

Universidade Federal de Santa Catarina
Atividades de Pesquisa
Formulário de Tramitação e Registro

Situação: **Aprovação/Depto Coordenador**
 Protocolo nº: **2013.1401**

Título:	Análise e controle em tempo real de sistemas de tráfego urbano com base no diagrama fundamental macroscópico
Resumo:	Desde a década de 1960 pesquisadores procuram estabelecer teorias que descrevem o comportamento agregado do tráfego em cidades. Como resultado de mais de quatro décadas de estudos surgiu o conceito de Diagrama Fundamental Macroscópico (DFM) que relaciona a produção de uma malha viária urbana com a acumulação de veículos em suas vias. Em 2008 a existência do DFM foi verificada para a região central da cidade de Yokohama no Japão com base em dados de campo. Desde então diversos pesquisadores vêm investigando as condições para a existência e os aspectos que afetam a forma do diagrama: homogeneidade da distribuição do fluxo, posicionamento dos detectores veiculares, tipo de via, etc. Embora alguns estudos tenham avaliado também o efeito do controle de tráfego, eles se limitaram a dados de campo obtidos sob controle a tempos fixos, enquanto estudos envolvendo controle em tempo real basearam-se principalmente em dados de simulação. Este trabalho consiste primeiramente em verificar a existência e estudar o efeito do controle de tráfego no DFM com base nos dados de campo de duas cidades brasileiras, Macaé/RJ e Mauá/SP. Os dados de campo foram coletados tanto com controle a tempos fixos como sob a operação de controle em tempo real. A importância desta análise reside no fato que o DFM vem sendo usado para derivação de leis de controle perimétrico de malhas viárias, porém sem um conhecimento adequado de como o DFM é afetado pelo controle interno à malha. Espera-se que os resultados desta análise deem subsídios para a compreensão do comportamento agregado do tráfego via DFM sujeito ao controle de tráfego, tanto a tempos fixos como em tempo real, e para a derivação de ferramentas de análise e de novas estratégias de controle. Com base nestes resultados e nos dados de campo, pretende-se reproduzir o comportamento em ambiente de microsimulação de tráfego que será usado para o teste e desenvolvimento de estratégias de controle de tráfego urbano. Um estudo de viabilidade dos métodos propostos será realizado para a Baixada Santista onde um sistema de controle de tráfego em tempo real está sendo instalado. Trabalhos recentes mostram que estratégias de controle baseadas no conceito de DFM podem obter melhorias nos atrasos e nas velocidades médias de malhas viárias urbanas em cerca de 30%.
Palavras chave: (máximo 5)	diagrama fundamental macroscópico; tráfego urbano; controle de tráfego
Grande Área do conhecimento:	Engenharias
Área do conhecimento:	Engenharia de Transportes
Nome do Grupo de Pesquisa: (CNPq - Diretório)	Grupo de Pesquisa em Automação e Sistemas - GPAS
Está vinculado a outro projeto de pesquisa?	
Período de realização:	12/01/2013 a 11/30/2016
A atividade receberá algum aporte financeiro?:	Sim
Orçamento Total:	R\$ 15000
Financiador:	CNPQ

Propriedade Intelectual (o resultado do projeto é ou poderá ser protegido por):	
---	--

■ ■ ■ **Envolvidos neste projeto de pesquisa**

Coordenador	
Nº do SIAPE:	1953788
Nome do Coordenador:	Rodrigo Castelan Carlson
CPF do Coordenador:	2974396933
Departamento:	CAMPUS DE JOINVILLE
Centro:	CAMPUS DE JOINVILLE
Regime de trabalho:	DE
Fone de contato:	37214883
E-mail:	rodrigo.carlson@ufsc.br
Carga horária semanal nesta atividade:	8 horas
Receberá remuneração nesta atividade de pesquisa?	Não

Você gostaria de participar do guia de fontes da UFSC?	Não
---	-----

Outros prof. ou servidores da UFSC envolvidos?	Sim
Alunos da UFSC envolvidos?	Sim
Pessoas externas à UFSC envolvidas?	Não

Participantes
Participante: Rodolfo Cesar Costa Flesch CTC-DEPTO DE AUTOMACAO E SISTEMAS
Participante: WERNER KRAUS JUNIOR CTC-DEPTO DE AUTOMACAO E SISTEMAS

Outras Considerações
Projeto aprovado com recursos da CHAMADA UNIVERSAL – MCTI/CNPq Nº 14/2013. ++++++ Notas da CPE: anexar projeto de pesquisa. ++++++

Nº do Processo:	2013.1401
-----------------	-----------

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE

ANÁLISE E CONTROLE EM TEMPO REAL DE SISTEMAS DE TRÁFEGO URBANO
COM BASE NO DIAGRAMA FUNDAMENTAL MACROSCÓPICO

Proposta para a Chamada Universal
MCTI/CNPq Nº 14/2013

Rodrigo Castelan Carlson

Joinville, maio de 2013

ANÁLISE E CONTROLE EM TEMPO REAL DE SISTEMAS DE TRÁFEGO URBANO COM BASE NO DIAGRAMA FUNDAMENTAL MACROSCÓPICO

Proposta para a Chamada Universal
MCTI/CNPq N° 14/2013

Rodrigo Castelan Carlson

RESUMO: Desde a década de 1960 pesquisadores procuram estabelecer teorias que descrevem o comportamento agregado do tráfego em cidades. Como resultado de mais de quatro décadas de estudos surgiu o conceito de Diagrama Fundamental Macroscópico (DFM) que relaciona a produção de uma malha viária urbana com a acumulação de veículos em suas vias. Em 2008 a existência do DFM foi verificada para a região central da cidade de Yokohama no Japão com base em dados de campo. Desde então diversos pesquisadores vêm investigando as condições para a existência e os aspectos que afetam a forma do diagrama: homogeneidade da distribuição do fluxo, posicionamento dos detectores veiculares, tipo de via, etc. Embora alguns estudos tenham avaliado também o efeito do controle de tráfego, eles se limitaram a dados de campo obtidos sob controle a tempos fixos, enquanto estudos envolvendo controle em tempo real basearam-se principalmente em dados de simulação. Este trabalho consiste primeiramente em verificar a existência e estudar o efeito do controle de tráfego no DFM com base nos dados de campo de duas cidades brasileiras, Macaé/RJ e Mauá/SP. Os dados de campo foram coletados tanto com controle a tempos fixos como sob a operação de controle em tempo real. A importância desta análise reside no fato que o DFM vem sendo usado para derivação de leis de controle perimétrico de malhas viárias, porém sem um conhecimento adequado de como o DFM é afetado pelo controle interno à malha. Espera-se que os resultados desta análise deem subsídios para a compreensão do comportamento agregado do tráfego via DFM sujeito ao controle de tráfego, tanto a tempos fixos como em tempo real, e para a derivação de ferramentas de análise e de novas estratégias de controle. Com base nestes resultados e nos dados de campo, pretende-se reproduzir o comportamento em ambiente de microsimulação de tráfego que será usado para o teste e desenvolvimento de estratégias de controle de tráfego urbano. Um estudo de viabilidade dos métodos propostos será realizado para a Baixada Santista onde um sistema de controle de tráfego em tempo real está sendo instalado. Trabalhos recentes mostram que estratégias de controle baseadas no conceito de DFM podem obter melhorias nos atrasos e nas velocidades médias de malhas viárias urbanas em cerca de 30%.

PALAVRAS CHAVE: diagrama fundamental macroscópico, tráfego urbano, controle de tráfego

1. IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA

Título do projeto: Análise e controle em tempo real de sistemas de tráfego urbano com base no diagrama fundamental macroscópico

Proponente/coordenador: Prof. Rodrigo Castelan Carlson, Dr.

