

Carlos Eduardo Sanches de Andrade
(Organizador)

O Desenvolvimento Sustentável do Sistema de Transportes do Brasil



Carlos Eduardo Sanches de Andrade
(Organizador)

O Desenvolvimento Sustentável do Sistema de Transportes do Brasil



2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Lorena Prestes
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobom – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
D451	<p>O desenvolvimento sustentável do sistema de transportes do Brasil [recurso eletrônico] / Organizador Carlos Eduardo Sanches de Andrade. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-855-7 DOI 10.22533/at.ed.557191912</p> <p>1. Transporte e Estado – Brasil. 2. Transportes – Brasil – Planejamento. I. Andrade, Carlos Eduardo Sanches de. CDD 380.5068</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A obra “O Desenvolvimento Sustentável do Sistema de Transportes do Brasil” publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 8 capítulos, estudos sobre o setor de transportes e seu desenvolvimento sustentável.

O tema é de grande relevância, pois o setor de transportes é vital para o crescimento do país, Tanto no transporte de passageiros quanto no transporte de cargas há inúmeros desafios a serem superados. O desenvolvimento econômico depende de um sistema de transporte bem estruturado e o desafio é estruturar o sistema de transporte de uma maneira sustentável.

O desenvolvimento sustentável do sistema de transportes do Brasil deve ser visto em seus aspectos econômicos, sociais e ambientais. Deve prover a solução efetiva de menor custo, que ofereça maior mobilidade e segurança e que tenha o menor impacto ambiental possível. Os capítulos apresentados abordam temas ligados a esses aspectos,

A tecnologia tem um papel preponderante nesse desenvolvimento e é preciso sempre ficar atento às inovações tecnológicas que ofereçam maior qualidade ao serviço de transporte. Os denominados ITS – *Intelligent Transportation Systems* são sistemas de transporte que utilizam as tecnologias da informação e comunicação e são cada vez mais aperfeiçoados e utilizados.

Ferramentas tradicionais de modelagem, otimização e pesquisa operacional ajudam a planejar um sistema de transporte sustentável. A boa gestão das empresas de transporte também é importante para a efetividade do sistema.

No contexto brasileiro, com inúmeros rios, o transporte fluvial oferece uma grande oportunidade de transporte sustentável a ser explorada, sendo capaz de atender tanto ao transporte de passageiros quanto ao de carga.

O setor de transporte é grande emissor dos gases de efeito estufa, que produzem um impacto ambiental considerável, as alterações climáticas. Assim, o desenvolvimento do transporte sustentável deve mitigar essas emissões.

Agradecemos aos autores dos diversos capítulos apresentados e esperamos que essa compilação seja proveitosa para os leitores.

Carlos Eduardo Sanches de Andrade.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	17
ADAPTAÇÃO DA FERRAMENTA QFD PARA ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE ITS NA SEGURANÇA VIÁRIA	
Christine Tessele Nodari Noara Foiatto Maurício Castilhos de Oliveira Francisco Marchet Dalosto Maria Beatriz Berti da Costa	
DOI 10.22533/at.ed.5571919121	
CAPÍTULO 2	17
CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DAS VIAGENS EM MOTOCICLETAS EM PÓLOS UNIVERSITÁRIOS: O CASO DA UNIVERSIDADE NACIONAL DE LA RIOJA, ARGENTINA	
Violeta Silvia Irene Depiante Patricia Mónica Maldonado Jorge José Galarraga	
DOI 10.22533/at.ed.5571919122	
CAPÍTULO 3	33
MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA O CONTROLE ATIVO DO PLANO DE TEMPORIZAÇÃO SEMAFÓRICA DE INTERSEÇÕES	
Samara Soares Leal Paulo Eduardo Maciel de Almeida José Elievam Bessa Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.5571919123	
CAPÍTULO 4	39
A PESQUISA OPERACIONAL COMO FERRAMENTA DE APOIO À ELABORAÇÃO DE ROTEIROS TURÍSTICOS	
Admilson Alcântara da Silva Reinaldo Morabito Neto Vitória Maria Miranda Pureza	
DOI 10.22533/at.ed.5571919124	
CAPÍTULO 5	52
SISTEMÁTICA DE GERENCIAMENTO E ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO UMA ABORDAGEM ORIENTADA PARA A GESTÃO DE EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS	
Oneida Barros Bezerra Sérgio Fernando Mayerle	
DOI 10.22533/at.ed.5571919125	
CAPÍTULO 6	65
TRANSPORTE FLUVIAL POR EMBARCAÇÕES MISTAS: UMA VISÃO ECONÔMICA A PARTIR DO MODELO ECD	
Lucas Gabriel Melo da Silva Márcio Antônio Couto Ferreira Salomão Franco Neves Edilson Pinto Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.5571919126	

CAPÍTULO 7	79
A INFRAESTRUTURA URBANA DE TRANSPORTES E O AQUECIMENTO GLOBAL: UM ESTUDO SOBRE POSSÍVEIS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	
Berta Castelar Pinheiro	
Suzana Kahn Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.5571919127	
CAPÍTULO 8	94
A CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS METROVIÁRIOS PARA O ATINGIMENTO DAS METAS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA – ESTUDOS EM METRÔS DO BRASIL E DE PORTUGAL	
Carlos Eduardo Sanches de Andrade	
Márcio de Almeida D’Agosto	
DOI 10.22533/at.ed.5571919128	
SOBRE O ORGANIZADOR	107
ÍNDICE REMISSIVO	108

ADAPTAÇÃO DA FERRAMENTA QFD PARA ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE ITS NA SEGURANÇA VIÁRIA

Christine Tessele Nodari

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia de Produção
Porto Alegre - RS

Noara Foiatto

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia de Produção
Porto Alegre - RS

Maurício Castilhos de Oliveira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia de Produção
Porto Alegre - RS

Francisco Marchet Dalosto

Universidade Federal de Santa Maria, Curso de
Engenharia de Transporte e Logística
Cachoeira do Sul - RS

Maria Beatriz Berti da Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia de Produção
Porto Alegre - RS

RESUMO: A complexidade da interação entre veículo, homem e via dificulta a escolha de intervenções apropriadas à gestão da segurança viária. Cabe ao gestor escolher aquelas que atendam às demandas de segurança dos usuários e que sejam técnica e operacionalmente viáveis. Este artigo propõe uma ferramenta de suporte à decisão na gestão da segurança viária com uma

adaptação da ferramenta QFD (*Quality Function Deployment*), a qual se deu o nome de SFD (*Safety Function Deployment*). Sua estrutura e uso são apresentados em uma aplicação voltada à escolha de Sistemas Inteligentes de Transportes (*Intelligent Transportation Systems*). Entre os resultados, destaca-se que, embora o requisito de segurança demandada “Condução livre de efeito de álcool/drogas” tenha sido priorizado por especialistas, o item priorizado pela aplicação do SFD não está diretamente ligado a esse requisito, e sim ao controle da velocidade, visto que ele atende a outros requisitos de segurança demandada e restrições incluídas na análise realizada.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança Viária, Desdobramento das Funções da Qualidade (QFD), Desdobramento da Função Segurança (SFD), Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS).

ABSTRACT: The complexity of the interaction between vehicle, human and road hampers the choice of appropriate interventions for road safety management. It is up to the manager to choose those that meet user’s safety demands and that are both technically and operationally feasible. This paper proposes a decision support tool for road safety management with an adaptation of the QFD (*Quality Function Deployment*) tool, which was named SFD

(Safety Function Deployment). Its structure and use are presented in an application aimed at the choice of Intelligent Transportation Systems. Among the results, it is worth highlighting that, although the safety requirement demanded “alcohol/drug free driving” has been prioritized by specialists, the item prioritized by the application of the SFD is not directly linked to that requirement but to speed control, since such ITS meets several other road safety requirements demanded and constraints included in the analysis performed.

KEYWORDS:Road Safety, Quality Function Deployment (QFD), Safety Function Deployment (SFD), Intelligent Transportation Systems (ITS)

1 | INTRODUÇÃO

As perdas decorrentes dos acidentes viários têm sido foco de preocupação crescente nas instituições governamentais, não governamentais e população em geral. Entre estas perdas destacam-se as mortes decorrentes desses acidentes. Dados da Organização Mundial da Saúde – OMS – indicam que os acidentes viários são a principal causa de morte entre jovens de 15 a 19 anos (WHO, 2017). No Brasil, segundo fontes do Ministério da Saúde, a acidentalidade no trânsito foi responsável por 37.306 mortes e 204.000 feridos hospitalizados em 2015 (DATASUS, 2015). Para reverter estas estatísticas indesejadas, faz-se urgente a implantação de ações com foco na melhoria da segurança viária.

De modo geral, as ações para melhoria da segurança viária estão associadas aos três componentes: o homem, a via e o veículo. Melhorias de segurança devem ser focadas no atendimento de requisitos, normalmente, associados aos componentes da segurança viária e/ou às interfaces entre eles. O condutor estar livre do efeito de álcool é um exemplo de requisito de um sistema viário seguro associado ao componente humano. A instalação de um sistema automático de identificação de alcoolemia no veículo que impeça que o condutor alcoolizado acione o motor e conduza o veículo é um exemplo de intervenção associada à interface veículo-homem voltada para garantir o cumprimento do requisito de segurança mencionado (Vanlaar *et al.*, 2017).

Outros exemplos de requisitos ou necessidades de segurança e de possíveis intervenções para atender esses requisitos podem ser elencados. Cabe aos gestores de segurança viária escolherem, entre as intervenções possíveis, aquelas que melhor atendam aos requisitos de segurança demandados. Diferentes intervenções para melhoria da segurança se diferenciam por aspectos como nível de impactos gerados, custos de implantação e níveis de aceitação.

