

**JOÃO DALLAMUTA
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)**

CONCEITOS E FERRAMENTAS NA ENGENHARIA DE TRANSPORTES



Atena
Editora
Ano 2019

João Dallamuta
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

Conceitos e Ferramentas na Engenharia de Transportes

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof^a Dr^a Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C744	Conceitos e ferramentas na engenharia de transportes [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-352-1 DOI 10.22533/at.ed.521192405 1. Engenharia de transportes – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Kanashiro, Otavio. CDD 629.04
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Esta obra é composta por pesquisas realizadas por professores, alunos de graduação e pós-graduação cujas linhas de pesquisa procura modelar e propor soluções para problemas práticos de transporte, sobretudo no cenário brasileiro

Os desafios da engenharia de transporte envolvem aspectos técnicos inerentes ao ofício de engenheiro, mas sobretudo humanos, uma vez que envolve diretamente questões ligadas a segurança. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o Brasil ocupa o quinto lugar entre os países recordistas em mortes no trânsito, atrás somente da Índia, China, Estados Unidos e Rússia. Considerando que dentre estas nações, apenas a Rússia apresenta população inferior a brasileira temos um trânsito violento tanto em indicadores absolutos quanto proporcionais.

Outros aspectos importantes no cenário de engenharia aplicada a problemas de trânsito é a eficiência. Temos uma matriz de transporte basicamente rodoviária e um ambiente regulatório e político complexo para mudar este cenário, via de regra nossos pesquisadores modelam e otimizam em cima de condições de contorno que não são nem de longe as melhores, como no dito popular, tiram leite de pedra. Ganhos de eficiência mesmo que pequenos, no Brasil são importantes, haja vista o cenário custoso (em valores monetários, tempo e riscos) que temos no Brasil.

E por fim, destacamos a importância da sustentabilidade. Há pouco mais de 40 anos atrás demos uma resposta a um problema, que na época era econômico e não de sustentabilidade, com o Proálcool. Atualmente novos desafios de sustentabilidade irão gerar impacto na engenharia de transporte. O biodiesel, veículos híbridos, elétricos e novas exigências legais de construção de vias tanto urbanas quanto intermunicipais, devem provocar mudanças nos paradigmas atuais.

Esta obra reunimos aspectos de modelagem, otimização e estudos de problemas práticos. Também são abordadas pesquisas nas áreas de construção e urbanismo. Todos os trabalhos com discussões de resultados e contribuições genuínas em suas áreas de conhecimento.

Boa leitura.

João Dallamuta
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
USO DE MODELAGEM DINÂMICA DE SISTEMAS CONECTADA A UM SIG PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS	
José Leomar Fernandes Júnior Simone Becker Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.5211924051	
CAPÍTULO 2	15
MODELOS DE CONTROLE SEMAFÓRICO PARA OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE TRÁFEGO EM VIAS URBANAS	
Ana Caroline Meireles Soares João Viana da Fonseca Neto Patrícia Helena Moraes Rêgo	
DOI 10.22533/at.ed.5211924052	
CAPÍTULO 3	26
MODELAGEM DE UMA REDE LOGÍSTICA REVERSA PARA COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
Adelaida Pallavicini Fonseca Milton Jonás Monteiro José Antonio Rodríguez Melquiades	
DOI 10.22533/at.ed.5211924053	
CAPÍTULO 4	44
SIMILARIDADES E DISSIMILITUDES DAS CARACTERÍSTICAS DOS CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO EM CIDADES GLOBAIS	
Maria Ivana Vanderlei Leonardo Herszon Meira Oswaldo Cavalcanti da Costa Lima Neto	
DOI 10.22533/at.ed.5211924054	
CAPÍTULO 5	60
SHOPPING CENTER COMO ATRATIVO DE CONDOMÍNIOS VERTICAIS E AS INFLUÊNCIAS NO TRÁFEGO VIÁRIO	
Maximillian Nascimento da Costa Jussara Socorro Cury Maciel	
DOI 10.22533/at.ed.5211924055	
CAPÍTULO 6	72
TRANSPORTES, ACESSIBILIDADE URBANA E AS CALÇADAS NA CIDADE DE SÃO PAULO	
Lucas de Souza Ramalhaes Feitosa Roberto Righi	
DOI 10.22533/at.ed.5211924056	