Ano de obtenção do título de doutor: 2011

CPF: 029.743.969-33

Instituição executora: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Grupo de pesquisa (CNPq): Grupo de Pesquisa em Automação e Sistemas – GPAS – UFSC

Instituições parceiras: Universidade Técnica de Creta

Empresas parceiras: Brascontrol Indústria e Comércio LTDA.

Duração do projeto: 36 meses

Natureza do projeto: Pesquisa tecnológica

Faixa: A

Recurso solicitado: R\$ 29.695,75

2. CARACTERIZAÇÃO

O contínuo crescimento do número de veículos em circulação e a constante expansão das áreas metropolitanas levaram ao aparecimento diário de congestionamentos. As consequências sociais e econômicas dos congestionamentos são enormes: atraso veicular, redução da segurança no tráfego, estresse, desperdício de combustível e poluição ambiental. Nos Estados Unidos, por exemplo, os custos decorrentes de congestionamentos em áreas urbanas em 2009 ultrapassaram os US\$ 115 bilhões (SCHRANK; LOMAX; TURNER, 2010). Já na Europa, estima-se que se medidas drásticas não forem tomadas, os custos decorrentes de congestionamentos aumentarão significativamente, atingindo a cifra de € 200 bilhões por ano em 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2011). No Brasil, cerca de 35 % da população brasileira enfrenta congestionamentos diariamente (IPEA, 2011). No caso do sistema viário, é sabido que a mera expansão da infraestrutura não é a solução definitiva para estes problemas. Por outro lado, é comprovado que medidas de controle adequadas podem gerar melhorias significativas nas condições de tráfego (PAPAGEORGIOU et al., 2003). O desenvolvimento destas estratégias de controle depende da correta modelagem do sistema de tráfego urbano e do uso de ferramentas adequadas da teoria de controle e disciplinas correlatas.

Desde a década de 1960 pesquisadores procuram estabelecer teorias que descrevem o comportamento agregado do tráfego em cidades (GEROLIMINIS; DAGANZO, 2008). Daganzo (2007) propôs o primeiro modelo macroscópico capaz de descrever o comportamento do tráfego nos

horários de pico. De acordo com o modelo de Daganzo a taxa com que veículos deixam a malha viária estava relacionada com o número de veículos na malha viária (acumulação). Posteriormente, Geroliminis e Daganzo (2007) reformularam a teoria e estabeleceram que: (i) regiões homogeneamente congestionadas possuem um Diagrama Fundamental Macroscópico (DFM) que relaciona a produção com a acumulação de uma malha viária, e (ii) a taxa com que veículos deixam a malha viária é proporcional à produção. Em 2008 a existência do DFM foi verificada para a região central da cidade de Yokohama no Japão com base em dados de campo coletados de laços indutivos e complementada com dados coletados de veículos equipados com GPS da frota de táxis (GEROLIMINIS; DAGANZO, 2008).

Desde a publicação do trabalho de Geroliminis e Daganzo (2008) diversos pesquisadores (BUISSON; LADIER, 2009; DAGANZO; GAYAH; GONZALES, 2011; DAGANZO; GEROLIMINIS, 2008; GEROLIMINIS; SUN, 2011; HELBING, 2009; JI et al., 2010; LAVAL, 2010) vêm investigando as condições para a existência e os aspectos que afetam a forma do diagrama: homogeneidade da distribuição do fluxo, posicionamento dos detectores veiculares, tipo de via, etc. Embora alguns estudos tenham avaliado também o efeito do controle de tráfego, eles se limitaram a dados de campo obtidos sob controle a tempos fixos (BUISSON; LADIER, 2009; LAVAL, 2010), enquanto estudos envolvendo controle em tempo real basearam-se principalmente em dados de simulação (JONG, 2012; LAVAL, 2010; ZHANG; GARONI; DE GIER, 2013).

Este trabalho consiste primeiramente em verificar a existência e estudar o efeito do controle de tráfego no DFM com base nos dados de campo de duas cidades brasileiras, Macaé/RJ e Mauá/SP. Os dados de campo foram coletados tanto com controle a tempos fixos como sob a operação de controle em tempo real. A estratégia de controle usada em Macaé foi a TUC, que calcula em tempo real os valores de tempos de verde, de ciclo e de defasagem (KRAUS et al., 2010). Em Mauá foi utilizada uma estratégia híbrida, com os módulos de controle de ciclo e de defasagem da TUC e o controle dos tempos de verdes realizado por uma técnica baseada no método de Webster (PECCIN, 2009).

A importância da análise proposta reside no fato que o DFM vem sendo usado para derivação de leis de controle perimétrico de malhas viárias (ABOUDOLAS; GEROLIMINIS, 2013; GEROLIMINIS; HADDAD; RAMEZANI, 2013; KEYVAN-EKBATANI et al., 2012), porém sem um conhecimento adequado de como o DFM é afetado pelo controle interno à malha. Espera-se que os resultados desta análise deem subsídios para a compreensão do comportamento agregado do tráfego via DFM sujeito ao controle de tráfego, tanto a tempos fixos como em tempo real, e para a derivação de novas ferramentas de análise e de novas estratégias de controle. Será a primeira vez que um estudo envolvendo o DFM é conduzido com dados de cidades brasileiras, que podem também revelar diferenças em relação às cidades de outros países em virtude de diferenças culturais, da frota, legais e da infraestrutura que afetam o comportamento dos motoristas.

Com base nestes resultados e nos dados de campo, pretende-se reproduzir o comportamento em um ambiente de microsimulação de tráfego (TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS, 2012) que

será usado no projeto para o teste e desenvolvimento de estratégias de controle de tráfego urbano do tipo controle perimétrico, tanto monvariável como multivariável (para múltiplas regiões). Resultados recentes em simulação de uma malha viária real indicam que melhorias significativas podem ser obtidas no desempenho do tráfego, como aumento nas velocidades médias em cerca de 30% (KEYVAN-EKBATANI et al., 2012).

O projeto será concluído com a aplicação das ferramentas de análise desenvolvidas na avaliação de um estratégia de controle que está sendo implantada na Baixada Santista. A viabilidade de utilização das estratégias de controle perimétrico propostas na Baixada Santista também será avaliada.

3. OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

3.1. Objetivo Geral

Desenvolver ferramentas de análise e estratégias de controle de tráfego urbano baseadas no DFM.

3.2. Objetivos Específicos

- Verificar a existência do DFM para as duas malhas viárias estudadas.
- Estudar o efeito do controle de tráfego urbano a tempos fixos no DFM.
- Estudar o efeito do controle de tráfego em tempo real no DFM, em particular isolar os efeitos do controle de ciclo, do controle de defasagem e do controle de tempos de verde.
- Comparar o efeito de cada uma das duas estratégias aplicadas, a TUC e a híbrida; em particular, verificar se a distribuição do tráfego resultante da estratégia TUC tende a diminuir a dispersão de dados do DFM comparada à estratégia híbrida.
- Verificar a possibilidade de partição (JI; GEROLIMINIS, 2012) das malhas viárias estudadas e como o controle de tráfego afeta a partição.
- Construir um modelo de simulação microscópico de uma das malhas viárias que reproduza o comportamento agregado do tráfego como observado em campo.
- Desenvolver e testar estratégias de controle de tráfego urbano para malhas viárias simples (monovariável).
- Desenvolver e testar estratégias de controle de tráfego urbano para malhas viárias particionadas (multivariável).
- Avaliar o desempenho do sistema instalado na Baixada Santista com as ferramentas desenvolvidas.
- Avaliar a viabilidade de utilizar as estratégias de controle desenvolvidas na Baixada Santista.