Com a finalidade de auxiliar na tomada de decisão relativa à escolha de intervenções de segurança viária, este artigo propõe uma adaptação da ferramenta tradicionalmente usada na gestão da qualidade chamada de Desdobramento da Função Qualidade – QFD (*Quality Function Deployment*). No âmbito da gestão da

segurança viária, a ferramenta adaptada recebe o nome de SFD referenciando-se ao Desdobramento da Função Segurança (*Safety Function Deployment*). Para testar o potencial do SFD, é feita uma análise relacionando algumas intervenções envolvendo o uso de Sistemas Inteligentes de Transportes e requisitos de segurança demandada em um ambiente rodoviário. No tráfego rodoviário, o uso intensivo de tecnologia de informação e comunicação, tanto na via quanto no próprio veículo, está sendo cada vez mais empregado, seja por conforto, seja por segurança. Estas tecnologias geralmente são conhecidas como Sistemas Inteligentes de Transportes ou do inglês *Intelligent Transportation Systems – ITS*.

Este artigo está organizado em 5 seções incluindo esta introdução. Na seção 2, é apresentada uma revisão teórica sobre o uso de ITS na segurança viária; a seção 3 apresenta a adaptação da ferramenta QFD em uma ferramenta aqui chamada de SFD. Por fim, as seções 4 e 5 trazem, respectivamente, uma aplicação da ferramenta adaptada e os principais resultados desta aplicação.

2 | SEGURANÇA VIÁRIA E ITS

Os ITS estão diretamente relacionados a diversas tecnologias eletrônicas e de informações que, integradas à infraestrutura dos transportes e/ou a veículos, podem melhorar as condições relativas a congestionamentos, à segurança pública, à cobrança de tarifas (pedágios, meios de transportes); entre outros (ETSC, 1999). Neste contexto, diferentes experiências de ITS têm se mostrado bem-sucedidas no apoio à solução de problemas relativos à segurança viária. Ao considerar, por exemplo, o grupo voltado para a melhoria da segurança viária, é possível destacar tecnologias como sistema de rastreamento ocular e sistema de notificação de fadiga (Crabb *et al.*, 2010 e Meng *et al.*, 2016), sistemas de adaptação de velocidade (Prashanth *et al.*, 2014) e sistemas de monitoramento de alcoolemia (Kulkarni e Wafgaonka, 2014). Como aplicação prática, tem-se a oportunidade de, por meio de sistemas de rastreamento ocular, alertar motoristas automaticamente em caso de detecção de sonolência ao volante, prevenindo acidentes potencialmente graves tanto em ambiente urbano quanto em rodovias rurais (Pomarjanschi *et al.*, 2012).

Como exemplos de necessidades de segurança para a operação segura de um veículo em uma rodovia, têm-se a velocidade moderada, a manutenção do veículo no leito da via, a baixa variabilidade das velocidades praticadas em uma via e a ausência de motoristas alcoolizados. Existe uma gama de ITS capazes de auxiliar os usuários da via, atendendo a estas demandas de segurança. A Figura 1 apresenta alguns tipos de ITS, suas finalidades, funcionalidades e efeitos para segurança viária.

Categoria do ITS	Especificação do ITS	Efeito na segurança viária
Controle de veículo	Controle eletrônico de estabilidade	Evitar derrapagem do veículo em uma curva ou ao fazer uma manobra (sistema autônomo)
	Sistema de auxílio de permanência na pista	Intervir ao atravessar as faixas da via (por vídeo no veículo e condução assistida por servo)
Prevenção de transgressão da lei	Adaptação inteligente de velocidade	Fornecer informação sobre o limite de velocidade, alertando ou intervindo quando o mesmo é excedido
	Identificação eletrônica de veículo	Localizar e acompanhar um veículo na rede viária, podendo ser usado para apreensão ao exceder velocidade
	Controle de cinto de segurança	Permitir a ignição do veículo somente utilizando o cinto de segurança
Apoio à observação e interpretação de situações	Sistema de evasão e detecção de colisão	Alertar ou intervir quando um objeto é detectado na frente do veículo ou em tráfego transversal
	Sistema de planejamento de viagem	Uso de celular para planejamento de rota e informação antecipada
	Sistema de notificação de emergências	Acionar a emergência mais próxima ao identificar a ocorrência de acidente com um veículo
	Sistema de visão noturna	Aprimorar visão noturna para detectar pedestres/ciclistas a tempo
Redução temporária da aptidão para dirigir	Sistema de alerta de distração	Detectar desvios da atividade cerebral, do movimento dos olhos e do comportamento, alertando ou intervindo
	Dispositivo de bloqueio de alcoolemia	Impedir a ignição do veículo ao identificar determinada concentração de álcool

Figura 1: Síntese de ITS que impedem situações ou ações inseguras durante a condução

Existem ITS que são aplicados diretamente à segurança viária e aqueles que possuem apenas consequências nela. O primeiro grupo pode ser subdividido em: (i) sistemas que previnem a participação insegura de um condutor no tráfego viário, (ii) sistemas que previnem situações ou ações inseguras de um motorista durante a condução e (iii) sistemas que auxiliam na redução da severidade de um acidente. Já o outro grupo possui como objetivo principal o conforto ou gerenciamento de tráfego, logo impactando positivamente na segurança viária (SWOV, 2010).

Um exemplo de ITS diretamente aplicado à segurança viária é o controle eletrônico de estabilidade que, conforme Chouinard e Lécuyer (2011), é um sistema que evita acidentes por derrapagem. O funcionamento é dado por sensores que monitoram o sentido no qual o veículo está se movendo e a direção do interior dele. Quando não estão em sincronia, o sistema aciona os freios de modo a fazer correções na dianteira ou na traseira do veículo impedindo que ele derrape. Este sistema também consegue

regular a potência do motor para que a roda não perca aderência em pavimentos escorregadios.

Há também o sistema de auxílio de permanência na pista que serve para ajudar o condutor a se manter na pista de rolamento enquanto dirige. Amditis *et al.* (2010) explanam que a técnica mais utilizada para obter este resultado utiliza sensores de imagem que conseguem detectar as marcações das faixas de sinalização horizontal distantes em até 50 metros. No entanto, também é possível adicionar técnicas complementares de predição da geometria da via a partir de *Global Positioning System* – GPS. Além disso, existem maneiras comuns de alertar o motorista por resposta tátil ou auditivas na direção.

Existem ainda os sistemas responsáveis por evitar acidentes. McLaughlin *et al.* (2008) citam a utilização de sensores como radar, laser infravermelho e ultrassom. Segundo Harper *et al.* (2016) são exemplos deste tipo de ITS o aviso de colisão dianteira que detecta objetos à frente e alerta o motorista sobre possível colisão; o aviso de saída de pista que monitora as marcações das faixas de sinalização horizontal e alerta o condutor caso ele esteja saindo da faixa e o monitoramento de ponto cego que controla os pontos cegos para trás e para os lados e emite um alerta caso um carro entre nestes pontos.

Um sistema bloqueador de ignição devido ao uso de álcool, por sua vez, serve para impedir que um condutor alcoolizado ligue seu carro. Neste caso, o motorista deve assoprar um etilômetro conectado à ignição ou algum outro dispositivo de bordo a fim de dar partida no veículo. Além do teste inicial, o condutor deve assoprar o aparelho diversas vezes durante a viagem de forma a garantir sua sobriedade (Vanlaar *et al.*, 2017).

O sistema automático de notificação de emergência serve para avisar às autoridades competentes sobre um acidente recém ocorrido com um veículo por meio de um algoritmo que determina sua desaceleração. Ao ser maior que um valor limite, o dispositivo interpreta que houve uma colisão e envia informações como severidade e direção do impacto, latitude e longitude aos serviços de emergência (Akella *et al.*, 2003).

3 | DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A proposição da ferramenta de suporte à decisão na gestão da segurança viária (SFD – *Safety Function Deployment*) foi construída a partir da adaptação da ferramenta QFD (*Quality Function Deployment*). Assim, nesta seção são apresentadas

características da ferramenta original e as adaptações realizadas.

3.1 . Adaptação conceitual do QFD para SFD

Na década de 70, os professores japoneses Shigeru Mizuno e Yoji Akao desenvolveram a ferramenta QFD, em português Desdobramento da Função Qualidade, com a finalidade de integrar as necessidades expressas pelos clientes ao desenvolvimento de produtos e processos (Fernandes e Rebelato, 2006). O propósito do QFD baseia-se em assegurar que os requisitos do cliente sejam considerados em todo o processo (Lee, 2000). Neste contexto, o QFD pode ser considerado uma metodologia de planejamento que está baseada no conhecimento do mercado e na tradução dos desejos e necessidades do cliente em características mensuráveis de projeto de produtos ou de serviços.

A matriz de segurança viária do SFD aqui proposta objetiva relacionar os requisitos de segurança demandada (necessidades dos usuários), com as características operacionais de segurança viária decorrentes da aplicação de ITS, de forma análoga a estrutura da Matriz de Qualidade no modelo conceitual do QFD.

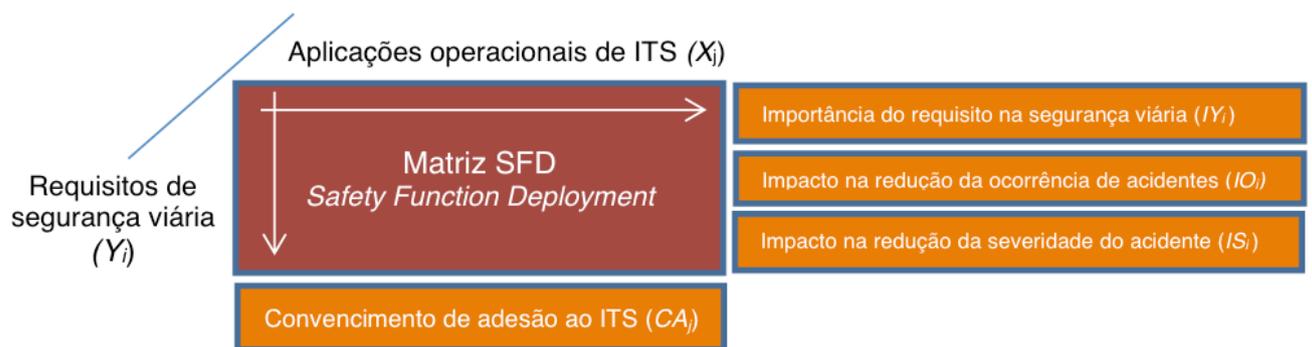


Figura 2: Relacionamento entre as variáveis Y e X da matriz SFD

Para Stevenson (2001), a lógica do QFD está baseada em uma abordagem estruturada para se integrar “a voz do cliente” ao processo de desenvolvimento do produto ou serviço. Na adaptação para o SFD, “a voz do cliente” foi incorporada na especificação da “segurança demandada”, que corresponde à “qualidade demandada” do QFD. A segurança demandada pode ser identificada na Figura 2 como requisitos de segurança viária. Estes itens representam “o que” se deseja tanto na matriz QFD como na adaptação para SFD.

