



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

PROPOSTA DE PROGRAMA DE DOUTORADO

ACEITO A INCUMBÊNCIA DE ORIENTAR O PROGRAMA DE DOUTORADO DE ERICK SOBREIRO GONÇALVES, NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES, PROPONDO O SEGUINTE:

PROGRAMA DE DISCIPLINAS

DISCIPLINAS ELETIVAS		
SIGLA	NOME	CRÉDITOS
	A definir	

ASSINATURA DO ORIENTADOR: _____ DATA: _____

ASSINATURA DO ALUNO: _____ DATA: _____

ASSINATURA DO COORDENADOR: _____ DATA: _____



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

PLANO DE PESQUISA DE DISSERTAÇÃO E/OU TESE

ALUNO: ERICK SOBREIRO GONÇALVES

ORIENTADOR:

VISANDO: ☐ MESTRADO ☒ DOUTORADO

SUB-ÁREA: ☐ PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

☐ INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

☒ INFORMAÇÕES ESPACIAIS

☐ ENGENHARIA DE SISTEMAS LOGÍSTICOS

TÍTULO (PROVISÓRIO) DA DISSERTAÇÃO OU TESE:

Caracterização do nível de serviço da malha viária intermunicipal através da mineração de dados de transporte

DESCRIÇÃO RESUMIDA (NO MÁXIMO 08 LINHAS)

Atualmente é possível obter dados oriundos de movimentação de veículos por diversas fontes como rastreadores, câmeras entre outros recursos. Deduzir o comportamento do tráfego a partir destes dados pode ser de grande utilidade, desde o planejamento até a gestão dos sistemas de transporte.

Neste contexto, a variabilidade da velocidade e tempos de viagem vem sendo considerados importantes medidas na avaliação do nível de serviço em vias urbanas e rodovias.

Este trabalho tem por objetivo obter índices de serviço, padrões de variabilidade e fluxo (origem/destino) de rodovias e áreas urbanas através de técnicas de mineração de dados combinadas a análises geoespaciais. Os dados utilizados foram coletados a partir de mais de 5.000 câmeras distribuídas em zonas urbanas e rodovias estaduais no ano de 2017.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 / 3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

PLANO DE PESQUISA

1. Introdução e Objetivos.

A variabilidade do tráfego é resultado de diversos fatores, incluindo as características da via, demandas de mobilidade dos usuários, opções de modos de transporte entre outros (Kashfi et al., 2015; Tu et al., 2007).

Muitos pesquisadores vêm empreendendo esforços para compreender o comportamento do tráfego a partir da obtenção de dados e o processamento avançado dos mesmos, para a extração de informações que reflitam condições reais das vias (Kamga and Yazici, 2014).

Neste contexto a compreensão dos fluxos intermunicipais de cargas e passageiros bem como a interação das manchas urbanas, muitas vezes integradas à rede rodoviária constituem-se um grande desafio técnico. Além dos fluxos, a variabilidade diária e horária de indicadores como velocidade média e tempo de viagem são importantes medidas na avaliação do nível de serviço destas estruturas.

A variabilidade é o resultado da ação de diversos fatores sobre o fluxo de tráfego, como por exemplo: diversidade climática, veículos com diferentes portes e performance, não padronização de redes viárias, atrasos produzidos por intersecções, falhas nos sistemas de trânsito, falhas ou acidentes com veículos e pedestres, entre outros fatores (Liu et al., 2004).

A variabilidade é considerada por diversos autores como indicador do nível dos serviços de transporte (Chen et al., 2003) e custo benefício nos investimentos em transporte regional (Lyman and Bertini, 2008; Taylor, 2009; Waara et al., 2015).

Inúmeras técnicas estatísticas como a observação direta de medidas de dispersão, análises por árvores de regressão, redes neurais, entre outras técnicas vem sendo empregadas por diversos autores na compreensão da variabilidade (Chen et al., 2003; Chien and Kolluri, 2012; Franklin and Karlstrom, 2009; Janssens et al., 2006; Kamga and Yazici, 2014; Logendran et al., 2008; Martchouk et al., 2010; Mozolin et al., 2000; Patire et al., 2015; Tu et al., 2007; Van Lint et al., 2008; Xu et al., 2013).