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho são considerados os conjuntos de dados diários para cada malha viária registrados em bancos de dados. Assim, cada dia registrado no banco de dados terá que ser analisado individualmente por meio das séries temporais de fluxo e de ocupação para excluir dias em que houve falha na coleta de dados, dias que apresentam anormalidades, por exemplo em virtude de incidentes ou condições meteorológicas adversas, e não existência de congestionamento (demanda baixa). Os dados também serão classificados conforme o dia da semana em que foram coletados, período (letivo, não letivo), tipo de operação (a tempos fixos, em tempo real). Além das medições também serão extraídos os planos de tráfego que vigoraram no período da coleta.

Após a filtragem dos dados de campo o procedimento adotado será semelhante ao de Geroliminis e Daganzo (2008) baseada na construção dos DFMs, da série temporal de fluxo e da série temporal de ocupação para cada conjunto de dados, e da análise estatística dos dados. Como deseja-se estudar o efeito do controle de tráfego, a variabilidade dos diagramas será estudada com base nas temporizações semaforicas coletadas tanto de tempo fixo como de tempo real. Serão tomadas como base as metodologias de Buisson e Ladier (2009), Laval (2010) e Jong (2012).

A construção do modelo da malha viária no simulador é feita conforme o manual do programa (TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS, 2012). Será construído o modelo apenas da malha viária que apresentar os melhores resultados com os dados de campo. Não há método padrão para a calibração e validação, mas será seguida uma coletânea de diretrizes elaboradas por diferentes instituições e disponibilizadas pelo projeto MULTITUDE (<http://www.multitude-project.eu/>).

O desenvolvimento das estratégias de controle seguirá a metodologia tradicional de projeto estabelecida pela engenharia de controle (SEBORG; EDGAR; MELLICHAMP, 1989). Será tomado como base o modelo de tráfego desenvolvido e utilizado por (KEYVAN-EKBATANI et al., 2012), com as devidas modificações resultantes da análise de dados feita neste projeto.

Por fim a metodologia a ser empregada na avaliação do desempenho do sistema de controle de tráfego na Baixada Santista vai depender das ferramentas desenvolvidas na parte inicial deste projeto. Igualmente a avaliação de viabilidade de aplicação das estratégias de controle dependerá da forma de aplicação das estratégias desenvolvidas.

5. CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

São os principais resultados esperados deste projeto:

- 1) Ferramentas de análise de desempenho de sistemas de controle de tráfego urbano baseados no DFM como resultado da análise de dados de campo.
- 2) Estratégias de controle de tráfego urbano aplicáveis na prática baseadas no DFM, com as quais espera-se obter melhorias significativas de desempenho do tráfego urbano.

3) Modelo de malha viária calibrado e validado em simulador de tráfego microscópico que reproduz o comportamento agregado do tráfego como observado em campo e servirá de base para estudos futuros.

4) Análise de desempenho e viabilidade do controle na Baixada Santista.

Além disso espera-se produzir:

- 1) 2 artigos em conferência nacional;
- 2) 2 artigos em conferência internacional;
- 3) Trabalhos em seminários de iniciação científica;
- 4) 2 artigos em periódicos internacionais;
- 5) 1 relatório de projeto.

6. ORÇAMENTO DETALHADO, OUTRAS FONTES DE RECURSOS E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

6.1. Orçamento Detalhado

CUSTEIO			
Item	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Passagem para participação em congresso nacional	5	R\$ 800,00	R\$ 4.000,00
Diárias para participação em congresso nacional	25	R\$ 187,83	R\$ 4.695,75
CAPITAL			
Item	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Licença de <i>software</i> micros simulador de tráfego AIMSUN. Inclui atualização automática e suporte técnico pela duração do projeto (3 anos).	2	R\$ 10.500,00	R\$ 21.000,00
TOTAL:			R\$ 29.695,75

6.2. Outras Fontes de Recursos

Recursos financeiros adicionais, ainda a serem definidos, serão obtidos por meio de projeto de pesquisa relacionado a este, envolvendo a instalação de sistema de controle de tráfego em tempo real na Baixada Santista do qual a UFSC é detentora da propriedade junto com a Brascontrol Indústria e Comércio LTDA.

Um plano de atividades relacionado a este projeto foi submetido para a chamada do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Pesquisa Científica (PIBIC/CNPq – PIBIC-Af/CNPq – BIPI/UFSC) 2013/2014.

6.3. Cronograma Físico-Financeiro

Atividade	Mês																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
Coleta, Filtragem e preparação de dados	█	█	█	█	█	█	█	█																															
Análise de dados						█	█	█	█	█	█	█	█	█																									
Modelagem, calibração e validação											█	█	█	█	█	█																							
Análise, projeto e teste de controle monovariável															█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█												
Análise, projeto e teste de controle multivariável															█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█												
Análise de desempenho da Baixada Santista																										█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Viabilidade de controle perimétrico na Baixada Santista																										█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Redação de artigo ou relatório												█	█						█	█						█	█						█	█	█	█	█	█	█
Desembolso	Mês 1																	Mês 18-20										Mês 28-30											
	R\$ 21.000,00																	R\$ 5217,45										R\$ 3478,30											

7. EQUIPE E INFRAESTRUTURA

7.1. Equipe

A equipe será formada por alunos de graduação e de pós-graduação, e por professores pesquisadores do Centro de Engenharias da Mobilidade (Campus Joinville), e do Departamento de Automação e Sistemas e do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e Sistemas (Campus Florianópolis) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Nome	Cargo
Rodrigo Castelan Carlson (coordenador)	Professor Adjunto
Werner Kraus Junior	Professor Associado
Rodolfo César Costa Flesch	Professor Adjunto
Eduardo Rauh Müller	Doutorando
Aluno de pós-graduação	Mestrando
Aluno de graduação	Iniciação científica

O projeto será realizado com cooperação do Laboratório de Sistemas Dinâmicos e Simulação (DSSL) do Departamento de Engenharia de Produção e Gerência da Universidade Técnica de Creta (TUC). A UFSC possui parceria com o DSSL/TUC desde 2004 que resultou no sistema de controle de tráfego instalado nas cidades de Macaé/RJ e Mauá/SP, e a ser instalado na Baixada Santista.

Nome	Cargo
Markos Papageorgiou	<i>Professor</i> (equivalente a Professor Titular)
Mehdi Keyvan-Ekbatani	Doutorando

Um outro projeto de pesquisa relacionado a este está sendo estabelecido entre a UFSC e Brascontrol Indústria e Comércio LTDA envolvendo a instalação de sistema de controle de tráfego em tempo real na Baixada Santista do qual a UFSC é detentora da propriedade junto com a empresa. O coordenador do projeto será o professor Werner Kraus Junior.

Nome	Cargo
Tiago Corrêa	Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento

7.2. Infraestrutura

As instalações do Centro de Engenharias da Mobilidade do Campus Joinville, do Departamento de Automação e Sistemas de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e Sistemas oferecem laboratórios de informática com condições de trabalho para os pesquisadores e alunos envolvidos no projeto.

Além disso a execução deste projeto depende de:

- 1) **Dados de campo das cidades de Macaé/RJ e Mauá/SP:** os dados de campo da cidade de Macaé já estão disponíveis em uma cópia do banco de dados do período de meados de

2008 a meados de 2010. Como a central de controle de tráfego foi desligada, não há disponibilidade de novos dados. Temos acesso direto ao banco de dados da central de controle de tráfego de Mauá. Uma cópia do banco de dados pode ser feita a qualquer momento para se trabalhar *offline*.