No local da matriz do QFD onde são incluídos os requisitos do produto ou dos processos, foram colocadas as aplicações operacionais de ITS na adaptação para matriz SFD. Estes itens representam “como” serão atendidos os requisitos de qualidade demandada definidos anteriormente. Destaca-se que, neste artigo, foi estudado um conjunto aplicações operacionais de ITS, no entanto nesta parte da matriz poderiam ter sido incluídos outros conjuntos de produtos ou processos que se caracterizassem em alternativas para atender à segurança demandada.

Características dos requisitos da segurança demandada e restrições das aplicações operacionais de ITS foram incluídas na análise da matriz de SFD. Na aplicação aqui apresentada, os requisitos de segurança foram ponderados pela sua influência na ocorrência e na severidade dos acidentes. Como exemplo, pode-se citar que a “existência de áreas de escape” tem maior influência na redução da severidade de um acidente do que na sua ocorrência propriamente dita. Como restrição à aplicação operacional dos ITS estudados, inclui-se na análise uma ponderação das alternativas analisadas quanto intenção/convencimento de adesão ao uso ou instalação dos dispositivos. Esta ponderação permite relativizar a priorização dos ITS no seu potencial de melhoria à segurança considerando aspectos que influenciam no seu uso e não apenas seu impacto direto na provisão de segurança.

3.2 Aplicação da Matriz SFD

Para a aplicação da matriz SFD foi adotado o modelo conceitual do QFD para o setor de serviços proposto por Ribeiro *et al.* (2001). Segundo Ribeiro *et al.* (2001) recomenda-se, inicialmente, uma pesquisa de mercado por meio das 3 etapas listadas a seguir, que compreende ao levantamento dos requisitos do cliente (segurança demandada – Y_j) e a priorização (importância relativa – IY_j) dada às demandas segundo a percepção do usuário:

- Etapa 1: Organização da fase qualitativa (ou pesquisa preliminar);
- Etapa 2: Elaboração da árvore de qualidade demandada dos resultados da fase qualitativa;
- Etapa 3: Elaboração do questionário fechado.

A etapa 1 foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica acerca de necessidades/requisitos de segurança no ambiente viário. A partir da listagem destas necessidades, foi executada a etapa 2 onde estruturou-se, por meio de um grupo focado, a árvore da segurança demandada em um sistema rodoviário (Figura 3). A elaboração dos questionários fechados (etapa 3) atendeu a duas pesquisas: uma com um grupo de especialistas e outra com grupo de usuários, as quais foram ponderadas por importância e por adesão respectivamente, com a utilização de diferentes escalas para a análise de seus resultados.

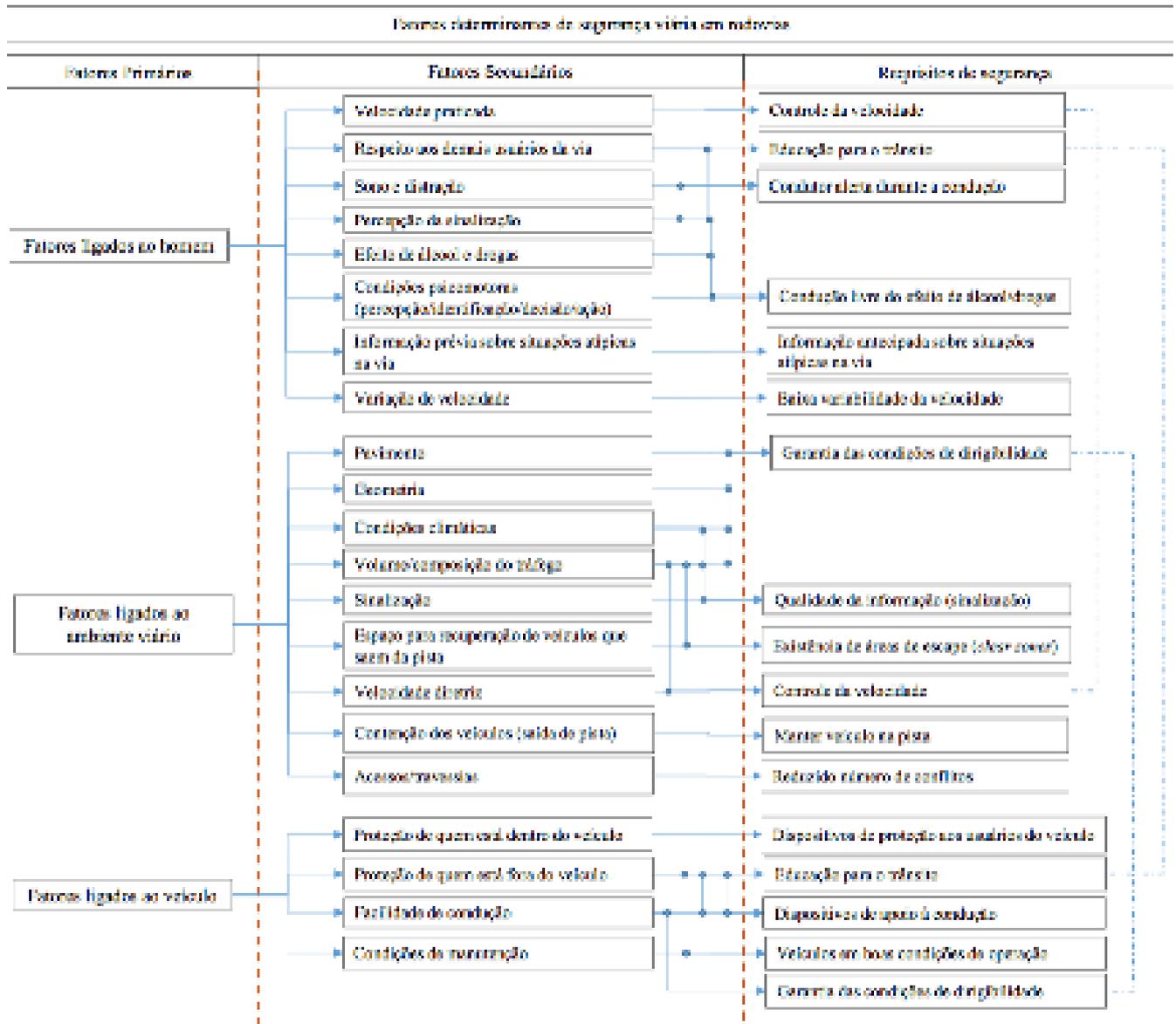


Figura 3: Árvore de segurança viária demandada

A pesquisa direcionada ao grupo de especialistas em segurança viária, realizada por meio eletrônico, baseou-se na pergunta: qual a importância dos requisitos de segurança viária? Como resultado da pesquisa tem-se a Tabela 1, e as respostas seguiram uma escala de importância de 1 (baixa), 2 (média), 5 (alta) e 10 (muito alta). Todos os 9 participantes responderam, sendo eles professores de universidades federais do Brasil e atuantes em pesquisas relacionadas à segurança viária. Os resultados de maior ponderação, “condução livre do efeito de álcool/drogas” e “controle de velocidade”, são estudados de maneira sistemática no âmbito de segurança viária e consistem fatores que mais inferem mudanças em curto prazo na segurança viária (Ramaekers *et al.*, 2004; DETRAN-MS, 2016; DAER-RS, 2012).

Descrição do requisito de segurança	Escala de importância				Média Ponderada
	Baixa	Média	Alta	Muito alta	
Controle da velocidade		1	1	6	10,06%
Manter veículo na pista		2	4	2	6,61%
Baixa variabilidade da velocidade	1		5	2	6,91%
Informação antecipada sobre situações atípicas		3	3	2	6,16%
Condutor alerta durante a condução		1	4	3	7,81%
Condução livre de efeito de álcool/drogas			1	7	11,26%
Educação para o trânsito		2	5	1	5,86%
Reduzido número de conflitos		4	1	3	6,46%
Qualidade da informação (sinalização)			4	4	9,01%
Existência de áreas de escape (criar zonas)		1	5	2	7,06%
Garantia das condições de dirigibilidade (inclui condições climáticas, geometria da via)		1	6	1	6,31%
Veículos em boas condições de operação		3	4	1	5,41%
Dispositivos de apoio à condução	1	4	3		3,60%
Dispositivos de proteção aos usuários			6	2	7,51%

Tabela 1: Resultado da pesquisa sobre importância para os requisitos de segurança viária

Por meio de revisão bibliográfica, foi selecionado um conjunto de aplicações operacionais de ITS. Este conjunto de ITS foi submetido a uma pesquisa sobre a intenção/convencimento de adesão aplicada aos condutores (usuários) de sistemas de transporte, com a pergunta: você estaria disposto a instalar no seu veículo (sem considerar custo) os seguintes dispositivos de segurança? As respostas seguiram uma escala de 1 (pouco provável) a 4 (com certeza) e, ao total, foram 117 respondentes (Tabela 2). Essa amostra de respondentes foi considerada por conveniência para aplicação da ferramenta SFD proposta.