CAPÍTULO 7	88
REGULAÇÃO DO USO DO ESPAÇO PÚBLICO EM CIDADES DE PEQUENO PORTE: UMA ANÁLISE TEÓRICA ENTRE AS POLÍTICAS PÚBLICAS, A LEGISLAÇÃO E A PRÁTICA	
Dannúbia Ribeiro Pires	
Leonardo Herszon Meira	
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.5211924057	
CAPÍTULO 8	104
A RELAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO ESCOLAR E MELHORIAS DECORRENTES DE PROGRAMAS DE TRANSPORTE ESCOLAR RURAL: UM ESTUDO EM SANTA MARIA DO CAMBUCÁ – PE	
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento	
Mauricio Oliveira de Andrade	
Dannúbia Ribeiro Pires	
DOI 10.22533/at.ed.5211924058	
CAPÍTULO 9	119
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE DOSADAS PELA METODOLOGIA <i>SUPERPAVE</i>	
Matheus Covelo Machado	
Heraldo Nunes Pitanga	
Taciano Oliveira da Silva	
Adriano de Freitas Teixeira	
Valéria Martins da Costa Pena	
Giovani Levi Sant'Anna	
DOI 10.22533/at.ed.5211924059	
CAPÍTULO 10	135
CARACTERÍSTICAS DE VULNERABILIDADE EM IDOSOS E OBESOS NAS TRAVESSIAS DE PEDESTRE	
Frederico Souza Gualberto	
Janaína Amorim Dias	
Heloísa Maria Barbosa	
Marcelo Franco Porto	
Marconi Gomes da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.52119240510	
CAPÍTULO 11	151
DESASTRES NATURAIS: SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DE ABRIGOS PARA FLAGELADOS	
Manuela Marques Lalane Nappi	
João Carlos Souza	
DOI 10.22533/at.ed.52119240511	
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	167

MODELOS DE CONTROLE SEMAFÓRICO PARA OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE TRÁFEGO EM VIAS URBANAS

Ana Caroline Meireles Soares

Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Departamento de Engenharia de Eletricidade
São Luís - Maranhão

João Viana da Fonseca Neto

Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Departamento de Engenharia de Eletricidade
São Luís - Maranhão

Patrícia Helena Moraes Rêgo

Universidade Estadual do Maranhão – UEMA
Departamento de Engenharia da Computação
São Luís - Maranhão

RESUMO: Neste trabalho são propostos modelos para controle de tráfego urbano em cruzamentos isolados através de estratégias traçadas aos temporizadores utilizando controle fuzzy e análise de agrupamento. O objetivo do trabalho é apresentar três modelos de controle semafórico que consigam atuar da forma mais eficaz possível dada a situação atual em que o trânsito se encontra, e assim, controlar o fluxo de veículos em cruzamentos isolados através das estratégias traçadas aos semáforos. Os modelos propostos levam em consideração cruzamentos que apresentam Condição de Saída Única (CSU), isto é, cruzamentos com pelo menos uma origem que tem somente um destino permissível, em contraste aos modelos

convencionais, os quais são aplicáveis apenas aos cruzamentos onde cada origem está associada a mais de um destino, definição esta presente na maioria dos cruzamentos da cidade em estudo. Os modelos são compostos de três partes principais: a primeira parte é constituída da estimação da matriz OD (origem – destino) que é baseada em filtragem de Kalman a partir da contagem de tráfego nos cruzamentos da cidade em estudo. Esses dados são usados como entrada para a realização da segunda parte, que consiste em utilizar técnicas de agrupamento para extrair os conjuntos *fuzzy*, e com isso, inseri-los no controlador *fuzzy* que representa a terceira parte da metodologia aqui proposta, onde é estimado o melhor tempo para o semáforo.

PALAVRAS-CHAVES: Controle de tráfego, Estimação de Matriz OD, Sistema Fuzzy, Técnicas de agrupamento, Controle adaptativo.

ABSTRACT: In this paper, some models are proposed to control urban traffic in isolated crossings through strategies traced to the timers using fuzzy control and cluster analysis. The methodology is based on presenting three traffic control models that can act in the most effective way possible given the current situation in which the traffic is, and thus control the flow of vehicles in isolated crossings through the strategies traced to traffic lights. The proposed

models take into account crossings that present Single-Exit Condition (CSU), that is, crossings with at least one origin that has only one permissible destination, in contrast to conventional models, which are applicable only to crosses where each origin is associated with more than one destination. This type of condition is adopted due to the fact that most of the traffic lights in the city where the case study was applied present this condition, which made it impossible to obtain the OD matrix in a traditional way. The models are composed of three main parts: the first part consists of the estimation of the OD matrix (origin - destination) that is based on Kalman filtering from the traffic count at the crossroads of the study city. This data is used as an input to perform the second part, which consists of using clustering techniques to extract the fuzzy sets, and with that, insert them into the fuzzy controller that represents the third part of the methodology proposed here, where it is estimated best time for the traffic.

KEYWORDS: Traffic control, OD Matrix Estimation, fuzzy system, clustering techniques, adaptive control.

1 | INTRODUÇÃO

A população urbana cresce rapidamente nos centros urbanos e todo este crescimento faz com que a infraestrutura de transportes fique saturada, gerando lentidão, congestionamentos e aumentando o tempo que as pessoas passam dentro dos veículos (DESSBESELL, 2015), por isso tem-se investido muito em estratégias inovadoras, que originam o conceito de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), que tendem a proporcionar novas formas inovadoras suscetíveis a criar mobilidade sustentável nas comunicações e na sociedade da informação (FIGUEREDO, 2005).

Segundo (CASCETTA, 2009), o sistema de transporte consiste não apenas de elementos organizacionais ou físicos que interagem entre si para produzir oportunidade de transporte, como também da demanda (passageiros) que procura absorver as melhores oportunidades de transporte de um lugar a outro. Atrelado a este conceito de sistema de transporte, e a definição de SIT por (FIGUEREDO, 2005), surge a percepção de *Smart Cities*, que consistem em sistemas onde pessoas e processos interagem estrategicamente entre si com a finalidade de obter melhoria na qualidade de vida da população.