- 2) **Sistema de banco de dados MySQL:** o MySQL é usado nas centrais de controle de tráfego de Macaé e Mauá, e é necessário para manipular as cópias dos bancos de dados das centrais. Trata-se de *software* de código aberto que pode ser obtido gratuitamente pela internet: <http://www.mysql.com>.
- 3) **Simulador de tráfego AIMSUN:** duas licenças de software e respectivas chaves de *hardware* serão adquiridas com recursos do projeto.
- 4) **Material bibliográfico:** o material necessário pode ser acessado pela rede UFSC ou em alguns casos adquirido pelo serviço de comutação bibliográfica.
- 5) **Dados da Baixada Santista:** serão disponibilizados pela empresa parceira Brascontrol Indústria e Comércio LTDA também envolvida em projeto correlato dedicado exclusivamente à Baixada Santista.

REFERÊNCIAS

ABOUDOLAS, K.; GEROLIMINIS, N. **Feedback perimeter control for multiregion and heterogeneous congested cities.** In: TRB 92nd annual meeting. Washington, D.C., USA: 2013.

BUISSON, C.; LADIER, C. Exploring the impact of homogeneity of traffic measurements on the existence of macroscopic fundamental diagrams. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2124, p. 127–136, 2009.

DAGANZO, C. F. Urban gridlock: macroscopic modeling and mitigation approaches. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 41, n. 1, p. 49–62, 2007.

DAGANZO, C. F.; GAYAH, V. V.; GONZALES, E. J. Macroscopic relations of urban traffic variables: bifurcations, multivaluedness and instability. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 45, n. 1, p. 278–288, 2011.

DAGANZO, C. F.; GEROLIMINIS, N. An analytical approximation for the macroscopic fundamental diagram of urban traffic. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 42, n. 9, p. 771–781, 2008.

EUROPEAN COMMISSION. **Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource efficient transport system.** Brussels, Belgium: European Comission, 2011.

GEROLIMINIS, N.; DAGANZO, C. F. **Macroscopic Modeling of Traffic in Cities.** In: TRB 86th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM. Washington, D.C., USA: 2007.

GEROLIMINIS, N.; DAGANZO, C. F. Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: some experimental findings. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 42, n. 9, p. 759–770, 2008.

GEROLIMINIS, N.; HADDAD, J.; RAMEZANI, M. Optimal perimeter control for two urban regions with macroscopic fundamental diagrams: a model predictive approach. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 14, n. 1, p. 348–359, 2013.

GEROLIMINIS, N.; SUN, J. Properties of a well-defined macroscopic fundamental diagram for urban traffic. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 45, n. 3, p. 605–617, 2011.

HELBING, D. Derivation of a fundamental diagram for urban traffic flow. **The European Physical Journal B**, v. 70, n. 2, p. 229–241, 2009.

IPEA. **Sistema de Indicadores de Percepção Social - Mobilidade Urbana**. IPEA, 2011.

JI, Y. et al. Investigating the shape of the macroscopic fundamental diagram using simulation data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2161, p. 40–48, 2010.

JI, Y.; GEROLIMINIS, N. On the spatial partitioning of urban transportation networks. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 46, n. 10, p. 1639–1656, 2012.

JONG, D. DE. **The effect of network structure and signal settings on the macroscopic fundamental diagram**. MSc Thesis—Delft, The Netherlands: Delft University of Technology, 2012.

KEYVAN-EKBATANI, M. et al. Exploiting the fundamental diagram of urban networks for feedback-based gating. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 46, n. 10, p. 1393–1403, 2012.

KRAUS, W. et al. Cost Effective Real-Time Traffic Signal Control Using the TUC Strategy. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 2, n. 4, p. 6–17, 2010.

LAVAL, J. A. **The effect of signal timing and network irregularities in the macroscopic fundamental diagram**. In: Traffic Flow Theory and Characteristics Committee (Ahh45) Summer Meeting of the Transportation Research Board. Annecy: 2010.

PAPAGEORGIOU, M. et al. Review of road traffic control strategies. **Proceedings of the IEEE**, v. 91, n. 12, p. 2043–2067, 2003.

PECCIN, V. B. **Implantação de Sistema de Controle de Tráfego em Tempo Real de Cruzamentos Isolados**. Diploma—Florianópolis, SC, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SCHRANK, D.; LOMAX, T.; TURNER, S. **Urban Mobility Report 2010**. Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, 2010. Disponível em: <<http://mobility.tamu.edu>>. Acesso em: 22 maio 2011.

SEBORG, D.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A. **Process Dynamics and Control**. New York: Wiley, 1989.

TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS. **AIMSUN Dynamic Simulator Users Manual v. 7**, 2012.

ZHANG, L.; GARONI, T. M.; DE GIER, J. A comparative study of macroscopic fundamental diagrams of arterial road networks governed by adaptive traffic signal systems. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 49, p. 1–23, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE

ANÁLISE E CONTROLE EM TEMPO REAL DE SISTEMAS DE TRÁFEGO URBANO
COM BASE NO DIAGRAMA FUNDAMENTAL MACROSCÓPICO

Proposta para a Chamada Universal
MCTI/CNPq Nº 14/2013

Rodrigo Castelan Carlson

Joinville, maio de 2013

ANÁLISE E CONTROLE EM TEMPO REAL DE SISTEMAS DE TRÁFEGO URBANO COM BASE NO DIAGRAMA FUNDAMENTAL MACROSCÓPICO

Proposta para a Chamada Universal
MCTI/CNPq N° 14/2013

Rodrigo Castelan Carlson

RESUMO: Desde a década de 1960 pesquisadores procuram estabelecer teorias que descrevem o comportamento agregado do tráfego em cidades. Como resultado de mais de quatro décadas de estudos surgiu o conceito de Diagrama Fundamental Macroscópico (DFM) que relaciona a produção de uma malha viária urbana com a acumulação de veículos em suas vias. Em 2008 a existência do DFM foi verificada para a região central da cidade de Yokohama no Japão com base em dados de campo. Desde então diversos pesquisadores vêm investigando as condições para a existência e os aspectos que afetam a forma do diagrama: homogeneidade da distribuição do fluxo, posicionamento dos detectores veiculares, tipo de via, etc. Embora alguns estudos tenham avaliado também o efeito do controle de tráfego, eles se limitaram a dados de campo obtidos sob controle a tempos fixos, enquanto estudos envolvendo controle em tempo real basearam-se principalmente em dados de simulação. Este trabalho consiste primeiramente em verificar a existência e estudar o efeito do controle de tráfego no DFM com base nos dados de campo de duas cidades brasileiras, Macaé/RJ e Mauá/SP. Os dados de campo foram coletados tanto com controle a tempos fixos como sob a operação de controle em tempo real. A importância desta análise reside no fato que o DFM vem sendo usado para derivação de leis de controle perimétrico de malhas viárias, porém sem um conhecimento adequado de como o DFM é afetado pelo controle interno à malha. Espera-se que os resultados desta análise deem subsídios para a compreensão do comportamento agregado do tráfego via DFM sujeito ao controle de tráfego, tanto a tempos fixos como em tempo real, e para a derivação de ferramentas de análise e de novas estratégias de controle. Com base nestes resultados e nos dados de campo, pretende-se reproduzir o comportamento em ambiente de microsimulação de tráfego que será usado para o teste e desenvolvimento de estratégias de controle de tráfego urbano. Um estudo de viabilidade dos métodos propostos será realizado para a Baixada Santista onde um sistema de controle de tráfego em tempo real está sendo instalado. Trabalhos recentes mostram que estratégias de controle baseadas no conceito de DFM podem obter melhorias nos atrasos e nas velocidades médias de malhas viárias urbanas em cerca de 30%.