Descrição do ITS	Escala para adesão			
	1	2	3	4
Controlador eletrônico de estabilidade (evita derrapagem do veículo em curvas ou ao fazer uma manobra)	8	5	13	90
Sistema de vídeo que auxilia a permanência do veículo na pista	9	16	23	68
Adaptador inteligente de velocidade (ajusta a velocidade do veículo à via; piloto automático)	17	17	25	57
Um aparelho que identifica seu veículo eletronicamente na rede viária (localização e velocidade)	25	23	31	37
Controle de cinto de segurança (somente permite a ignição do veículo utilizando o cinto de segurança)	21	14	9	72
Sistema de evasão e detecção de colisão (alerta ou intervém quando algo é detectado na frente do veículo ou em possível colisão)	6	9	29	72
Sistema de planejamento de viagem (uso de celular para planejamento de rota e informação antecipada)	2	5	19	90
Sistema de notificação de emergências (acionar a emergência mais próxima ao identificar a ocorrência de acidente com um veículo)	4	3	13	96
Sistema de visão noturna (imagem no painel que permite uma melhor identificação de pedestres/ciclistas à noite)	6	8	17	85
Sistema de alerta de distração (detectar desvios da atividade cerebral, do movimento dos olhos e do comportamento, alertando ou intervindo)	16	14	32	54
Bloqueador automático de ignição devido ao uso de álcool e drogas (substâncias psicomotoras)	23	12	17	64

Tabela 2: Resultado da pesquisa sobre intenção/convencimento de adesão aos dispositivos de segurança (ITS)

Cada um dos requisitos da segurança demandada foi ainda avaliado pelos autores segundo os critérios de Impacto na redução da ocorrência de acidentes – IO_i e de Impacto na severidade do acidente – IS_i . As escalas adotadas para avaliar esses critérios adotados na matriz SFD (IO_i , IS_i) são apresentadas na Tabela 3.

Descrição do índice	Legenda			
Impacto na redução da ocorrência de acidentes (IO_i)	Baixo 0,5	Médio 1	Alto 1,5	Muito alto 2
Impacto na redução da severidade do acidente (IS_i)	Baixo 0,5	Médio 1	Alto 1,5	Muito alto 2

Tabela 3: Escala dos índices IO_i e IS_i usados na matriz SFD

Para priorizar a importância dos requisitos de segurança – $Ireq_p$, são ponderados os indicadores de impacto na redução da ocorrência de acidentes – IO_i e os indicadores de impacto na redução da severidade do acidente – IS_i , juntamente com o resultado da pesquisa de importância dos requisitos de segurança demandada –

IY_i por meio da equação 1. O resultado desta priorização é apresentado por meio de um gráfico de Pareto (Figura 4).

$$Ireq_i = IY_i * \sqrt{IO_i} * \sqrt{IS_i} \quad (1)$$

em que:

IY_i : segurança demandada do requisito Y_i resultante de pesquisa aplicada a um grupo de especialistas;

IO_i : impacto do requisito Y_i na redução da ocorrência de acidentes; e

IS_i : impacto do requisito Y_i na redução da severidade do acidente.



Figura 4: Gráfico de Pareto das importâncias ponderadas aos requisitos de segurança – $Ireq_i$

O desdobramento dos requisitos de segurança nos ITS considerados ocorre por meio do preenchimento do corpo da matriz SFD (figura 5), onde são apresentados os relacionamentos entre as aplicações operacionais dos ITS (coluna) e os requisitos de segurança demandada (linhas). Foram atribuídos, pelos autores, notas 1, 2 ou 3 em função da intensidade destes relacionamentos. Caso não haja relacionamento, a célula correspondente deve ser deixada em branco, uma vez que o preenchimento com zero prejudicaria as análises que adotam equações multiplicativas. Considerando o preenchimento da primeira célula da matriz, foi feita a seguinte pergunta: Em que nível (baixo, médio ou alto) o requisito de segurança “Controle de velocidade” é atendido pelo ITS “Controle eletrônico de estabilidade”? A nota 1 atribuída reflete um baixo relacionamento. Este procedimento foi repetido para todas as células do corpo da matriz onde se relacionam ITS e requisitos de segurança.

Requisitos de segurança viária (Y)	Aplicações operacionais de ITS (X)										Importância na segurança demandada (IY)	Impacto na redução da ocorrência de acidentes (IO)	Impacto na redução da severidade do acidente (IS)	Importância do requisito de segurança (Ireq)	
	Controle eletrônico de estabilidade	Sistema de visão que auxilia a permanência do veículo na pista	Adeptador inteligente de velocidade	Identificação eletrônica de veículo (localização e velocidade)	Controle do uso do cinto de segurança	Sistema de aviso e detecção de colisão	Sistema de planejamento de viagem	Sistema de notificação de emergências	Sistema de ruído noturno	Sistema de alerta de distração					Bloqueador automático de ignição devido ao uso de álcool e drogas
Controle da velocidade	1	1	3	3			1		1	3		18,0	3	3	9,0
Mantém veículo na pista	3	3	3	2		1			1	3		8,3	1	1	8,3
Baixa variabilidade da velocidade	2	1	3	2					1	2		11,0	1	1	11,0
Informação antecipada sobre situações atípicas			2	3		3	3		2			4,4	1	0	4,4
Condutores alerta durante a condução							2			3		6,3	1	0	6,3
Condição livre de efeito de álcool/drogas										3		9,4	1	0	9,4
Educação para o trânsito					1		1				2	4,9	1	0	4,9
Reduzido número de conflitos							1		2			4,7	1	0	4,7
Qualidade da informação (sinalização)		1						1				7,5	1	0	7,5
Existência de áreas de escape (área livre)												8,3	1	1	8,3
Garantia das condições de dirigibilidade		2						1				10,5	1	1	10,5
Veículos em boas condições de operação	3											4,3	1	0	4,3
Dispositivos de apoio à condução	3	3	3		2	3	3		3	2		2,6	1	0	2,6
Dispositivos de proteção aos usuários					3			2				6,3	0	1	6,3
Importância ponderada do ITS (IPits)	8,3	8,3	12,6	4,6	2,8	2,9	7,3	1,2	6,2	10,3	5,7				
Convencimento de adesão ao ITS (CA)	5,8	5,3	3,13	1,7	1,1	3,5	3,3	5,8	5,8	3,13	5,1				
Pontuação	51,7	30,2	39,5	23,8	9,3	10,4	24,8	4,8	22,8	33,4	11,9				

Figura 5: Representação da matriz de segurança demanda – (SFD)

O vetor de notas recebido por cada um dos ITS foi então multiplicado pelo vetor de importância dos requisitos de segurança – $Ireq$. Desta forma, tem-se a importância ponderada de cada ITS estudado – $IPits$. Os resultados referentes à priorização das aplicações operacionais dos ITS, por sua vez, são obtidos por meio da equação 2, que inclui o desdobramento dos requisitos de segurança e o convencimento de adesão a cada ITS relacionado na pesquisa.

$$Pontuação_j = IPits_j * \sqrt{CA_j} \quad (2)$$

em que:

$IPits_j$: importância ponderada de cada ITS estudado e

CA_j : convencimento de adesão ao ITS com valores resultantes da pesquisa aplicada a um grupo de condutores.

A linha referente à $pontuação_j$, na Figura 5, indica a priorização das aplicações operacionais dos ITS considerados na matriz SFD. Como resultado, obteve-se que os ITS de maior pontuação foram: (i) adaptador inteligente de velocidade, (ii) sistema de alerta de distração, (iii) controle eletrônico de estabilidade; indicando que estes devem ser os sistemas priorizados para atendimento dos requisitos de segurança pesquisados.

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os requisitos de segurança e as aplicações operacionais de ITS compõe a base da matriz SFD. Complementarmente, a atribuição de ponderações a estes itens foi composta pelos resultados das pesquisas de mercado e por um grupo de especialistas em segurança viária.

Dos requisitos de segurança demandada o item de maior priorização na pesquisa com especialistas foi “condução livre de efeito de álcool/drogas” seguido do “controle da velocidade”. Em uma primeira avaliação, sem considerar o desdobramento da função segurança propiciada pelo SFD, seria natural priorizar a adoção de aplicações operacionais de ITS que atendessem a este requisito (bloqueador automático de ignição devido ao uso de álcool e drogas). No entanto, a ferramenta proposta permite incluir na análise os seguintes aspectos (i) o fato dos ITS analisados poderem atender, simultaneamente, a diferentes requisitos de segurança; (ii) a inclusão de características relevantes dos requisitos de segurança e (iii) limitações dos ITS analisados como, por exemplo, a intenção de adesão. Assim, com a ferramenta SFD, a priorização dos ITS a serem adotados foi alterada, passando a ser mais indicado, frente das restrições e características analisadas, a adoção do “adaptador inteligente de velocidade”, seguido pelo “sistema de alerta de direção”.

Importante destacar que a priorização dos ITS é resultante da sua pontuação final em que a importância ponderada – $IPits_j$ foi multiplicada pela restrição relativa ao convencimento de adesão ao ITS – CA_j . Nesta aplicação apresentada, não houve alteração expressiva na priorização após a consideração desta restrição, no entanto a consideração de outras restrições, como o custo de implantação, por exemplo, poderia provocar maiores alterações na priorização dos ITS.

Como resultado adicional das pesquisas realizadas com o grupo de especialistas em segurança viária e com o grupo de condutores, foram obtidas algumas sugestões. Entre elas destacam-se: os requisitos de segurança “restrições de motoristas jovens” e “rigor na habilitação de condutores” as opções de ITS “bloqueador de sinal de celular” e “carros com sensor de gases tóxicos na cabine para evitar acidentes e casos de suicídio”. Observa-se, também, que nenhum dos ITS considerados no estudo atendiam o requisito de segurança “existência de áreas de escape (*clear zones*)”. Por isso, todas as células relacionadas a este requisito na matriz SFD ficaram em branco.