Muitas soluções, além do incentivo aos transportes de massa e ao uso de bicicletas, são mencionadas por especialistas em Urbanismo e Geografia Urbana e muitos são os debates com base neste assunto. Além destas soluções, uma das ferramentas mais eficazes utilizadas para soluções de problemas práticos são as técnicas de otimização de processos, que auxiliam no equacionamento adequado do transporte urbano, que é uma preocupação presente em todos os países devido à grande quantidade de moradores nas cidades (FERRAZ e TORRES, 2004).

Muitos trabalhos são desenvolvidos na área de otimização e controle de tráfego. (MARQUES, 2012) propõe um trabalho baseado na modelagem e otimização de

um sistema de transporte genérico, com o objetivo de encontrar um número ótimo para o dimensionamento da frota de veículos rodoviários. Partindo a uma linha similar, porém voltada para o controle, (DESSBESELL, 2015) propõe a simulação de controle adaptativo de tráfego urbano com o uso de sistema multiagentes através de estratégias traçadas aos semáforos. Já (LI, DRIDI e EL-MOUDNI, 2016) tem a proposta de um novo controle cooperativo com o objetivo de reduzir o tempo de atraso em uma interseção de vias que não apresentam semáforos. A otimização é realizada com o uso do algoritmo genético aplicado na sequência de passagem e enviado a cada veículo individualmente, onde os fluxos compatíveis são dinamicamente combinados.

Outros são baseados em sistemas inteligentes, como (FIGUEIREDO, 2005), que propõe um desenvolvimento de um simulador para apoio em tomada de decisão baseado em uma abordagem microscópica de condições reais de tráfego. Além de variados tipos de controle como o proposto por (CHEN, CHEN e HSIUNG, 2016), que propõe uma solução para os congestionamentos de trânsito através de um novo Modelo de Controle Preditivo (MCP) baseado em sistema de controle de luz.

Devido à grande demanda por melhorias no sistema de transporte, este trabalho tem a proposta de levantar modelos que possam ser aplicado na cidade de São Luís do Maranhão. A ideia principal é traçar estratégias de tempos aos semáforos com o objetivo de otimizar o fluxo de tráfego e com isso, aplicar-se um controle de tráfego da região, evitando ou diminuindo os congestionamentos. Para alcançar estes objetivos técnicas de agrupamento e controle fuzzy são propostas, o que enriquece e valoriza o trabalho proposto.