PALAVRAS CHAVE: diagrama fundamental macroscópico, tráfego urbano, controle de tráfego

1. IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA

Título do projeto: Análise e controle em tempo real de sistemas de tráfego urbano com base no diagrama fundamental macroscópico

Proponente/coordenador: Prof. Rodrigo Castelan Carlson, Dr.

Ano de obtenção do título de doutor: 2011

CPF: 029.743.969-33

Instituição executora: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Grupo de pesquisa (CNPq): Grupo de Pesquisa em Automação e Sistemas – GPAS – UFSC

Instituições parceiras: Universidade Técnica de Creta

Empresas parceiras: Brascontrol Indústria e Comércio LTDA.

Duração do projeto: 36 meses

Natureza do projeto: Pesquisa tecnológica

Faixa: A

Recurso solicitado: R\$ 29.695,75

2. CARACTERIZAÇÃO

O contínuo crescimento do número de veículos em circulação e a constante expansão das áreas metropolitanas levaram ao aparecimento diário de congestionamentos. As consequências sociais e econômicas dos congestionamentos são enormes: atraso veicular, redução da segurança no tráfego, estresse, desperdício de combustível e poluição ambiental. Nos Estados Unidos, por exemplo, os custos decorrentes de congestionamentos em áreas urbanas em 2009 ultrapassaram os US\$ 115 bilhões (SCHRANK; LOMAX; TURNER, 2010). Já na Europa, estima-se que se medidas drásticas não forem tomadas, os custos decorrentes de congestionamentos aumentarão significativamente, atingindo a cifra de € 200 bilhões por ano em 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2011). No Brasil, cerca de 35 % da população brasileira enfrenta congestionamentos diariamente (IPEA, 2011). No caso do sistema viário, é sabido que a mera expansão da infraestrutura não é a solução definitiva para estes problemas. Por outro lado, é comprovado que medidas de controle adequadas podem gerar melhorias significativas nas condições de tráfego (PAPAGEORGIOU et al., 2003). O desenvolvimento destas estratégias de controle depende da correta modelagem do sistema de tráfego urbano e do uso de ferramentas adequadas da teoria de controle e disciplinas correlatas.

Desde a década de 1960 pesquisadores procuram estabelecer teorias que descrevem o comportamento agregado do tráfego em cidades (GEROLIMINIS; DAGANZO, 2008). Daganzo (2007) propôs o primeiro modelo macroscópico capaz de descrever o comportamento do tráfego nos

horários de pico. De acordo com o modelo de Daganzo a taxa com que veículos deixam a malha viária estava relacionada com o número de veículos na malha viária (acumulação). Posteriormente, Geroliminis e Daganzo (2007) reformularam a teoria e estabeleceram que: (i) regiões homogeneamente congestionadas possuem um Diagrama Fundamental Macroscópico (DFM) que relaciona a produção com a acumulação de uma malha viária, e (ii) a taxa com que veículos deixam a malha viária é proporcional à produção. Em 2008 a existência do DFM foi verificada para a região central da cidade de Yokohama no Japão com base em dados de campo coletados de laços indutivos e complementada com dados coletados de veículos equipados com GPS da frota de táxis (GEROLIMINIS; DAGANZO, 2008).

Desde a publicação do trabalho de Geroliminis e Daganzo (2008) diversos pesquisadores (BUISSON; LADIER, 2009; DAGANZO; GAYAH; GONZALES, 2011; DAGANZO; GEROLIMINIS, 2008; GEROLIMINIS; SUN, 2011; HELBING, 2009; JI et al., 2010; LAVAL, 2010) vêm investigando as condições para a existência e os aspectos que afetam a forma do diagrama: homogeneidade da distribuição do fluxo, posicionamento dos detectores veiculares, tipo de via, etc. Embora alguns estudos tenham avaliado também o efeito do controle de tráfego, eles se limitaram a dados de campo obtidos sob controle a tempos fixos (BUISSON; LADIER, 2009; LAVAL, 2010), enquanto estudos envolvendo controle em tempo real basearam-se principalmente em dados de simulação (JONG, 2012; LAVAL, 2010; ZHANG; GARONI; DE GIER, 2013).

Este trabalho consiste primeiramente em verificar a existência e estudar o efeito do controle de tráfego no DFM com base nos dados de campo de duas cidades brasileiras, Macaé/RJ e Mauá/SP. Os dados de campo foram coletados tanto com controle a tempos fixos como sob a operação de controle em tempo real. A estratégia de controle usada em Macaé foi a TUC, que calcula em tempo real os valores de tempos de verde, de ciclo e de defasagem (KRAUS et al., 2010). Em Mauá foi utilizada uma estratégia híbrida, com os módulos de controle de ciclo e de defasagem da TUC e o controle dos tempos de verdes realizado por uma técnica baseada no método de Webster (PECCIN, 2009).

A importância da análise proposta reside no fato que o DFM vem sendo usado para derivação de leis de controle perimétrico de malhas viárias (ABOUDOLAS; GEROLIMINIS, 2013; GEROLIMINIS; HADDAD; RAMEZANI, 2013; KEYVAN-EKBATANI et al., 2012), porém sem um conhecimento adequado de como o DFM é afetado pelo controle interno à malha. Espera-se que os resultados desta análise deem subsídios para a compreensão do comportamento agregado do tráfego via DFM sujeito ao controle de tráfego, tanto a tempos fixos como em tempo real, e para a derivação de novas ferramentas de análise e de novas estratégias de controle. Será a primeira vez que um estudo envolvendo o DFM é conduzido com dados de cidades brasileiras, que podem também revelar diferenças em relação às cidades de outros países em virtude de diferenças culturais, da frota, legais e da infraestrutura que afetam o comportamento dos motoristas.

Com base nestes resultados e nos dados de campo, pretende-se reproduzir o comportamento em um ambiente de microsimulação de tráfego (TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS, 2012) que

será usado no projeto para o teste e desenvolvimento de estratégias de controle de tráfego urbano do tipo controle perimétrico, tanto monvariável como multivariável (para múltiplas regiões). Resultados recentes em simulação de uma malha viária real indicam que melhorias significativas podem ser obtidas no desempenho do tráfego, como aumento nas velocidades médias em cerca de 30% (KEYVAN-EKBATANI et al., 2012).

O projeto será concluído com a aplicação das ferramentas de análise desenvolvidas na avaliação de um estratégia de controle que está sendo implantada na Baixada Santista. A viabilidade de utilização das estratégias de controle perimétrico propostas na Baixada Santista também será avaliada.

3. OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

3.1. Objetivo Geral

Desenvolver ferramentas de análise e estratégias de controle de tráfego urbano baseadas no DFM.

3.2. Objetivos Específicos

- Verificar a existência do DFM para as duas malhas viárias estudadas.
- Estudar o efeito do controle de tráfego urbano a tempos fixos no DFM.
- Estudar o efeito do controle de tráfego em tempo real no DFM, em particular isolar os efeitos do controle de ciclo, do controle de defasagem e do controle de tempos de verde.
- Comparar o efeito de cada uma das duas estratégias aplicadas, a TUC e a híbrida; em particular, verificar se a distribuição do tráfego resultante da estratégia TUC tende a diminuir a dispersão de dados do DFM comparada à estratégia híbrida.
- Verificar a possibilidade de partição (JI; GEROLIMINIS, 2012) das malhas viárias estudadas e como o controle de tráfego afeta a partição.
- Construir um modelo de simulação microscópico de uma das malhas viárias que reproduza o comportamento agregado do tráfego como observado em campo.
- Desenvolver e testar estratégias de controle de tráfego urbano para malhas viárias simples (monovariável).
- Desenvolver e testar estratégias de controle de tráfego urbano para malhas viárias particionadas (multivariável).
- Avaliar o desempenho do sistema instalado na Baixada Santista com as ferramentas desenvolvidas.
- Avaliar a viabilidade de utilizar as estratégias de controle desenvolvidas na Baixada Santista.