5 | CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma adaptação da ferramenta QFD, usada na gestão da qualidade para aplicação na gestão da segurança viária. Para construir e testar a ferramenta adaptada, chamada de SFD (*Safety Function Deployment*), foi feita uma análise relacionando algumas intervenções envolvendo o uso de Sistemas Inteligentes de Transportes e requisitos de segurança demandada em um ambiente rodoviário. O objetivo do uso do SFD é apoiar a tomada de decisão relativa à escolha de intervenções de segurança viária por meio de uma análise robusta dos elementos envolvidos na decisão.

O desenvolvimento do estudo partiu da análise de um conjunto aplicações operacionais de ITS com potencial de atender aos requisitos de segurança especificados. Uma avaliação preliminar dos ITS selecionados, a partir da revisão da teoria, evidenciou que alguns possíveis ganhos de segurança propiciados pela adoção de ITS podem ser, deliberadamente ou inconscientemente, neutralizados pela confiança excessiva nos dispositivos de segurança. Um exemplo disso foi encontrado no trabalho de Elvik e Voll (2014) que sugere que condutores de trem adaptavam o seu comportamento ao ambiente mais seguro, confiando que o controle automático do trem iria intervir se a velocidade adotada fosse muito elevada. Este aspecto possivelmente associado ao uso de ITS não foi considerado neste trabalho.

Segundo James *et al.* (2016) o veículo autônomo, no âmbito da segurança, leva a uma redução substancial no número de acidentes. Essa afirmação é coerente com o resultado deste artigo que prioriza os ITS “Adaptador inteligente de velocidade”, “Sistema de alerta de distração” e “Controle eletrônico de estabilidade”, que são tecnologias também empregadas na operação de veículos autônomos. Entende-se que esse fato reforça a importância dos ITS priorizados nessa aplicação do SFD mostrando que realmente são relevantes no atendimento aos requisitos de segurança demanda estudados.

Cabe destacar que o ITS priorizado pela análise da Matriz SFD não está diretamente ligado ao requisito de segurança priorizado na pesquisa junto a

especialistas. É neste ponto que reside uma importante virtude da aplicação da ferramenta SFD proposta. Por meio das ponderações realizadas e do desdobramento da associação entre as importâncias dos requisitos de segurança e os diferentes dispositivos de ITS, tem-se condições de capturar relações mais complexas entre os dispositivos avaliados e os requisitos de segurança demandada. Assim, a ferramenta SFD mostra-se útil no apoio à tomada de decisão para a priorização de intervenções visando à melhoria das condições de segurança viária ofertadas aos usuários.

REFERÊNCIAS

Akella, M.; C. Bang; R. Beutner; E. Delmelle; R. Batta; A. Blatt; P. Rogerson e G. Wilson (2003) Evaluating the Reliability of Automated Collision Notification System. **Accident Analysis and Prevention**, v. 35, p. 349-360.

Amditis, A.; M. Bimpas; G. Thomaidis; M. Tsogas; M. Netto; S. Mammar; A. Beutner; N. Mohler; T. Wirthgen; S. Zipser; A. Etemad; M. da Lio e R. Cicilloni (2010) A Situation-Adaptive Lane-Keeping Support System: Overview of the Safelane Approach. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 11, n. 3, p. 617-629.

Chouinard, A. e J. F. Lécuyer (2011) A Study of the Effectiveness of Electronic Stability Control in Canada. **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, p. 451-460.

Crabb, D. P.; N. D. Smith, F. G. Rauscher, C. M. Chisholm, J. L. Barbur e D. F. Edgar (2010) Garway-Heath. Exploring Eye Movements in Patients with Glaucoma When Viewing a Driving Scene. **PLoS One** [1932-6203], v. 5, n. 3, p. 9710.

DAER-RS (2012) Acidentalidade em Rodovias Estaduais do Rio Grande do Sul. Acidentalidade no Ano de 2012. Relatório Nº 42. Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem do Rio Grande do Sul, Secretária de Infraestrutura e Logística, Governo do estado do Rio Grande do Sul.

DATASUS (2015) Tecnologia da Informação a Serviço do SUS. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10uf.def>>. Acessado em 05 jun. 2017.

DETRAN-MS (2016) **Veja as Principais Causas de Acidentes Nas Vias e Rodovias**. Disponível em: <<http://www.detran.ms.gov.br/veja-as-principais-causas-de-acidentes-nas-vias-e-rodovias/>>. Acessado em 30 ago. 2017.

Elvik, R. e N. G. Voll (2014) Challenger of Improving Safety in Very Safe Transport Systems. **Safety Science**, v. 63, p. 115-123.

ETSC (1999) European Transportation Safety Council, **Intelligent Transportation System and Road Safety**.

Fernandes, J. M. R. e M. G. Rebelato (2006) Proposta de um Método para Integração entre QFD e FMEA. **Gestão & Produção**, v. 13, n. 2, p. 245-259.

Harper, C. D.; C. T. Hendrickson e C. Samaras (2016) Cost and Benefit Estimates of Partially-Automated Vehicle Collision Avoidance Technologies. **Accident Analysis and Prevention**, v. 95, p. 104-115.

James, M. A.; N. Kalra; K. D. Stanley; P. Sorensen; C. Samaras e O. A. Oluwatola (2016) Autonomous Vehicle Technology A Guide for Policymakers. **Library of Congress Cataloging-in-Publication Data** ISBN: 978-0-8330-8398-2. RAND Corporation, Santa Monica, EUA.

- Kulkarni, P. H. e R. Wafgaonkar (2014) Alcohol Detection and Automatic Drunken Drive Avoiding System. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 4(4), p. 21-24.
- Lee, F. (2000) Strategy Formulation Framework for Vocational Education: Integrating SWOT Analysis, Balanced Scorecard, QFD Methodology and MBNQA Education Criteria. **Managerial Auditing Journal**, v. 15. p. 407–423.
- McLaughlin, S. B.; J. M. Hankey e T. A. Dingus (2008) A Method for Evaluating Collision Avoidance Systems Using Naturalistic Driving Data. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, p. 8-16.
- Meng, F.; S. Li; L. Cao; Q. Peng; M. Li; C. Wang e W Zhang (2016) Designing Fatigue Warning Systems: The Perspective of Professional Drivers. **Applied Ergonomics**, v. 53, p. 122-130.
- Pomarjanschi, L.; M. Door e E. Barth (2012) Gaze Guidance Reduces the Number of Collisions with Pedestrians in a Driving Simulator. **ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems**, v. 1, n. 2.
- Prashanth, K.; K. Padiyar; P. H. N. Kumar e K. S. Kumar (2014) Road Accident Avoiding System Using Drunken Sensing Technique. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)**, v. 3 n. 10.
- Ramaekers, J. G.; G. Berghaus; M. van Laar e O. H. Drummer (2004) Dose Related Risk of Motor Vehicle Crashes after Cannabis Use. **Drug and Alcohol Dependence**, v. 73, p. 109-119.
- Ribeiro, J. L.; M. E. Echeveste e A. F. Danilevicz (2001) **QFD – Desdobramento da Função da Qualidade**. Série
- Stevenson, W. J. (2001) **Administração das operações de produção**. Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ.
- SWOV (2016) Institute for Road Safety Research, The Netherlands. **Intelligent Transport Systems (ITS) and road safety**. Disponível em: <<https://www.swov.nl/en/facts-figures/factsheet/intelligent-transport-systems-its-and-road-safety>>. Acessado em 05 jun. 2017.
- SWOV (2010) Institute for Road Safety Research, The Netherlands. **Intelligent Transport Systems (ITS) and road safety**. SWOV Fact sheet, 2010. Leidschendam, Holanda
- Vanlaar, W. G. M.; M. M. Hing e R. D. Robertson (2017) An Evaluation of Nova Scotia’s Alcohol Ignition Interlock Program. **Accident Analysis and Prevention**, v. 100, p. 44-52.
- WHO (2017) World Health Organization. **More than 1.2 million adolescents die every year, nearly all preventable**. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/yearly-adolescent-deaths/en/>>. Acessado em: 16 jun. 2017.

CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DAS VIAGENS EM MOTOCICLETAS EM PÓLOS UNIVERSITÁRIOS: O CASO DA UNIVERSIDADE NACIONAL DE LA RIOJA, ARGENTINA

Violeta Silvia Irene Depiante

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Córdoba - Argentina

Patricia Mónica Maldonado

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Córdoba - Argentina

Jorge José Galarraga

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Córdoba - Argentina

RESUMO: O campus da Universidade Nacional de La Rioja (UNLaR), Argentina, é um polo de geração de viagens que apresenta uma distribuição modal com elevada proporção de viagens de motocicletas e a coexistência de universidade e escola secundária na mesma localização. Uma caracterização do padrão de viagem é apresentada, avaliando o impacto que suas atividades produzem na geração e na distribuição modal com base em pesquisas e censos de tráfego. Utilizando dados da geração de viagens de outras universidades argentinas foram calibrados modelos de geração para viagens diárias de pessoas em todos os modos. A calibração foi feita tanto de forma agregada quanto desagregada. A contribuição do artigo consiste na disponibilidade de taxas

médias de geração de viagens e modelos para viagens de motocicletas em polos educacionais universitários.

PALAVRAS-CHAVE: Motocicletas-Geração de viagens-Polos educacionais

CHARACTERIZATION AND TRIP MODELLING. MOTORCYCLE SPECIAL TRAVEL PATTERN: STUDY CASE LA RIOJA UNIVERSITY, ARGENTINA

ABSTRACT: The National University of La Rioja (UNLaR) campus, in Argentina, generates and attracts many trips. Its particularity is an extremely high participation of motorcycles in modal split and coexistence of university and high school on the same site. This paper presents a characterization of the travel pattern in the UNLaR, evaluating through surveys and traffic studies the impact of its activities on trip generation. Using generation data from other universities in Argentine, trip generation models are calibrated for daily person trips in all modes, in a joint and a disaggregated way. The specific contribution relies on trip generation rates and models for motorcycles.