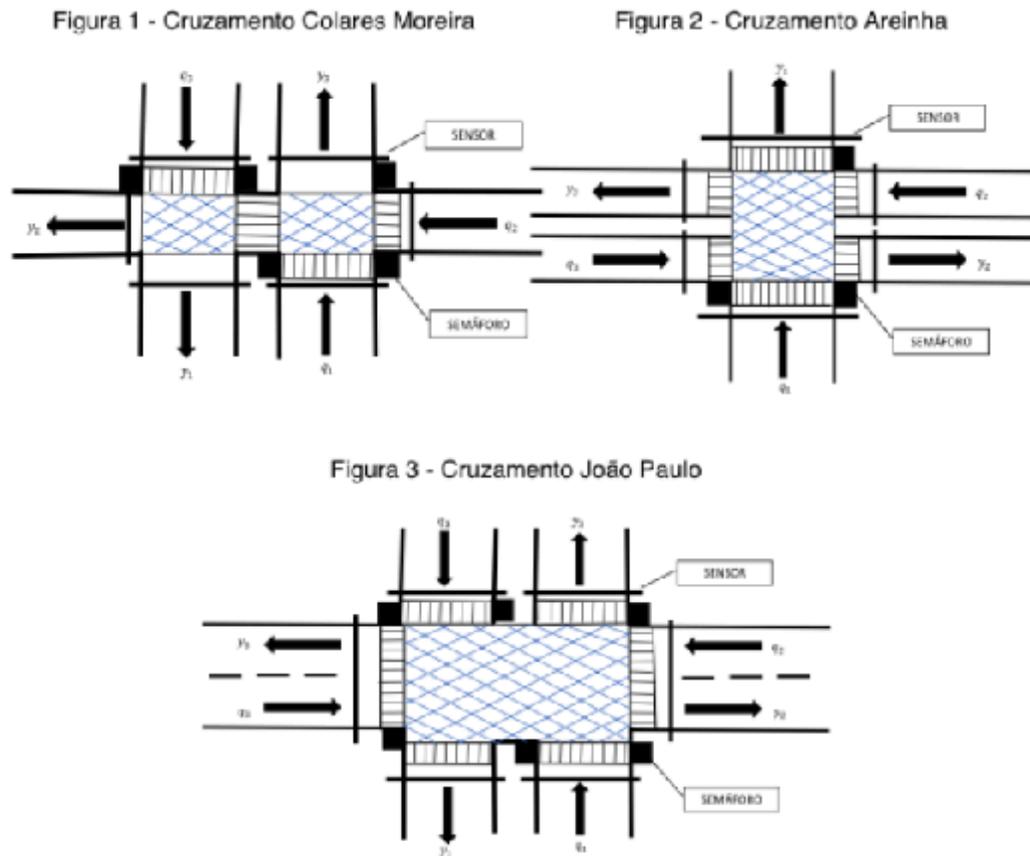
2 | METODOLOGIA

O presente trabalho está embasado nas metodologias propostas por (ANGULO, ROMERO, *et al.*, 2011) e (JAMSHIDNEJAD, SCHUTTER e MAHJOOB, 2015), porém algumas adequações são realizadas nas metodologias propostas para adaptar a aplicação na cidade em estudo. No presente trabalho são apresentados os resultados para três abordagens diferentes, utilizando técnicas de agrupamento diferentes das mencionadas nos artigos base, além disso, a abordagem desta dissertação está aplicada a cruzamentos isolados e não a cruzamentos em rede, como retratou os dois trabalhos supracitados.

A metodologia é dividida em três partes principais, sendo a primeira composta pela Estimção das matrizes OD. Esta primeira etapa é baseada no trabalho de (LI e MOOR, 1999), onde a estratégia é encontrar um vetor de probabilidades utilizando um estimador de estados, e adicionar as restrições de igualdade e desigualdades aos valores encontrados pelo estimador, obtendo-se assim, um resultado mais confiável. Ao trabalho base, é inserida uma etapa adicional ao algoritmo como contribuição ao método, visto que, ao ser aplicado em seu formato original aos cruzamentos com CSU, não apresentou resultados satisfatórios. O fato dos métodos tradicionais não

apresentarem resultados ao ser aplicado no estudo de caso em questão se deve ao CSU (Condição de Saída Única), condição apresentada na maioria dos cruzamentos na cidade e que impossibilita o uso do mesmo algoritmo. Esta condição permitiu a estes autores a autoria do artigo (SOARES, DA FONSECA NETO e RÊGO, 2018).

A metodologia desta etapa do trabalho consiste em considerar quatro cenários reais da cidade em estudo e mostrar os problemas que podem surgir para o cálculo da matriz OD devido a estrutura do sistema. Os cenários utilizados podem ser visto nas figuras 01 a 03, sendo o cenário 03 dividido em dois: um considerando o CSU e outro considerando sem CSU para representar os cruzamentos convencionais.



Deve-se formular uma tabela de movimentos conflitantes e proibidos, definir as dimensões das variáveis para o cruzamento em estudo e realizar a estimação do vetor de probabilidades através do filtro de Kalman.

Considerando os quatro cenários em estudo e as equações consideradas, é possível montar as matrizes de parâmetros “verdadeiros” que foram utilizadas na simulação (Tabela 1). Os parâmetros verdadeiros são as probabilidades de cada veículo sair de uma via e adentrar outra via representado pela probabilidade , onde representa a origem e o o destino da viagem, através do valor correto destas probabilidades é possível estimar o fluxo de carros no próximo instante de tempo. Estes valores são usados para testar o algoritmo.

CENÁRIO 01	CENÁRIO 02	CENÁRIO 3.1	CENÁRIO 3.2
$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0,5 & 0,3 & 0,2 \\ 0,6 & 0,4 & 0 \end{bmatrix}$	$B = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,5 & 0,2 \\ 0,4 & 0 & 0,6 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	$B = \begin{bmatrix} 0 & 0,4 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0,8 & 0,1 & 0 & 0,1 \\ 0,7 & 0,25 & 0,05 & 0 \end{bmatrix}$	$B = \begin{bmatrix} 0 & 0,23 & 0,414 & 0,356 \\ 0,051 & 0 & 0,149 & 0,8 \\ 0,352 & 0,358 & 0 & 0,29 \\ 0,083 & 0,843 & 0,074 & 0 \end{bmatrix}$

Tabela 1 - Tabela de “valores verdadeiros”

Os valores encontrados pelo algoritmo criado podem ser encontrados na Tabela 2.

nº	Valores encontrados	Valores de $b_j(t)$					
01	Estimador de Kalman	0.3009	0.3988	0.4993	1.0011	0.1998	0.6008
	Refinados pelas restrições -	0.3005	0.3990	0.5002	1.0000	0.1994	0.6010
	Valores Reais	0.500	0.6000	0.3000	0.2000	1.0000	0.2000
02	Estimador de Kalman	0.3008	0.3993	0.5020	0.9979	0.2007	0.5993
	Refinados pelas restrições -	0.3001	0.4000	0.4999	1.0000	0.2000	0.6000
	Valores Reais	0.3000	0.4000	0.5000	1.0000	0.2000	0.6000
3.1	Estimador de Kalman	0.7996	0.7003	0.3991	0.1006	0.2503	0.5990
	Refinados pelas restrições -	0.9984	0.0525	0.1001			
	Valores Reais	0.8053	0.6957	0.4092	0.0954	0.2448	0.5908
3.2	Estimador de Kalman	1.0000	0.0596	0.0993			
	Valores Reais	0.8000	0.7000	0.4000	0.1000	0.2500	0.6000
		1.0000	0.0500	0.1000			
3.2	Estimador de Kalman	0.0521	0.3518	0.0821	0.2292	0.3586	0.8431
	Refinados pelas restrições -	0.4126	0.1497	0.0747	0.3545	0.8004	0.2913
	Valores Reais	0.0552	0.3377	0.0920	0.2231	0.3684	0.8358
3.2	Estimador de Kalman	0.4118	0.1519	0.0723	0.3652	0.7929	0.2940
	Refinados pelas restrições -	0.0510	0.3520	0.0830	0.2300	0.3580	0.8430
	Valores Reais	0.4140	0.1490	0.0740	0.3560	0.8000	0.2900