Os estudos sobre variabilidade vem fazendo uso frequente de dados provenientes de telemetria, tais como: detectores de massa metálica, identificadores por rádio frequência, dispositivos Bluetooth, rastreadores GPS (Global Positioning System), aplicativos para telefones, dados de pedágios, reconhecimento de caracteres de placas, entre outras diferentes tecnologias capazes de rastrear veículos nas redes viárias (Kamga and Yazici, 2014; Patire et al., 2015).



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

A integração de diferentes fontes de dados para a compreensão abrangente das relações de causa e efeito da variabilidade requer processos analíticos estruturados, envolvendo métodos estatísticos e geoestatísticos, constituindo-se como mineração de dados de transporte.

Selby e Kockelman (2013) abordaram o problema da variabilidade e desempenho de vias sob a perspectiva geoestatística propondo a aplicação de métodos de interpolação aplicados a dados de volume de tráfego. Os autores avaliaram métodos distintos de regressão aplicados a dados obtidos através de contadores de tráfego no estado do Texas, Estados Unidos, comparando os métodos de Krigagem (Cressie, 1990), distância geográfica ponderada (Brunsdon et al., 1998) e métodos não geográficos, avaliando sua eficácia através da análise do erro quadrático. Os autores estabeleceram a Krigagem como uma ferramenta superior a outros métodos de análise, permitindo estabelecer estimativas confiáveis para médias de contagem.

Na busca pela criação de modelos estatísticos capazes fornecer representações fiéis da realidade seja através de métodos de predição, regressão ou algoritmos combinatórios, autores vêm incorporando diversas fontes de dados como observações meteorológicas, hábitos dos usuários, dados econométricos, entre outros, com objetivo de elucidar os padrões de transporte (Akin et al., 2011; Arentze and Timmermans, 2004; Chong et al., 2004; Chung et al., 2005; Dixit et al., 2017; Huang et al., 2017; Kamga and Yazici, 2014; Kim and Dongjoo, 2011; O'Connor, 2015; Park et al., 2008; Quddus, 2013; Shimbil, 1953; Stover and McCormack, 2012; Strambi and Van De Bilt, 1998; Tao et al., 2016; Xu et al., 2013; Yan et al., 2010).

Este trabalho propõe estabelecer os padrões de variabilidade de velocidades, tempos de viagem e fluxos (origem-destino) em todo o Estado de São Paulo, através da análise de dados desagregados de cerca de 6 bilhões de passagens de veículos registradas através de câmeras OCR pertencentes ao governo do Estado de São Paulo, estabelecendo as bases referencias para macromodelos de predição de demanda. Serão utilizados métodos de mineração de dados no âmbito estatístico e geoestatístico.

Esse trabalho será possível graças ao apoio da Divisão de Planejamento da Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo, que permitirá o uso desses dados (confidências) em suas dependências, beneficiando-se dos resultados obtidos em suas atividades técnicas cotidianas.

3. Conhecimentos Teóricos/Práticos.

Os conhecimentos teóricos necessários para a elaboração do projeto estão relacionados com o uso de árvores de regressão como CART - Classification & Regression Trees (Breiman et al., 1984), CHAID - Chi Square automatic interaction detector (Kass, 1980) e QUEST - Quick, Unbiased,



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

Efficient Statistical Tree (Loh and Shih, 1997) e redes neurais (Chong et al., 2004; Kumar and Yadav, 2011; Mozolin et al., 2000) aplicados a classificação de grandes conjuntos de dados associados a técnicas de regressão espacial, principalmente a krigagem (Cressie, 1990; Selby and Kockelman, 2013; Yang et al., 2018).

Do ponto de vista técnico, serão utilizados bancos de dados em conjunto com aplicações estatísticas e sistemas de informação geográfica.

4. Índice e Título dos Capítulos.

- 1.Introdução
- 2.Objetivos
- 3.Revisão Bibliográfica
- 4.Materiais e Métodos
- 5.Resultados
- 6.Conclusões
- 7.Considerações Finais
- 8.Referências Bibliográficas

5. Viabilidade: Materiais, Equipamentos, Laboratórios.

O projeto será desenvolvido no em conjunto com o programa de doutorado do Departamento de Engenharia de Transportes (PTR) da Universidade de São Paulo e Divisão de Planejamento da Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo.