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho são considerados os conjuntos de dados diários para cada malha viária registrados em bancos de dados. Assim, cada dia registrado no banco de dados terá que ser analisado individualmente por meio das séries temporais de fluxo e de ocupação para excluir dias em que houve falha na coleta de dados, dias que apresentam anormalidades, por exemplo em virtude de incidentes ou condições meteorológicas adversas, e não existência de congestionamento (demanda baixa). Os dados também serão classificados conforme o dia da semana em que foram coletados, período (letivo, não letivo), tipo de operação (a tempos fixos, em tempo real). Além das medições também serão extraídos os planos de tráfego que vigoraram no período da coleta.

Após a filtragem dos dados de campo o procedimento adotado será semelhante ao de Geroliminis e Daganzo (2008) baseada na construção dos DFMs, da série temporal de fluxo e da série temporal de ocupação para cada conjunto de dados, e da análise estatística dos dados. Como deseja-se estudar o efeito do controle de tráfego, a variabilidade dos diagramas será estudada com base nas temporizações semaforicas coletadas tanto de tempo fixo como de tempo real. Serão tomadas como base as metodologias de Buisson e Ladier (2009), Laval (2010) e Jong (2012).

A construção do modelo da malha viária no simulador é feita conforme o manual do programa (TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS, 2012). Será construído o modelo apenas da malha viária que apresentar os melhores resultados com os dados de campo. Não há método padrão para a calibração e validação, mas será seguida uma coletânea de diretrizes elaboradas por diferentes instituições e disponibilizadas pelo projeto MULTITUDE (<http://www.multitude-project.eu/>).

O desenvolvimento das estratégias de controle seguirá a metodologia tradicional de projeto estabelecida pela engenharia de controle (SEBORG; EDGAR; MELLICHAMP, 1989). Será tomado como base o modelo de tráfego desenvolvido e utilizado por (KEYVAN-EKBATANI et al., 2012), com as devidas modificações resultantes da análise de dados feita neste projeto.

Por fim a metodologia a ser empregada na avaliação do desempenho do sistema de controle de tráfego na Baixada Santista vai depender das ferramentas desenvolvidas na parte inicial deste projeto. Igualmente a avaliação de viabilidade de aplicação das estratégias de controle dependerá da forma de aplicação das estratégias desenvolvidas.

5. CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS

São os principais resultados esperados deste projeto:

- 1) Ferramentas de análise de desempenho de sistemas de controle de tráfego urbano baseados no DFM como resultado da análise de dados de campo.
- 2) Estratégias de controle de tráfego urbano aplicáveis na prática baseadas no DFM, com as quais espera-se obter melhorias significativas de desempenho do tráfego urbano.

3) Modelo de malha viária calibrado e validado em simulador de tráfego microscópico que reproduz o comportamento agregado do tráfego como observado em campo e servirá de base para estudos futuros.

4) Análise de desempenho e viabilidade do controle na Baixada Santista.

Além disso espera-se produzir:

- 1) 2 artigos em conferência nacional;
- 2) 2 artigos em conferência internacional;
- 3) Trabalhos em seminários de iniciação científica;
- 4) 2 artigos em periódicos internacionais;
- 5) 1 relatório de projeto.

6. ORÇAMENTO DETALHADO, OUTRAS FONTES DE RECURSOS E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

6.1. Orçamento Detalhado

CUSTEIO			
Item	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Passagem para participação em congresso nacional	5	R\$ 800,00	R\$ 4.000,00
Diárias para participação em congresso nacional	25	R\$ 187,83	R\$ 4.695,75
CAPITAL			
Item	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Licença de <i>software</i> micros simulador de tráfego AIMSUN. Inclui atualização automática e suporte técnico pela duração do projeto (3 anos).	2	R\$ 10.500,00	R\$ 21.000,00
TOTAL:			R\$ 29.695,75

6.2. Outras Fontes de Recursos

Recursos financeiros adicionais, ainda a serem definidos, serão obtidos por meio de projeto de pesquisa relacionado a este, envolvendo a instalação de sistema de controle de tráfego em tempo real na Baixada Santista do qual a UFSC é detentora da propriedade junto com a Brascontrol Indústria e Comércio LTDA.

Um plano de atividades relacionado a este projeto foi submetido para a chamada do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Pesquisa Científica (PIBIC/CNPq – PIBIC-Af/CNPq – BIPI/UFSC) 2013/2014.

6.3. Cronograma Físico-Financeiro

Atividade	Mês																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
Coleta, Filtragem e preparação de dados	■	■	■	■	■	■	■	■																															
Análise de dados						■	■	■	■	■	■	■	■	■																									
Modelagem, calibração e validação											■	■	■	■	■	■																							
Análise, projeto e teste de controle monovariável															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Análise, projeto e teste de controle multivariável															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Análise de desempenho da Baixada Santista																										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Viabilidade de controle perimétrico na Baixada Santista																										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Redação de artigo ou relatório												■	■						■	■						■	■						■	■	■	■	■	■	
Desembolso	Mês 1																	Mês 18-20					Mês 28-30																
	R\$ 21.000,00																	R\$ 5217,45					R\$ 3478,30																

7. EQUIPE E INFRAESTRUTURA

7.1. Equipe

A equipe será formada por alunos de graduação e de pós-graduação, e por professores pesquisadores do Centro de Engenharias da Mobilidade (Campus Joinville), e do Departamento de Automação e Sistemas e do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e Sistemas (Campus Florianópolis) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Nome	Cargo
Rodrigo Castelan Carlson (coordenador)	Professor Adjunto
Werner Kraus Junior	Professor Associado
Rodolfo César Costa Flesch	Professor Adjunto
Eduardo Rauh Müller	Doutorando
Aluno de pós-graduação	Mestrando
Aluno de graduação	Iniciação científica

O projeto será realizado com cooperação do Laboratório de Sistemas Dinâmicos e Simulação (DSSL) do Departamento de Engenharia de Produção e Gerência da Universidade Técnica de Creta (TUC). A UFSC possui parceria com o DSSL/TUC desde 2004 que resultou no sistema de controle de tráfego instalado nas cidades de Macaé/RJ e Mauá/SP, e a ser instalado na Baixada Santista.

Nome	Cargo
Markos Papageorgiou	<i>Professor</i> (equivalente a Professor Titular)
Mehdi Keyvan-Ekbatani	Doutorando

Um outro projeto de pesquisa relacionado a este está sendo estabelecido entre a UFSC e Brascontrol Indústria e Comércio LTDA envolvendo a instalação de sistema de controle de tráfego em tempo real na Baixada Santista do qual a UFSC é detentora da propriedade junto com a empresa. O coordenador do projeto será o professor Werner Kraus Junior.

Nome	Cargo
Tiago Corrêa	Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento

7.2. Infraestrutura

As instalações do Centro de Engenharias da Mobilidade do Campus Joinville, do Departamento de Automação e Sistemas de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e Sistemas oferecem laboratórios de informática com condições de trabalho para os pesquisadores e alunos envolvidos no projeto.