Tabela 2 - Valores de $b_j(t)$ para comparação

O que permite comprovar que o algoritmo funcionou de forma correta, pois a diferença entre o valor estimado e o valor encontrado pelo algoritmo apresentam valores muito semelhantes.

Esta primeira etapa torna-se necessária para a coleta dos dados de fluxo em cada via dos cruzamentos estudados, pois em posse das probabilidades, seria possível prever o fluxo de carro que adentraram um cruzamento. Esses dados serão usados como entrada para a utilização das técnicas de agrupamento não-*fuzzy* e *fuzzy*.

Nesta segunda etapa, a intenção é utilizar técnicas de agrupamento como forma de extrair os conjuntos *fuzzy* a serem considerados no sistema de inferência. Optou-se por apresentar três abordagens diferentes para encontrar os conjuntos usados no sistema *fuzzy*. A primeira abordagem consiste em escolhê-los de forma manual, sem uso de nenhuma técnica computacional, apenas o conhecimento do próprio projetista. A segunda e a terceira usando técnicas de agrupamento. Foram escolhidas duas

conhecidas técnicas: *K-means* e o *Fuzzy C-means*. O *K-means* foi escolhido não só por sua popularidade em agrupamento de dados, como também pela sua simplicidade e velocidade, além de ser um algoritmo base para outros métodos de agrupamento. O *Fuzzy C-means* apresenta um funcionamento parecido, porém com uma característica *fuzzy*, pois apresenta o grau de pertinência e um fator de ponderação.

A primeira abordagem consiste no sistema de inferência *fuzzy* sem a utilização de algoritmos de agrupamento para a formação dos conjuntos *fuzzy*, ou seja, apenas através do conhecimento empírico do projetista. Como cada cruzamento apresenta características particulares, seria muito trabalhoso para o projetista ter que formar grupos para cada cruzamento, por isso, se propõe na segunda abordagem que estes mesmos conjuntos sejam formados pelo agrupamento não *fuzzy* *K-means*, tendo pouca ou nenhuma interferência do projetista. Na terceira abordagem a proposta está em utilizar uma técnica de agrupamento *fuzzy* (*Fuzzy C-means*) na intenção de obter resultados gerados pelo sistema *fuzzy* ainda mais satisfatórios, tendo menos ainda a interferência do projetista, aumentando a autonomia do sistema de controle. O objetivo é apresentar ao final do trabalho três modelos baseados nas três abordagens, mostrando as vantagens e desvantagens de cada modelo.

Após isso, a definição do melhor tempo estimado para o semáforo é encontrada considerando três abordagens diferentes: a primeira, onde o próprio projetista define os conjuntos *fuzzy*, ou seja, a primeira etapa do trabalho serve apenas como base para a decisão do projetista; a segunda, onde estes conjuntos são encontrados por técnica de agrupamento não-*fuzzy* e a terceira, onde os conjuntos são determinados por técnica de agrupamento *fuzzy*. Vale ressaltar que nas duas últimas abordagens, a primeira etapa torna-se essencial, diferente da primeira abordagem onde esta serve apenas como base para as decisões. Com isso formula-se três modelos de controle *fuzzy* que estimam o melhor tempo para o semáforo, e que atuam de forma adaptativa ao contexto real, evitando ou minimizando os congestionamentos.

3 | RESULTADOS

Considerando as três abordagens, os seguintes modelos são apresentados:

- Modelo 01 - Representado pela Figura 4. Este modelo pode funcionar sem o uso do banco de dados fornecido pelas matrizes OD, porém essas informações permitem a melhor escolha dos conjuntos *fuzzy* ao projetista. O modelo, como mostra a figura, é formado a partir dos seguintes passos: Definição dos conjuntos *fuzzy* – Formação das funções de pertinência do formato triangular – Definição dos tempos dos semáforos.