KEYWORDS: Motorcycles-Trip Generation-Educational hubs

1 | INTRODUÇÃO

Os Polos Geradores de Viagens (PGVs) são grandes centros onde atividades urbanas de intensidade significativa são desenvolvidas atraindo e gerando um grande número de viagens. Esses PGVs geram viagens causando um forte impacto no sistema de transporte e na mobilidade das pessoas (Leighton, 2001). Essas concentrações comprometem o ambiente imediato, a estrutura urbana e a acessibilidade de toda uma região (CET, 1983).

A frota veicular da América Latina vem crescendo rapidamente (Rodriguez *et al.*, 2015), isso acontece também em muitas cidades argentinas. A cidade de La Rioja, com uma população de 180.219 habitantes (2010), é caracterizada pela dependência do transporte individual. A motocicleta é o principal tipo de veículo com uma frota ativa de 71 mil unidades. A cidade é a capital provincial e concentra 54,3% da população da província de La Rioja, mas no caso das motocicletas, a concentração atinge 77,5%. O número total de motocicletas é maior que o número total de automóveis, com uma proporção carro/motocicleta de 0,85. Na média 4 de cada 10 pessoas possui uma motocicleta (Maldonado *et al.*, 2015), sendo assim uma cidade “moto-dependente” (Van, 2013). Esta forte participação do transporte individual, de carro ou motocicleta, de acordo com as possibilidades de acesso gera (1) dificuldades na consolidação da oferta de transporte público (Depiante *et al.*, 2016a, 2016b). e (2) as dúvidas sobre a sustentabilidade a longo prazo de um modelo de mobilidade com base no uso do veículo privado, devido a problemas associados de congestionamento, estacionamento e segurança viária.

O campus da Universidade Nacional de La Rioja (UNLaR) está localizado a sudoeste da cidade, possui um prédio de 24,3 hectares e uma área coberta de aproximadamente 69.000 m². O prédio da UNLaR é parte de um nodo que concentra diversas atividades, configurando um nodo polifuncional de âmbito urbano-regional com grande impacto na estrutura urbana (Maldonado *et al.*, 2014). Seguindo a tendência observada na cidade, o polo também apresenta uma elevada proporção de viagens em motocicletas. Dessa forma, o campus da UNLaR é um PGV com padrões de viagens com características diferentes quando comparado com outros PGV educacionais localizados em cidades de maior porte, como em Córdoba ou Buenos Aires.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A metodologia para estudar o padrão de viagens dos PGVs depende do tipo de estabelecimento. Se o polo é educativo, depende do nível de ensino oferecido, do caráter público ou no, da categoria da instituição, de sua localização, do acesso ao sistema de transporte, da disponibilidade de infraestrutura e do estacionamento (ITE, 2012, Ferreira de Souza *et al.*, 2006, Portugal, 2012).

A referência internacional mais difundida na Argentina na geração de viagens é o *Trip Generation Handbook* (ITE, 2012). O Manual do ITE enfatiza que, nos centros universitários, a matrícula de alunos parece ser a variável mais consistente para estabelecer taxas de geração do que as áreas cobertas ou o número de vagas de estacionamento. Não há referência na bibliografia do ITE para as taxas de geração de viagens seja de motocicletas, a pé ou por transporte público. As taxas referem-se apenas para viagens em automóveis.

Um estudo sobre treze instituições de ensino de nível universitário realizado na cidade de Córdoba, Argentina (Souza Bertazzo A. *et al.*, 2012) apresenta viagens de pessoas e distribuição modal num dia de trabalho onde as porcentagens de viagens de motocicletas são registradas para cada instituição, como também em outros modos. Esse estudo não especifica se a viagem é feita pelo motorista ou pelo acompanhante da motocicleta. Uma conclusão importante do estudo é a variável explicativa mais relevante é o número de alunos matriculados e efetivamente ativos com os quais a modelagem é mais ajustada (Galarraga *et al.*, 2007, Herz *et al.*, 2009).

3 | METODOLOGIA

Baseado nas recomendações de estudos de previos feitos na mesma cidade (Maldonado *et al.*, 2014, 2015), optou-se por abordar o estudo com duas etapas. Em primeiro lugar, o objetivo é identificar as características das viagens, estimar taxas e definir modelos da geração de viagens que reflitam a situação atual no polo. Em segundo lugar, o objetivo é avaliar o impacto na rede viária próxima ao PGV, principalmente no acesso ao campus. Segundo a bibliografia consultada *v.g.* metodologias ITE (Jacques *et al.*, 2009), experiências estrangeiras (Portugal, 2012) e características particulares observadas no PGV do UNLaR, foi definida uma metodologia para o estudo do tráfego de pedestres e veículos no acessos ao campus (Figuras 1 e 2).

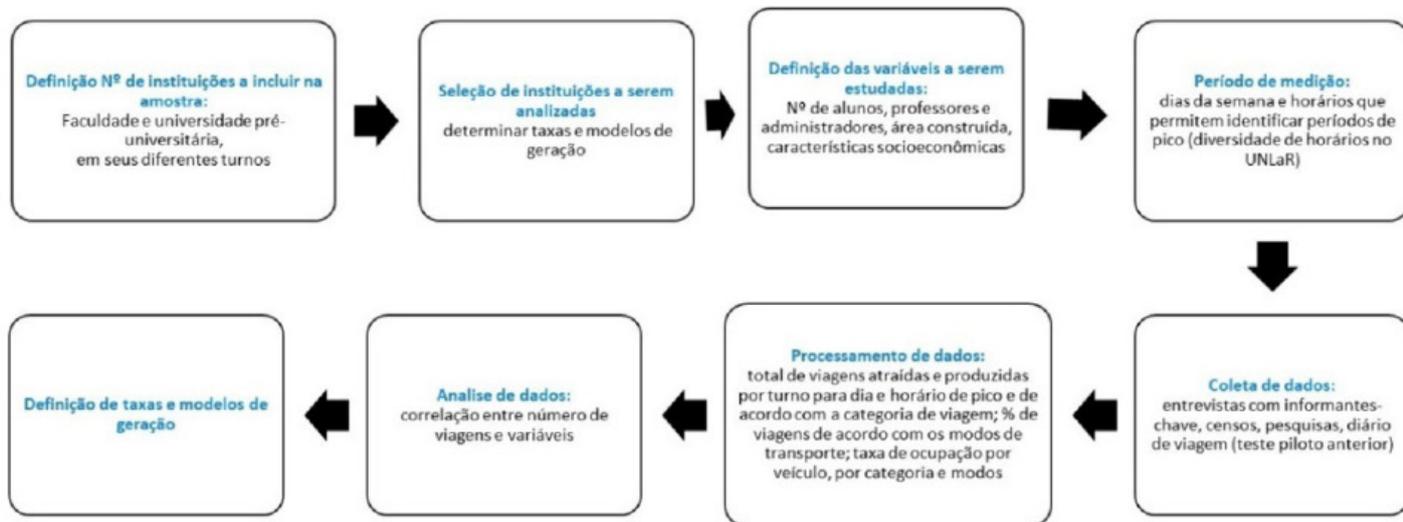


Figura 1: Esquema da metodologia utilizada no estudo do UNLaR. Elaboração própria baseada no ITE, Jacques et al.



Figura 2: Metodologia operacional. Preparação própria baseada na experiência da Córdoba.

4 | RELEVÂNCIA E CARACTERIZAÇÃO DAS VIAGENS

O Campus UNLaR é um prédio fechado com dois acessos habilitados (em o principal há uma rotatória) onde foram realizados censos de volume e composição de tráfego (manuais e com vídeos). Os levantamentos foram feitos na sexta-feira, 12 de junho de 2015, em três períodos de duas horas, das 7:30 às 9:30 horas, das 12:30 às 14:30 e das 18:00 às 20:00, totalizando seis horas. O objetivo do levantamento foi obter características das pessoas (estudante, professor ou outro) e das viagens (modos de transporte utilizados e alternativos, origem da viagem para as pessoas que acessaram no polo ou destino de viagem para aqueles que estavam saindo). Os levantamentos realizados foram: (a) pedestres: contagem visual de todas as pessoas que entram e saem do campus, (b) censos de volume e composição veicular: contagem visual dos veículos que entram e saem, discriminado por tipo (carro, ônibus, motocicleta, taxi, bicicleta, outros), também o número de pessoas por veículo (ocupação), (c) pesquisas para as pessoas que entram ou saem a pé, perto dos acessos e ao estacionamento.

Como complemento, foram utilizadas imagens aéreas utilizando um *drone*. As filmagens tiveram como objetivo identificar os movimentos na rotatória localizada no acesso do campus universitário, ver Figura 3. Os voos foram feitos no dia 25 de

setembro de 2015 às 08:19 am. e às 01:55 pm. e no dia 6 de novembro de 2015 às 8:10 pm. A vantagem desta nova tecnologia é a recolecção de dados simultaneamente nos acessos para a rotatória e também de pode fazer censo de volume e composição nos outros acessos, tanto das entradas como dos egressos, identificando também movimentos de giro e os volumes de pedestres. Finalmente, se obtiveram dados de tráfego nas ruas próximas ao prédio. Esses registros permitiram fazer observações de características de circulação veicular e pedestre na rede viária (Maldonado *et al.*, 2016) e validação de dados.



Figura 3. Rotunda da entrada UNLaR, 2015.

Toda a operação de levantamento permitiu uma avaliação do padrão de viagens no UNLaR. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das contagens de volume e composição de veículos nos diferentes períodos.

Hora Início	Hora Fim	Total ingressos	%	Total egressos	%	Total ingressos e egressos
07:30	8:30	913	61	590	39	1503
08:30	9:30	491	70	214	30	705
12:30	13:30	345	40	528	60	873
13:30	14:30	551	50	549	50	1100
18:00	19:00	524	48	562	52	1086
19:00	20:00	398	44	505	56	903
Total		3222		2948		6170

Tabela 1: Volume de veículos e percentual de veículos de ingresso e de egresso para polo

Os dados mostram que o pico de veículos ocorreu no primeiro período da

manhã (2208). Há uma elevada proporção de motocicletas em geral, inclusive em alguns horários a quantidade de motocicletas supera a quantidade de automóveis.