Além disso a execução deste projeto depende de:

- 1) **Dados de campo das cidades de Macaé/RJ e Mauá/SP:** os dados de campo da cidade de Macaé já estão disponíveis em uma cópia do banco de dados do período de meados de

2008 a meados de 2010. Como a central de controle de tráfego foi desligada, não há disponibilidade de novos dados. Temos acesso direto ao banco de dados da central de controle de tráfego de Mauá. Uma cópia do banco de dados pode ser feita a qualquer momento para se trabalhar *offline*.

- 2) **Sistema de banco de dados MySQL:** o MySQL é usado nas centrais de controle de tráfego de Macaé e Mauá, e é necessário para manipular as cópias dos bancos de dados das centrais. Trata-se de *software* de código aberto que pode ser obtido gratuitamente pela internet: <http://www.mysql.com>.
- 3) **Simulador de tráfego AIMSUN:** duas licenças de software e respectivas chaves de *hardware* serão adquiridas com recursos do projeto.
- 4) **Material bibliográfico:** o material necessário pode ser acessado pela rede UFSC ou em alguns casos adquirido pelo serviço de comutação bibliográfica.
- 5) **Dados da Baixada Santista:** serão disponibilizados pela empresa parceira Brascontrol Indústria e Comércio LTDA também envolvida em projeto correlato dedicado exclusivamente à Baixada Santista.

REFERÊNCIAS

ABOUDOLAS, K.; GEROLIMINIS, N. **Feedback perimeter control for multiregion and heterogeneous congested cities.** In: TRB 92nd annual meeting. Washington, D.C., USA: 2013.

BUISSON, C.; LADIER, C. Exploring the impact of homogeneity of traffic measurements on the existence of macroscopic fundamental diagrams. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2124, p. 127–136, 2009.

DAGANZO, C. F. Urban gridlock: macroscopic modeling and mitigation approaches. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 41, n. 1, p. 49–62, 2007.

DAGANZO, C. F.; GAYAH, V. V.; GONZALES, E. J. Macroscopic relations of urban traffic variables: bifurcations, multivaluedness and instability. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 45, n. 1, p. 278–288, 2011.

DAGANZO, C. F.; GEROLIMINIS, N. An analytical approximation for the macroscopic fundamental diagram of urban traffic. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 42, n. 9, p. 771–781, 2008.

EUROPEAN COMMISSION. **Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource efficient transport system.** Brussels, Belgium: European Comission, 2011.

GEROLIMINIS, N.; DAGANZO, C. F. **Macroscopic Modeling of Traffic in Cities.** In: TRB 86th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM. Washington, D.C., USA: 2007.

GEROLIMINIS, N.; DAGANZO, C. F. Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: some experimental findings. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 42, n. 9, p. 759–770, 2008.

GEROLIMINIS, N.; HADDAD, J.; RAMEZANI, M. Optimal perimeter control for two urban regions with macroscopic fundamental diagrams: a model predictive approach. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 14, n. 1, p. 348–359, 2013.

GEROLIMINIS, N.; SUN, J. Properties of a well-defined macroscopic fundamental diagram for urban traffic. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 45, n. 3, p. 605–617, 2011.

HELBING, D. Derivation of a fundamental diagram for urban traffic flow. **The European Physical Journal B**, v. 70, n. 2, p. 229–241, 2009.

IPEA. **Sistema de Indicadores de Percepção Social - Mobilidade Urbana**. IPEA, 2011.

JI, Y. et al. Investigating the shape of the macroscopic fundamental diagram using simulation data. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2161, p. 40–48, 2010.

JI, Y.; GEROLIMINIS, N. On the spatial partitioning of urban transportation networks. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 46, n. 10, p. 1639–1656, 2012.

JONG, D. DE. **The effect of network structure and signal settings on the macroscopic fundamental diagram**. MSc Thesis—Delft, The Netherlands: Delft University of Technology, 2012.

KEYVAN-EKBATANI, M. et al. Exploiting the fundamental diagram of urban networks for feedback-based gating. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 46, n. 10, p. 1393–1403, 2012.

KRAUS, W. et al. Cost Effective Real-Time Traffic Signal Control Using the TUC Strategy. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 2, n. 4, p. 6–17, 2010.

LAVAL, J. A. **The effect of signal timing and network irregularities in the macroscopic fundamental diagram**. In: Traffic Flow Theory and Characteristics Committee (Ahh45) Summer Meeting of the Transportation Research Board. Annecy: 2010.

PAPAGEORGIOU, M. et al. Review of road traffic control strategies. **Proceedings of the IEEE**, v. 91, n. 12, p. 2043–2067, 2003.

PECCIN, V. B. **Implantação de Sistema de Controle de Tráfego em Tempo Real de Cruzamentos Isolados**. Diploma—Florianópolis, SC, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SCHRANK, D.; LOMAX, T.; TURNER, S. **Urban Mobility Report 2010**. Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, 2010. Disponível em: <<http://mobility.tamu.edu>>. Acesso em: 22 maio 2011.

SEBORG, D.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A. **Process Dynamics and Control**. New York: Wiley, 1989.

TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS. **AIMSUN Dynamic Simulator Users Manual v. 7**, 2012.

ZHANG, L.; GARONI, T. M.; DE GIER, J. A comparative study of macroscopic fundamental diagrams of arterial road networks governed by adaptive traffic signal systems. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 49, p. 1–23, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS JOINVILLE

Adriano Verdério

PROJETO DE PESQUISA
Máquinas de Vetores Suporte e Otimização Sem Derivadas

Joinville, 10 de setembro 2013.

Máquinas de Vetores Suporte e Otimização sem Derivadas

Fundamentação Teórica

O advento do computador permitiu armazenar e processar grande quantidade de informações, bem como acessar informações de vários lugares através de computadores interligados. E com essa grande quantidade de informações originou-se a Aprendizagem de Máquina (Machine Learning, em inglês). A aprendizagem de máquina é um sub-campo da inteligência artificial dedicado ao desenvolvimento de algoritmos e técnicas que permitam ao computador aprender.

Aprendizagem de Máquina não é tentar ter uma conversa com programas de computadores, nem mesmo perguntar a um computador qual é o sentido da vida. A Aprendizagem de Máquina busca ter uma visão a partir de um conjunto de dados, e espera-se que o computador faça previsões a partir desses dados. Não busca a criação de seres conscientes [2]. Aprendizagem de Máquina é tudo sobre usar as características certas para construir o modelo certo que alcança o alvo certo [3]. O Objetivo da Aprendizagem de Máquina é desenvolver métodos que possam automaticamente reconhecer padrões nos dados, e então usá-los para prever dados futuros [4].

A aprendizagem de máquina pode ser dividida em duas grandes classes, aprendizagem supervisionada e aprendizagem não supervisionada. Em ambos os casos a ênfase está nos dados. De grosso modo, o que as difere é que enquanto na primeira além de fornecer os dados também informa-se o rótulo a qual cada dado deve ser classificado, e o computador “aprenderá” com o conjunto dados/rótulos para poder classificar dados futuros. Já na segunda a entrada é apenas com os dados e o computador deve decidir como rotular.

Abaixo tem-se alguns exemplos onde pode-se aplicar a Aprendizado de Máquina em alguns problemas práticos

- Reconhecimento óptico de caracteres;
- Reconhecimento de voz;
- Reconhecimento de imagens;
- Tradução automática de textos;
- Classificação de e-mails como spams e não-spams;

- Diagnósticos médicos;
- Recomendação de produtos em comércio eletrônico;

Máquinas de Vetores Suporte

Máquinas de Vetores Suporte (SVM, do inglês Support Vector Machines) são métodos para aprendizagem supervisionada, que podem ser aplicados em problemas de classificação ou regressão. As Máquinas de Vetores suporte são uma classe de algoritmos que são motivados por resultados da teoria de aprendizagem estatística [5]. Originalmente desenvolvida para reconhecimento de padrões a técnica apresenta o limitante de representação ou classificador em termos de um subconjunto, geralmente pequeno, de todos os exemplos de entrada, os elementos desse subconjunto são chamados vetores suporte.