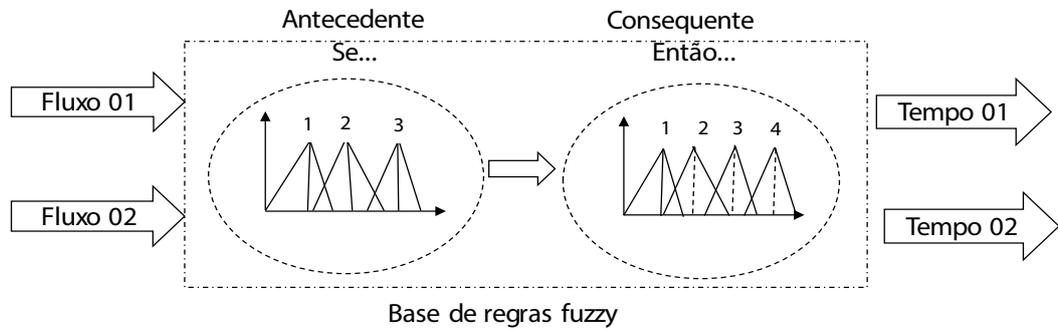


Figura 4 - Modelo 01

- Modelo 02 – Representado pela Figura 5, basicamente consiste em: Coleta de dados – Estimação de – Obtenção das matrizes OD para formar o banco de dados - Agrupamento *K-means* dos dados de entrada e saída de forma independente - Definição das funções de pertinência do formato triangular a partir dos dados agrupados – Formação das regras *fuzzy* com base nas funções formadas – Definição dos tempos dos semáforos pelo consequente.

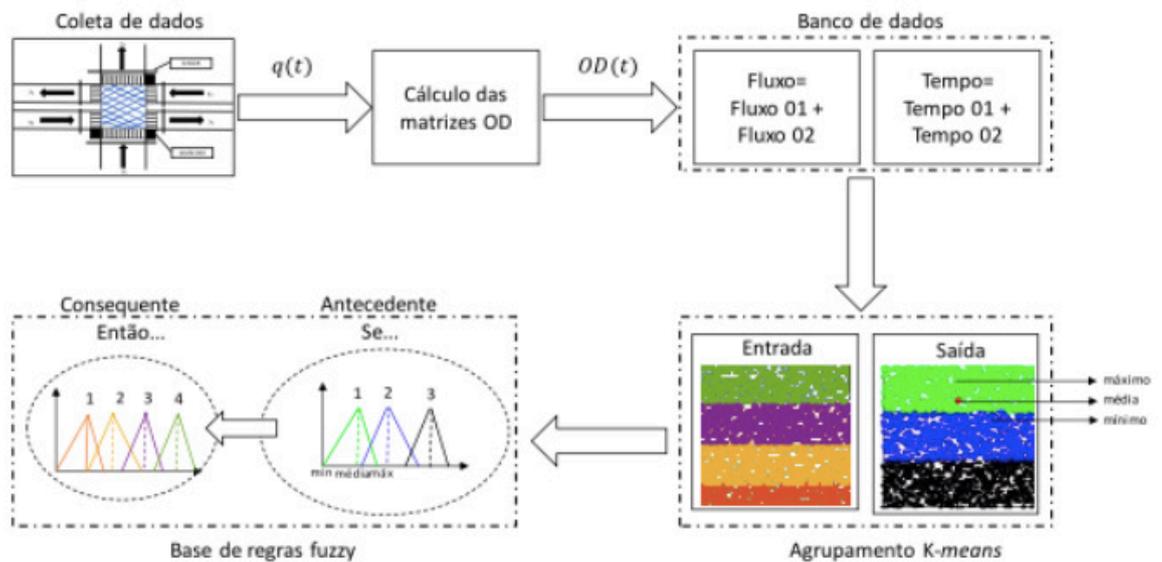


Figura 5 - Modelo 02

- Modelo 03 – Representado pela Figura 6, difere-se do Modelo 02 por utilizar outro tipo de algoritmo de agrupamento, que permite formação automática das funções de pertinência, sem definição do projetista pelo seu formato. Representado pela consiste em: Coleta de dados – Estimação de – Obtenção das matrizes OD para formar o banco de dados - Agrupamento *Fuzzy C-means* dos dados de entrada e saída de forma independente - Formação automática dos conjuntos *fuzzy* com funções de pertinência em formato de gaussiana para formação das regras *fuzzy* – Definição dos tempos dos semáforos.