As bases de dados serão disponibilizadas pela Divisão de Planejamento da Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo.

Serão utilizados bancos de dados como o Postgree SQL para modelagem dos dados associados a softwares estatísticos para análise e segmentação de dados. A partir de classes estabelecidas, sistemas



Departamento de Engenharia de Transportes

A partir dos dados acima listados, serão realizados os seguintes estudos:

- Revisão bibliográfica para métodos de mineração de dados, principalmente redes neurais e árvores de regressão;
- Revisão bibliográfica para métodos de regressão espacial como a Krigagem;
- Revisão bibliográfica para técnicas para avaliação na qualidade de serviços em rodovias e vias urbanas considerando a variabilidade estatística baseada em medidas de dispersão para indicadores como velocidade e tempos de viagem;

Espera que ao longo da pesquisa sejam estabelecidos índices capazes de identificar o nível de serviços para vias urbanas e intermunicipais independentemente da existência de indicadores de infraestrutura.

Outros resultados esperados são a tese do doutorado e a publicação de artigos científicos de circulação nacional e internacional, além da publicação em congressos nacionais e internacionais.

As atividades para desenvolvimento do projeto serão realizadas conforme cronograma:

[illegible]



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

8. Revisão Bibliográfica.

- Akin, D., Sisiopiku, V.P., Skabardonis, A., 2011. Impacts of weather on traffic flow characteristics of urban freeways in Istanbul. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 16, 89–99.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.432>
- Arentze, T.A., Timmermans, H.J.P., 2004. A learning-based transportation oriented simulation system. *Transp. Res. Part B Methodol.* 38, 613–633.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C.J., Olshen, R.A., 1984. *Classification and regression trees*. CRC press.
- Chen, C., Skabardonis, A., Varaiya, P., 2003. Travel-time reliability as a measure of service. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 74–79.
- Chien, S.I., Kolluri, K.K., 2012. Evaluation of freeway travel time variability and reliability under adverse weather with TRANSMIT data. *J. Civ. Eng. Archit.* 6, 1.
- Chong, M.M., Abraham, A., Paprzycki, M., 2004. Traffic accident analysis using decision trees and neural networks. *arXiv Prepr. cs/0405050*.
- Chung, E., Ohtani, O., Kuwahara, M., 2005. Effect of rainfall on travel time and travel demand, in: 5th ITS European Congress, Hannover, Germany.
- Cressie, N., 1990. The origins of kriging. *Math. Geol.* 22, 239–252.
- Dixit, V. V., Ortmann, A., Rutström, E.E., Ukkusuri, S. V., 2017. Experimental Economics and choice in transportation: Incentives and context. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 77, 161–184. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2017.01.011>
- Franklin, J., Karlstrom, A., 2009. Travel time reliability for Stockholm roadways: modeling mean lateness factor. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 106–113.
- Huang, A., Gallegos, L., Lerman, K., 2017. Travel analytics: Understanding how destination choice and business clusters are connected based on social media data. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 77, 245–256. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2016.12.019>
- Janssens, D., Wets, G., Brijs, T., Vanhoof, K., Arentze, T., Timmermans, H., 2006. Integrating Bayesian networks and decision trees in a sequential rule-based transportation model. *Eur. J. Oper. Res.* 175, 16–34. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.022>