As taxas médias de ocupação de veículos observadas foram 1,70 para carros (amostra total 2608) e de 1,40 para motocicletas (amostra total 2718), de 1,60 para táxis, de 1,10 para bicicletas e de 1,9 para o resto (kombi e outros).

Hora Início	Hora Fim	Carros	Motoc	Taxi	Bici	Outro	Total veículos
7:30	8:30	59	32	7	1	1	1503
8:30	9:30	50	40	8	1	0	705
12:30	13:30	49	45	3	1	2	873
13:30	14:30	51	42	5	1	1	1100
18:00	19:00	50	43	3	3	1	1086
19:00	20:00	45	50	3	1	0	903
Média		52	41	5	1	1	6170

Tabela 2: Participação veicular. Distribuição por tipo de veículo nos ingressos e nas saídas (em percentuais) e volume total (em veículos) por período considerado

Em relação ao movimento de pedestres, 56% do movimento de pedestres ocorre no período da tarde, entre as 18:00 e as 20:00. Tabela 3.

Hora Início	Hora Fim	Total ingressos	Total egressos	Total pedestres	Total egressos	Total pedestres
07:30	8:30	540	54	594	2%	11%
08:30	9:30	382	160	542	14%	10%
12:30	13:30	221	488	709	19%	13%
13:30	14:30	329	198	527	8%	10%
18:00	19:00	824	837	1661	32%	31%
19:00	20:00	439	877	1316	34%	25%
Total		2735	2614	5349	100%	100%

Tabela 3: Volume de ingressos e dos egressos e percentagem total de pedestres

Com relação às pesquisas, dos 825 entrevistados que responderam a respeito de suas viagens ao polo, 42% eram homens, 77% eram estudantes universitários e 12% eram estudantes do ensino médio (a quantidade pesquisada era relativamente escassa para fins de diferenciação de comportamento da demanda de viagens do polo educacional neste nível). Na distribuição modal, Tabela 4, o primeiro lugar é ocupado pela modalidade a pé (43,2%) que tem origem, principalmente dos bairros próximos. Em segundo lugar, aparece o transporte público (28,5%). Se observa que, quase a metade das pessoas não possui outra alternativa para acessar o polo, Tabela 5. A dependência do veículo privado é notável. Segundo as pesquisas, 61% utilizam a entrada do polo pela rotatória.

Carro	Motoc	A Pe	Ônibus	Outro	Total de viagens pesquisadas
230	205	695	458	20	1608
14,3%	12,7%	43,2%	28,5%	1,2%	

Tabela 4: Participação modal de viagens geradas pelo campus de acordo com pesquisas

Nenhuma	Carro	Motoc	Taxi	A Pe	Bici	Ônibus	Total respostas
373	86	76	7	73	18	164	797
46,8%	10,8%	9,5%	0,9%	9,2%	2,3%	20,6%	

Tabela 5: Modos alternativos de viagem de acordo com pesquisas

As filmagens obtidas a partir dos voos de drone permitiram quantificar os movimentos de giro e a composição do tráfego na rotatória. A participação das motocicletas na corrente veicular foi da ordem de 40%, Tabela 6. O volume horário dos primeiros dois períodos foram de 2200 e de 2670. A Tabela 7 apresenta os volumes veiculares do ingresso e do egresso para o rotunda. O acesso oeste da rotunda corresponde à entrada do UNLaR, Avenida Luis de la Fuente (acesso norte). O pico na avenida adjacente, à noite, não coincide com o pico de ingresso / egresso do polo que ocorre pela manhã.

Horário	Período min	Carros e caminhonetas %	Motoc %	Ônibus %	Bici %	Kombi %
08:19	10	56	39	3	1	1
13:55	14	53	43	3	0	1
20:10	14	55	41	3	0	0

Tabela 6: Composição agrupando todas as ramas da rotunda, entradas e egressos.

Horário	Acesso Este	Acesso Sur	Acesso Oeste	Acesso Norte
08:19	84 (97)	81 (98)	36 (83)	177 (100)
13:55	116 (102)	116 (188)	71 (82)	215 (168)
20:10	130 (125)	172 (164)	60 (36)	182 (219)

5 | TAXAS E MODELOS DE GERAÇÃO

Baseado em dados de instituições de nível universitário argentinos (Portugal, 2012), juntou-se dados das universidades na cidade de Córdoba, com o campo universitário localizado na cidade de La Rioja totalizando quatorze instituições no estudo. Os dados de viagens de pessoas por dia foram ajustados estatisticamente com os alunos matriculados ativos. Foram calibrados cinco tipos de modelos de

viagens diárias: (1) para todas as viagens, considerando todos os modos juntos, (2) para viagens em modos motorizados individuais, considerando as modalidades de condução de veículos automóveis, táxis e motocicletas (3) para viagens nos modos motorizados massivos, levando em consideração o modo ônibus, (4) para o grupo de viagens não motorizados, foram consideradas os modos bicicleta e a pé (5) para viagens motorizados considerando somente motocicleta. Considera-se uma viagem tanto para a entrada como para a egresso do centro universitário, isto é, que uma pessoa indo e voltando gera duas viagens.

Nº	Estabelec.	Viagens	AC	Bus	A Pé	AA	Taxi	Motoc	Bici	Ativos
1	ARQCE	4392	1,9	36,2	35,7	16,4	9,4	0,5	0	3431
2	DEREC	11376	5,4	45	33,8	12,9	2,1	0,8	0	9832
3	ARQCU	7212	5,4	36,3	31,7	11,3	15,4	0	0	5147
4	AGRON	3342	13,2	38	27,8	9	8,1	1,3	2,6	3158
5	ECON	26096	7,7	51	35,8	0,9	1,1	2,6	0,9	16610
6	CEFYN	5976	19	34,5	30,5	4,5	0,5	4,5	6,5	5823
7	C. INF	6720	3,7	53,4	33,3	6,8	0,9	0,5	1,4	5374
8	C. QUIM	3496	6,6	51,6	29,9	6,6	3,3	1,2	0,8	2970
9	LENGUA	5472	4,3	48,3	29,1	15,8	2,1	0	0,4	4705
10	ODON	5200	15,5	44,5	15,5	14	9,5	1	0	4289
11	FAMAF	3144	20,2	36,5	31,6	3,4	2,7	1,1	4,6	1382
12	UTN	18494	19,1	40,7	29,7	2,5	3,3	2,2	2,5	10503
13	UCC	9062	35,1	45,6	0	17,1	0,8	0,6	0,8	5200
14	UNLaR ^(a)	22500	9,2	28,5	43,2	5,1	0,8	12,7	0,4	18220

Tabela 8: Viagens diárias de pessoas (em quantidade), escolha modal para um dia de trabalho (em porcentagem) e alunos ativos (em quantidade).

Nota: Polos 1 até 11 são as diferentes Faculdades da Universidade Nacional de Córdoba, o polo 12 é o campus da Universidade Tecnológica e o pólo 13, da Universidade Católica de Córdoba.

Fonte: Elaboração com base em Portugal (2012). Incorpora (a), dados de elaboração própria.

AC: motorista de carro. AA: acompanhante de moto

Os dados reportados na Tabela 8 permitem comparar dados das cidades de Córdoba e de La Rioja. A escolha modal varia significativamente de acordo com o centro universitário. Em particular, a grande diferença em relação ao resto das viagens e a participação do carro no UCC e a participação de motocicletas no UNLaR. Os modelos de geração nestes casos fornecem estimativas distantes da realidade, subestimando viagens de carro e superestimando viagens a pé, no caso da UCC e subestimando a geração de viagens de motocicletas em UNLaR. A expansão de um dia inteiro no UNLaR rendeu um total de 22500 viagens.

Duas variáveis de controle foram usadas para considerar as situações particulares de variabilidade na distribuição modal no único estabelecimento localizado longe do centro na UCC e da alta presença de motocicletas no UNLaR.

Decidiu-se calibrar três tipos diferentes de modelos: (1) considerando uma única variável explicativa (matrícula ativa), regressão simples; (2) um outro considerando estabelecimentos fora do centro, regressão múltipla e (3), além outro considerando uma elevada percentagem de motocicletas, regressão múltipla. Um modelo foi ajustado considerando todos os centros universitários em uma única categoria, com uma única variável independente (X_1), o número de alunos matriculados ativos. Os outros dois modelos com duas variáveis independentes: (1) com o número de alunos matriculados ativa (X_1) e (2) com uma variável *dummy* (X_2) que fornece distância superior a 5 km, e uma outra variável *dummy* (X_3), que fornece percentual de motocicletas superiores a 10%.

$$\text{Modelo 1: } Y = a + bX_1$$

$$\text{Modelo 2: } Y = a + bX_1 + cX_2$$

$$\text{Modelo 3: } Y = a + bX_1 + cX_3$$

onde as variáveis são:

Dependente Y : número de viagens diárias de pessoas

Independente X_1 : número de alunos matriculados ativos

Independente X_2 : nulo se a distância ao centro for inferior a 5 km, um se for maior

Independente X_3 : nulo se a percentagem de motocicletas for menor que 10%, um se for maior

5.1 Modelos para o total das viagens diárias

Um tipo de modelo foi ajustado considerando todos os centros universitários em uma única categoria, com uma única variável independente (X_1), número de alunos matriculados ativos (*Modelo 1*). A Tabela 9 resume os resultados obtidos para os treze centros (Portugal, 2012) e para os catorzes deste estudo. Pode-se observar que o modelo prevê 1,6 viagens por dia para cada aluno matriculado, devendo deduzir do total de 1224 viagens, ou seja, em média, os alunos não viajam todos os dias.