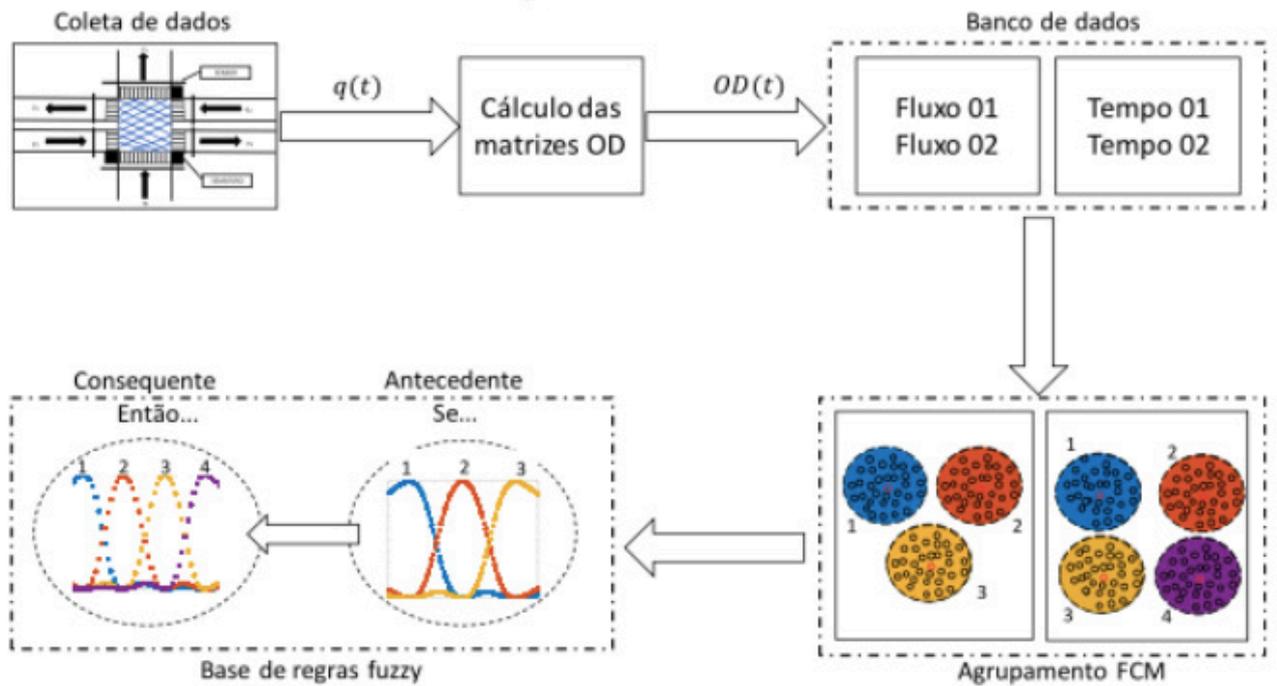


Figura 6 - Modelo 03

Através destas medidas, pretende-se controlar o fluxo de veículos em um cruzamento isolado.

Para avaliação dos modelos propostos foram considerados um conjunto de dados experimentais com uma amostra de 20 pares ordenados (Fluxo01, Fluxo02) para serem usados como entrada, simulando uma coleta de aproximadamente 3 horas. Os dados podem ser vistos na Figura 7.

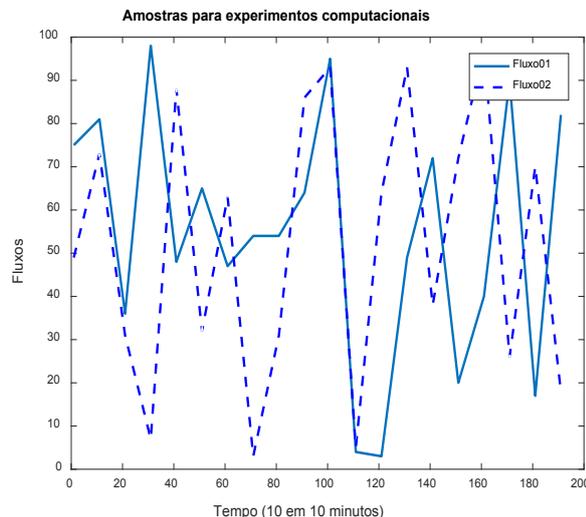


Figura 7 - Dados experimentais

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de três modelos de controle de tráfego para cruzamentos isolados, onde são traçadas estratégias aos temporizadores

de semáforos utilizando controle fuzzy e análise de agrupamento. Para isso, o trabalho é dividido em três partes principais: Estimação da matriz OD, agrupamento de dados para formação dos conjuntos fuzzy e estimação do melhor tempo para os semáforos.

O Modelo 01 não apresenta abordagem adaptativa, pois os conjuntos são definidos pelo próprio projetista, devendo este fazer alterações sempre que necessário. Já os dois últimos modelos ajustam seus conjuntos de forma adaptativa. A estratégia de apresentar os três modelos é adotada para que sejam feitas conclusões com base nas técnicas utilizadas.

Para os resultados dos modelos apresentados é possível expor algumas conclusões: O Modelo 01, onde os conjuntos fuzzy são definidos com base no conhecimento do projetista, apresenta a desvantagem de não ser adaptativo e por isso, em um determinado momento em que o fluxo de carros supera os valores definidos nos conjuntos formados, o controlador não vai conseguir estimar o tempo. Além disso, é muito complicado para o projetista ter que analisar vários cruzamentos de forma isolada e decidir cada conjunto, pois cada cruzamento apresenta fluxo de carros diferentes, e um valor que pode representar uma grande quantidade de carros em um local, pode representar pouca quantidade em outro, ou vice-versa, sendo esta a principal desvantagem do modelo. Como vantagem deste, é possível citar a simplicidade de implementação e o baixo tempo de processamento do algoritmo, visto que não depende da etapa de estimação da matriz OD.

Já o Modelo 02 é composto por um controlador adaptativo fuzzy indireto. O fato de apresentar atuação adaptativa é a sua principal vantagem. Como desvantagem é ressaltada a limitação do modelo na formação das funções de pertinência, que são convencionadas ao formato triangular, o que nem sempre será a melhor representação dos conjuntos. É possível que seja feita uma análise preliminar de cada cruzamento e escolhido um outro tipo da função de pertinência, mas para isso, pequenas alterações devem ser feitas no modelo e adequá-lo à situação proposta, sendo esta possibilidade de adequação considerada uma vantagem do modelo. O tempo de processamento do algoritmo neste modelo é o mais elevado dos três apresentados, mesmo assim, pode-se considerar uma boa opção de implementação do mundo real.

