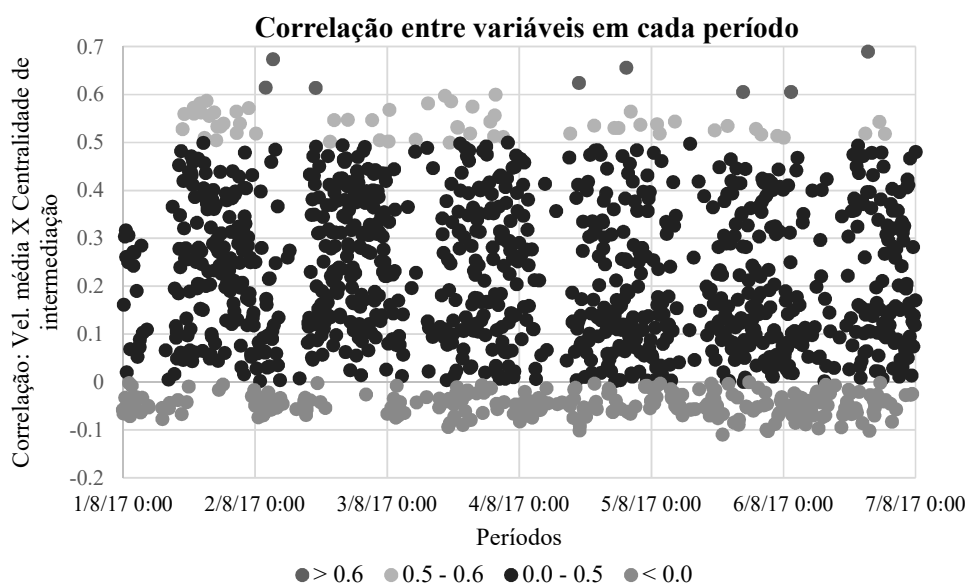


Figura 9 Gráfico da correlação entre velocidade média e centralidade de intermediação para cada período

Os valores de grau de correlação superiores a 0,60, estão presentes em 4 dos 7 dias analisados. Estes valores foram observados com maior frequência no dia 2 de agosto de 2017, que foi uma quarta. Valores entre 0,50 e 0,60 estão presentes em todos os dias da semana analisada, com maior frequência nos dias 1 e 3 de agosto de 2017, terça-feira e quinta-feira, respectivamente. Quanto aos intervalos horários, os valores de correlação não mostraram padrão de comportamento.

Os valores acima destacados (grau de correlação superiores a 0,50) indicam que nestes períodos, as vias com maior importância na manutenção da conectividade da rede foram percorridas com maior velocidade. Diante deste resultado, é válido lembrar que a área de estudo é um destaque da área central de uma cidade de médio porte, com poucas incidências de congestionamento, em comparação a grandes cidades. Por isso, é razoável supor que as vias principais são percorridas pelas velocidades próximas às máximas permitidas.

4. CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

O procedimento aplicado neste estudo coletou e organizou de forma automática os dados geométricos e de tráfego obtidos a partir da plataforma da *TomTom*. Outros objetivos alcançados foram a construção da rede da área de estudo em forma de grafo e a obtenção de parâmetros desagregados espacial e temporalmente. O trabalho mostrou que o método proposto é viável, pois foi possível a aplicação em uma área urbana real e atual, com emprego de dados contemporâneos. A ausência de dados verificada em mais de 20% dos períodos coletados não implica em comprometimento da pesquisa, visto que a maioria ocorreu em momentos normalmente de tráfego pequeno (madrugadas). Este lapso pode ser resolvido com a utilização combinada de bases de dados, de forma a abranger uma quantidade maior de dispositivos.

As rotinas computacionais foram aliadas com a base de dados formada por informações coletadas de forma contínua e precisa, através dos dispositivos equipados com GPS. Esta aliança proporcionou uma coleta de dados eficiente e prática, que, se realizada pelos meios

tradicionais, demandaria dias de esforços humanos e estaria sujeita a erros grosseiros de diversas naturezas.

Quanto à topologia da rede, a propriedade escolhida para as análises (centralidade de intermediação) destacou as vias que possuíam maior importância relativa na manutenção da conectividade da malha. Mesmo sendo um recorte da área urbana, os maiores valores da propriedade foram encontrados em arestas que coincidiam com trechos de vias principais da cidade (Avenida Trabalhador São-Carlense e Avenida São Carlos). Além disso, cabe destacar a relevância dos valores de centralidade de intermediação nas arestas que delimitam a interrupção do traçado urbano devido a presença do *campus*.

A exploração apresentada neste trabalho utilizou de forma conjunta dois tipos de dados descritivos de uma malha viária urbana (tráfego e topologia). A aplicação em redes mais completas ou de diferentes tamanhos pode mostrar resultados mais significativos e assim, capacitar o método como ferramenta expedita de planejamento urbano. Estas hipóteses podem ser testadas de forma mais prática com a proposta de extração de informações apresentada neste trabalho. A correlação verificada mostra o potencial de utilização das características topológicas na previsão do comportamento do tráfego, o que é interessante principalmente em cidades onde estes dados não são facilmente obtidos.

REFERÊNCIAS

Crucitti, P., Latora, V. and Porta, S. (2005) ‘Centrality Measures in Spatial Networks of Urban Streets’, *Physical Review*, Vol.73 ,pp. 1–4.

Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN, Ministério das Cidades (2016). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/pesquisa/22/0>

IBGE (2017), ‘População Estimada’, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>

Marchetti, S., Giusti, C., Pratesi, M., Salvati, N., Giannotti, F., Pedreschi, D., Rinzivillo, S., Pappalardo, L. e Gabrielli, L. (2015) ‘Small Area Model-Based Estimators Using Big Data Sources’, *Journal of Official Statistics*, Vol.31, pp. 263–281.

Morgul, E. F., Yang, H., Kurkcu, A., Ozbay, K., Bartin, B., Kamga, C. e Salloum, R. (2014) ‘Virtual Sensors’, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2442, pp. 106–116.

Newman, M. E. J. (2003) ‘The Structure and Function of Complex Networks’, *SIAM Review*, Vol. 45, pp. 167–256.

Pereira, R. H. M., Barros, A. P. B. G., Holanda, F. R. B. e Medeiros, V. A. S. (2011) ‘O uso da Sintaxe Espacial na Análise do Desempenho do Transporte Urbano: Limites e Potencialidades’, Texto para discussão 1630, *Ipea*, (1415–4765), p. 56.

Tang, J., Zhang, S., Zhang, W., Liu, F. e Zhang, W. (2016) ‘Statistical properties of urban mobility from location-based travel networks’, *Physica A*, Vol. 461, pp. 694–707.