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

- Kamga, C., Yazici, M.A., 2014. Temporal and weather related variation patterns of urban travel time: Considerations and caveats for value of travel time, value of variability, and mode choice studies. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 45, 4–16. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.02.020>
- Kashfi, S.A., Bunker, J.M., Yigitcanlar, T., 2015. Understanding the effects of complex seasonality on suburban daily transit ridership. *J. Transp. Geogr.* 46, 67–80. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.05.008>
- Kass, G. V., 1980. An Exploratory Technique for Investigating Large Quantities of Categorical Data. *Appl. Stat.* 29, 119. <https://doi.org/10.2307/2986296>
- Kim, S., Dongjoo, 2011. Estimating vehicle miles traveled (VMT) in urban areas using regression kriging. *J. Adv. Transp.* 47, 512–525. <https://doi.org/10.1002/atr>
- Kumar, M., Yadav, N., 2011. Multilayer perceptrons and radial basis function neural network methods for the solution of differential equations: A survey. *Comput. Math. with Appl.* 62, 3796–3811. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.09.028>
- Liu, H.X., Recker, W., Chen, A., 2004. Uncovering the contribution of travel time reliability to dynamic route choice using real-time loop data. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 38, 435–453. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.03.003>
- Logendran, R., Wang, L., others, 2008. Dynamic travel time estimation using regression trees.
- Loh, W.-Y., Shih, Y.-S., 1997. Split selection methods for classification trees. *Stat. Sin.* 815–840.
- Lyman, K., Bertini, R., 2008. Using travel time reliability measures to improve regional transportation planning and operations. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 1–10.
- Martchouk, M., Mannering, F.L., Singh, L., 2010. Travel Time Reliability in Indiana Final Report.
- Mozolin, M., Thill, J.C., Lynn Usery, E., 2000. Trip distribution forecasting with multilayer perceptron neural networks: A critical evaluation. *Transp. Res. Part B Methodol.* 34, 53–73. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(99\)00014-4](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(99)00014-4)
- O'Connor, A., 2015. An Analysis of the Predictive Capability of C5. 0 and Chaid Decision Trees and Bayes Net in the Classification of fatal Traffic Accidents in the UK.
- Park, K., Bell, M., Kaparias, I., Belzner, H., 2008. Soft discretization in a classification model for modeling adaptive route choice with a fuzzy id3 algorithm. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 20–28.
- Patire, A.D., Wright, M., Prodhomme, B., Bayen, A.M., 2015. How much GPS data do we need?



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900
Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 58, 325–342. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.011>

- Quddus, M., 2013. Exploring the Relationship Between Average Speed, Speed Variation, and Accident Rates Using Spatial Statistical Models and GIS. *J. Transp. Saf. Secur.* 5, 27–45. <https://doi.org/10.1080/19439962.2012.705232>
- Selby, B., Kockelman, K.M., 2013. Spatial prediction of traffic levels in unmeasured locations: Applications of universal kriging and geographically weighted regression. *J. Transp. Geogr.* 29, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.12.009>
- Shimbel, A., 1953. Structural parameters of communication networks. *Bull. Math. Biophys.* 15, 501–507.
- Stover, V.W., McCormack, E.D., 2012. The impact of weather on bus ridership in Pierce County, Washington. *J. Public Transp.* 15, 6.
- Strambi, O., Van De Bilt, K.-A., 1998. Trip generation modeling using CHAID, a criterion-based segmentation modeling tool. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 24–31.
- Tao, S., Corcoran, J., Hickman, M., Stimson, R., 2016. The influence of weather on local geographical patterns of bus usage. *J. Transp. Geogr.* 54, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.05.009>
- Taylor, A.J.P., 2009. Reliability and Cost Benefit Analysis in Australia and New Zealand. *Inst. Sustain. Syst. Technol. Univ. South Aust.*
- Tu, H., van Lint, H.W.C., van Zuylen, H.J., 2007. Impact of adverse weather on travel time variability of freeway corridors, in: *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*.
- Van Lint, J.W.C., Van Zuylen, H.J., Tu, H., 2008. Travel time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 42, 258–277.
- Waara, N., Brundell-Freij, K., Risser, R., Ståhl, A., 2015. Feasible provision of targeted traveler information in public transportation: Segmentation based on functional limitations. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 74, 164–173. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.01.004>
- Xu, Y., Kong, Q.-J., Liu, Y., 2013. Short-term traffic volume prediction using classification and regression trees, in: *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*. pp. 493–498.
- Yan, X., Richards, S., Su, X., 2010. Using hierarchical tree-based regression model to predict train--vehicle crashes at passive highway-rail grade crossings. *Accid. Anal. Prev.* 42, 64–74.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" - CEP 05508-900

Fones: (011) 3091-5208 /3091-5479 - FAX: (011) 3091-5716 - Caixa Postal 61548 CEP 05424-970

Departamento de Engenharia de Transportes

Yang, H., Yang, J., Han, L.D., Liu, X., Pu, L., Chin, S., Hwang, H., 2018. A Kriging based spatiotemporal approach for traffic volume data imputation. PLoS One 13, e0195957.