No Modelo 03 as funções de pertinência são geradas automaticamente pelo algoritmo de agrupamento, mostrando esta vantagem sobre os outros modelos apresentados, e com isso, muitas linhas de código são eliminadas neste modelo, o que reduz significativamente o tempo de processamento do algoritmo, que é o menor de todos os modelos apresentados. A única desvantagem encontrada até o momento consiste na complexidade um pouco maior desse modelo em relação a implementação, porém nada significativo comparado aos resultados.

Tendo em vista os resultados apresentados pelos três modelos é possível perceber que todos apresentam resultados satisfatórios, com pouca variação de um modelo para outro, exceto em alguns instantes, mas que não apresentam diferenças significativas se testadas a longo prazo. Os três modelos apresentam suas vantagens

e desvantagens, cabendo ao projetista a decisão de qual dos três modelos melhor se encaixa na problemática adotada.

Todas as etapas deste trabalho podem ser encontradas em (SOARES, DA FONSECA NETO e RÊGO, 2018).

REFERÊNCIAS

ANGULO, E. et al. An adaptive approach to enhanced traffic signal optimization by using soft-computing techniques. **Expert Systems with Applications**, p. 2235-2247, 2010.

ANGULO, E. et al. An adaptive approach to enhanced traffic signal optimization by using soft-computing techniques. **Expert Systems with Applications**, 2235-2247, n. 38, 2011. 2235-2247.

CASCETTA, E. **Transportation System Analysis: Models and Applications**. New York: Springer, 2009.

CHEN, Y.-R.; CHEN, K.-P.; HSIUNG, P.-A. Dynamic Traffic Light Optimization and Control System using Model-Predictive Control Method. **International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)**, n. 19, 1-4 Novembro 2016. 2366-2371.

CREMER, M.; KELLER, H. **A new class of dynamic methods for the identification of origin–destination flows**. Transportation Research 21B. [S.l.]: [s.n.]. 1987. p. 117-132.

DESSBESELL, G. **Dissertação de Mestrado: SIMULAÇÃO DE CONTROLE ADAPTATIVO DE TRÁFEGO URBANO ATRAVÉS DE SISTEMA MULTIAGENTES E COM BASE EM DADOS REAIS**. Santa Cruz do Sul. 2015.

DESSBESELL, G. J. **Tese de Doutorado: Simulação de controle adaptativo de tráfego urbano através de sistema multiagentes e com base em dados reais**. Santa Cruz do Sul. 2015.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte público urbano**. 2^a. ed. São Carlos: RiMa, 2004.

FIGUEIREDO, L. M. B. **Tese de doutorado: Sistemas Inteligentes de Transporte**. Porto. 2005.

FIGUEREDO, L. M. B. **Dissertação de mestrado: Sistemas Inteligentes de Transporte**. Porto. 2005.

JAMSHIDNEJAD, A.; SCHUTTER, B. D.; MAHJOOB, M. **Urban traffic control using fuzzy multi agent system**. European Control Conference (ECC). Linz, Austria: July 15-17. 2015.

LI, B.; MOOR, B. D. **Recursive estimation based on the equality-constrained optimization for intersection origin–destination matrices**. Transportation Research Part B 33. [S.l.]: Elsevier Science Ltd. 1999. p. 203–214.

LI, J.; DRIDI, M.; EL-MOUDNI, A. A cooperative traffic control for the vehicles in the intersection based on the Genetic Algorithm. **IEEE**, p. 627-632, 2016.

MARQUES, J. A. L. C. **Dissertação de mestrado: Modelagem e otimização para planejamento de transporte de passageiros com restrições de custo e qualidade de serviço**. São Luís. 2012.

SIMON, D. **Optimal State Estimation - Kalman, H, and Nonlinear Approches**. Canadá: John Wiley & Sons, 2006.

SOARES, A. C. M.; DA FONSECA NETO, J. V.; RÊGO, P. H. Estimation of origin-destination matrix via meta heuristic search with substitution in intersections presenting single-exit condition. **International**

Conference on Electrical, Electronics, Computers, Communication, Mechanical and Computing,
28 e 29 Janeiro 2018.

SOARES, A. C. M.; DA FONSECA NETO, J. V.; RÊGO, P. H. M. **Modelos de controle semafórico fuzzy adaptativo para cruzamentos - Aplicado a cruzamentos isolados.** [S.l.]: OmniScriptum Publishing Group, 2018.

SÖDERSTRÖM, T.; STOICA, P. **System Identification.** New York London Toronto Sydney Tokyo:
Prentice Hall, 1989.

SOBRE OS ORGANIZADORES

JOÃO DALLAMUTA: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com Gestão da Inovação, Empreendedorismo e Inteligência de Mercado.

RENNAN OTAVIO KANASHIRO - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-352-1