Em problemas de aprendizagem de máquina tentamos descobrir uma estrutura nos dados. Um dos requisitos em problemas de aprendizagem é especificar o que exatamente queremos alcançar, minimizar, limitar ou aproximar. Para o reconhecimento de padrões ou regressão, por exemplo, tem-se um conjunto de treinamento

$$(x^1, y^1), (x^2, y^2), \dots, (x^m, y^m) \in \mathcal{X} \times \mathcal{Y}$$

e o objetivo é prever saídas y para entradas x desconhecidas. Para isso precisamos de um preditor que é uma aplicação h que leva os pontos do conjunto de entrada \mathcal{X} ao conjunto de rótulos \mathcal{Y} . É preciso também determinar um critério pelo qual estima-se a qualidade de um preditor obtido por meio dos dados [6].

Em Máquinas de Vetores Suporte o preditor h é construído ao resolver um problema de otimização convexa, geralmente quadrático.

Otimização sem Derivadas

Métodos de Otimização sem Derivadas são desenvolvidos para resolver problemas irrestritos de programação não linear em que as derivadas da função objetivo não estão disponíveis. Formalmente considera-se o problema

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x)$$

sendo f uma função suave e não linear do \mathbb{R}^n para \mathbb{R} limitada inferiormente. Uma hipótese para o problema acima ser considerado um problema de otimização sem derivadas é que o gradiente $\nabla f(x)$ e a Hessiana ∇^2 não estão disponíveis para nenhum x .

Conn, Scheinberg e Vicente [7] consideram a otimização sem derivadas uma área aberta e desafiadora muito importante na ciência da computação e engenharia, com um enorme potencial prático. A fonte de sua importância é a necessidade cada vez maior em resolver problemas de otimização definidos por funções cujas derivadas estão indisponíveis ou disponíveis a um custo proibitivo. Por exemplo em problemas em que a função objetivo é o resultado de uma simulação computacional de grande porte e o código fonte não está disponível, problemas estes chamados

de caixa preta.

Entre os métodos existentes na literatura para resolver o problema de otimização sem derivadas, o enfoque desse projeto de pesquisa reside nos métodos de região de confiança. De modo geral, tais métodos utilizam um modelo quadrático da função objetivo, visando estabelecer uma redução deste modelo num conjunto fechado em que o modelo é confiável, por isso o nome Região de Confiança. Em problemas gerais de otimização o modelo quadrático é construído por aproximações por Taylor, utilizando assim as derivadas [8]. Em otimização sem derivadas os modelos podem ser construídos por regressão ou interpolação polinomial [7].

Durante o mestrado o candidato estudou o Método de Região de Confiança sem Derivadas para problemas irrestritos [15]. A orientadora de doutorado do candidato orientou também nessa área uma tese de doutorado sobre o Método de Região de Confiança sem Derivadas para problemas com restrições [14] onde, sob condições gerais, mostra-se a prova de convergência supondo que os modelos satisfaçam algumas hipóteses. A discussão da pesquisa é mostrar que a construção dos modelos por Máquinas de Vetores Suporte satisfaz tais hipóteses.

Metodologia

O enfoque da pesquisa é o estudo teórico e computacional dos métodos de região de confiança com modelos construídos por Máquinas de Vetores Suporte para regressão, com o estudo teórico dos modelos assim concebidos e ainda a execução de experimentos numéricos que venham a corroborar os resultados teóricos. Além de comparar o método com outros algoritmos sem derivadas conhecidos na literatura.

A metodologia empregada durante o processo de pesquisa será a continuidade da revisão de literatura. O estudo das propriedades dos modelos construídos por Máquinas de Vetores Suporte, afim de garantir a convergência global do método proposto. A implementação do algoritmo de região de confiança sem derivadas. A execução de experimentos numéricos. Por fim, pretende-se fazer um estudo do método com o intuito de estender os resultados para os problemas com restrições.

Resultados Esperados

Como resultados das atividades de pesquisa espera-se mostrar a convergência global do método, no sentido de que todo ponto de acumulação da sequência gerada pelo método seja um ponto estacionário. Espera-se também que o método seja competitivo em relação aos métodos existentes. Como fruto do trabalho espera-se a publicação de artigos científicos e a divulgação dos resultados em congressos. Ainda espera-se que a pesquisa traga novos desafios a fim de contribuir para a promoção da pesquisa na Universidade Federal de Santa Catarina, principalmente no Campus Joinville.

Cronograma de Execução

A pesquisa já encontra-se em andamento. Nesse momento a fase de revisão da literatura já está sendo executada, assim como os estudos teóricos das propriedades do método. Posterior a estas etapas será a implementação computacional, a execução de experimentos numéricos e comparação com outros métodos para otimização sem derivadas.

A documentação dos resultados se dará de forma continuada, e com posse de resultados a próxima etapa é a apresentação de trabalhos em congressos nacionais e internacionais e a publicação em revistas indexadas.

Referências Bibliográficas

- [1] Brasil, *Resolução nº 053/CEPE/95*, Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- [2] P. Harrington, *Machine Learning in Action*, Manning, Shelter Island, 2012.
- [3] P. Flach, *Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data*, Cambridge University Press, New York, 2012.
- [4] K. P. Murphy, *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*, The MIT Press, Cambridge, 2012.
- [5] V. N. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer-Verlag, 2ª Edição, New York, 2000.
- [6] B. Schölkopf e A. J. Smola, *Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond*, The MIT Press, Cambridge, 2002.
- [7] A. R. Conn, K. Scheinberg e L. N. Vicente, *Introduction to derivative-free optimization*, MPS-SIAM Series on Optimization, Philadelphia, 2009.
- [8] A. R. Conn, N. I. M. Gould e Ph. L. Toint, *Trust-region methods*, MPS-SIAM Series on Optimization, SIAM, Philadelphia, 2000.
- [9] A. R. Conn, K. Scheinberg e L. N. Vicente, *Global convergence of general derivative-free trust-region algorithms to first and second order critical points*, SIAM Journal on Optimization 20 (2009), 387–415.
- [10] J. Nocedal e S. J. Wright, *Numerical optimization*, Springer Series in Operations Research, Springer-Verlag, 1999.
- [11] J. Takaki e N. Yamashita, *A derivative-free trust-region algorithm for unconstrained optimization with controlled error*, Numerical Analysis, Control and Optimization 1 (2011), pp. 117-145.
- [12] B. Karasözen, *Survey of trust-region derivative free optimization methods*, Journal of Industrial and Management Optimization 3 (2007), pp. 321-334.
- [13] A. R. Conn, K. Scheinberg e Ph. L. Toint, *A derivative free optimization method via support vector machines*, 1999. Disponível em: http://www.cas.mcmaster.ca/~oplab/seminar/conn/conn_deiv_free.ps. Acessado em: 04 jun 2013.
- [14] P. D. Conejo, E. W. Karas, L. G. Pedroso, A. A. Ribeiro e M. Sachine, *Global Convergence of Trust-region Algorithms for Constrained Minimization without Derivatives*. Technical Report, Universidade Federal do Paraná, 2012.
- [15] A. Verdério. *Convergência global de um método de região de confiança sem derivadas com modelos baseados em interpolação polinomial*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2010.