Quantidade de instituições	Coeficiente a		Coeficiente b		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13	- 1224	- 1,37	1,61	13,0	0,94
14	-297,3	-0,29	1,41	11,9	0,93

Tabela 9: Modelo 1 para viagens diárias em todas as modalidades

Para o caso dos 14 estabelecimentos educacionais, o modelo prevê 1,4 viagens

por dia para cada aluno ativo, e deve deduzir 297 viagens do total, ou seja, um resultado similar.

5.2 Modelos Para Viagens Diárias em Meios Motorizados Individuais

Meios motorizados individuais incluem motorista de carro, acompanhante do motorista, táxi e motocicleta. A porcentagem de uso de motocicletas é relativamente pequena, exceto no caso da UNLaR.

Quantidade de instituições	Coeficiente a		Coeficiente b		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13	917	1,31	0,20	2,14	0,32
14	447	0,26	0,29	3,86	0,57

Tabela 10: Modelo 1 para viagens diárias por meios motorizados individuais

Neste caso, a incorporação do polo do UNLaR permite uma estimativa mais precisa de viagens diárias pelo Modelo 1, Tabela 10, sem a incorporação da variável para considerar a distância do centro ao polo. A incorporação da nova instituição melhora o ajuste. No entanto, o Modelo 2 foi considerado com a variável X_2 , Tabela 11, para uma estimativa mais ajustada.

Quantidade de instituições	a		B		c		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13 com X_2	544,2	1,060	0,22	3,23	3173	3,24	0,68
14 com X_2	68,75	0,124	0,32	5,12	3143	2,71	0,76

Tabela 11: Modelo 2 para viagens diárias por meios motorizados individuais com duas variáveis explicativas (X_1 e X_2)

Considerando o uso de duas variáveis explicativas do segundo modelo, obtém-se um melhor ajuste, coeficiente de determinação R^2 maior, e uma estatística significativa t para a variável *dummy*. Este resultado pode ser considerado previsível devido ao maior uso do veículo individual no caso em que o estabelecimento está localizado longe do centro da cidade.

5.3 Modelos Para Viagens Diárias em Meios Motorizados Massivos

Os meios motorizados massivos correspondem a linhas regulares de ônibus ou serviços especiais ao polo no caso dos dados fornecidos em Portugal (2012). Quando o novo estabelecimento é introduzido, o ajuste do modelo é provavelmente modificado devido à falta de uso do serviço dada sua precariedade e a opção de

escolha em motocicletas que existe na cidade de La Rioja (Maldonado, 2016), Tabela 12.

Quantidade de instituições	Coeficiente a		Coeficiente b		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13	-1024	-1,98	0,80	11,47	0,93
14	176	0,19	0,55	5,44	0,73

Tabela 12: Modelo 1 para viagens diárias por meio motorizado massivo

Dado que há uma diminuição no ajuste para o caso de incorporação de todos os estabelecimentos, a variável X_3 é incorporada porque a alta participação de motocicletas na distribuição modal é em detrimento do uso do transporte público. O modelo de duas variáveis explicativas (com X_3) resulta em um bom ajuste (não tão X_2), Tabela 13, com um coeficiente de determinação semelhante ao caso apresentado em Portugal (2012).

Quantidade de de instituições	a		b		c		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13 com X_2	-1154	-2,20	0,80	11,65	1107	1,11	0,93
14 com X_2	34,2	0,03	0,57	5,31	1181	0,60	0,74
14 com X_3	-1024	-1,98	0,80	11,47	-7144	-5,47	0,93

Tabela 13: Modelo 2 e 3 para viagens diárias por meio motorizado massivo

5.4 Modelos Para Viagens Diárias em Meios Não Motorizados

Meios não motorizados incluem viagens a pé e de bicicleta. Deve-se notar aqui que, em quase todos os casos, a porcentagem de uso de bicicletas é relativamente pequena. Melhora ajuste com a incorporação do novo estabelecimento, Tabela 14.

Quantidade de instituições	Coeficiente a		Coeficiente b		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13	1135	2,29	0,60	9,01	0,89
14	1108	2,59	0,60	12,29	0,93

Tabela 14: Modelo 1 para viagens diárias não motorizadas

5.5 Taxas e Modelos Para Estimar Viagens De Carro

A partir da Tabela 8, pode-se notar que a participação percentual de viagens de motorista de carro e acompanhante de motorista varia muito entre os centros considerados. Supunha-se que as viagens de carro podem ser razoavelmente estimadas através das porcentagens de motorista de carro e táxi. Essa suposição

é válida na maioria dos casos e estaria subestimando a geração em que o modo de transportar alguém fora importante (Herz *et al.*, 2009). A Tabela 15 mostra o número de alunos ativos, viagens diárias e viagens de carro nos quatorze centros. A taxa média de geração de viagens de carro é de 0,24 viagens diárias por aluno ativo. A taxa média diária do UNLaR é de 0,33. A utilização dos 14 estabelecimentos melhora a estimativa de viagens com uma variável, também no Modelo 2. Tabelas 16 e 17.

Nº	Estabelec.	Alunos ativos	Viagens diários	Viagens de carro	Taxa média de geração
1	ARQCE	3431	4392	496	0,14
2	DEREC	9832	11376	853	0,09
3	ARQCU	5147	7212	1500	0,29
4	AGRON	3158	3342	712	0,23
5	ECON	16610	26096	2296	0,14
6	CEFYN	5823	5976	1165	0,2
7	C. INF	5374	6720	309	0,06
8	C. QUIM	2970	3496	346	0,12
9	LENGUA	4705	5472	350	0,07
10	ODON	4289	5200	1300	0,3
11	FAMAF	1382	3144	720	0,52
12	UTN	10503	18494	4143	0,39
13	UCC	5200	9062	3253	0,63
14	UNLaR ^(a)	18220	22500	6075	0,33
Total		96644	132482	23518	0,24

Tabela 15: Dados de estabelecimentos e índices de geração de viagens de carro
 Fonte: Elaboração com base em Portugal (2012). Incorpora (a), dados de elaboração própria.

Modelo	Coeficiente a		Coeficiente b		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13	476	0,81	0,15	1,87	0,26
14	159	0,28	0,21	3,41	0,51

Tabela 16: Modelo 1 para viagens diárias de carro

Quantidade de instituições	a		b		c		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13 com X ₂	219	0,42	0,16	2,40	2193	2,25	0,53
14 com X ₂	-103	-0,20	0,23	4,11	2173	2,09	0,66

Tabela 17: Modelo 2 para viagens diárias de carro, variáveis explicativas (X₁ e X₂)

5.6 Taxas e modelos para estimar viagens de motocicletas

A taxa média de geração de viagens em motocicletas do UNLaR é de 0,16 viagens por aluno matriculado, enquanto a média de todos os centros é de 0,03. Em todos os casos o percentual de uso de motocicletas é muito menor que 2,6% (superado apenas por dois centros com 4,5% e para o caso do UNLaR muito superior, 12,7 %). O modelo para o caso de 13 estabelecimentos, com baixa presença de carros produz um R² de 0,76, com uma variável e não é modificado considerando a variável *dummy*, Tabela 18 e 19. Para os quatorze estabelecimentos, duas variáveis explicativas foram utilizadas dada a elevada participação das motocicletas (X₁ e X₃). O modelo acrescenta mais 908 viagens em motocicletas à estimativa apenas no caso em que a porcentagem de viagens nessa modalidade foi maior que 10% e o número de alunos matriculados ativos também foi alto (mais de 10.000).

Modelo	Coeficiente a		Coeficiente b		R ²
	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	
13	-130	-2,28	0,04	5,67	0,76
14	-498	-2,06	0,12	4,29	0,63

Tabela 18: Modelo 1 para viagens diárias de motocicletas

Quantidade de instituições	Valor	a		b		c		R ²
		Estat. t	Valor	Estat. t	Valor	Estat. t	Valor	
13 X ₂	-124	-2,04	0,04	5,38	-46,2	-0,40	0,77	
14X ₂	-498	-1,87	0,12	4,05	-69	-0,13	0,63	
14 X ₃	-442	-2,29	0,09	3,77	908	2,7	0,78	

Tabela 19: Modelo com variável *dummy* para viagens diárias de motocicletas

5.7 Considerações Sobre a Qualidade do Ajuste dos Modelos

Usando o estatístico *t de student*, pode-se definir se a estimativa do coeficiente correspondente é significativamente diferente de zero com um determinado intervalo de confiança. Para a quantidade de dados disponíveis (13 ou 14) e coeficientes calculados (2 ou 3), com um intervalo de confiança de 95%, o valor limite de *t* é da ordem de 1,81 e para um intervalo de confiança de 90%, o valor de *t* limite é da ordem de 1,37. Como consequência, obter valores menores que os citados de *t*, não permitiria afirmar, com esses intervalos de confiança, que os coeficientes eram significativamente diferentes de zero (e portanto não contribuiriam para explicar a variável dependente).

Nas Tabelas 9, 10, 11 e 12, 13, 16, 17 e 19 são observados valores de *t* inferiores aos mencionados anteriormente. Com as exceções da Tabela 13 e 19, em todos os outros casos, eles correspondem aos termos independentes de alguns dos modelos. Nas Tabelas 13 e 19 eles também são registrados para a variável *dummy* X₂. Deve-se notar que, em todos os casos, os coeficientes das variáveis X₁ e X₃ são significativamente diferentes de zero.

6 | CONCLUSÕES

Podemos dizer que o UNLaR possui uma demanda sostenida e continua com um padrão de viagens diferentes de outros polos. A principal característica é a elevada proporção de motocicletas (40%) no fluxo de veículos. Do total das pesquisas, 43% correspondiam à modalidade a pé. O carro e a motocicleta praticamente tinham mesmo peso (13%). Considerando o número de pedestres e veículos com sua ocupação média, o movimento de pessoas é muito significativo estimando-se o número de viagens diárias geradas no polo em 22500 pessoas, destacando-se a importância que o UNLaR tem na região como um polo de geração de viagens.

Enquanto a modelagem, a partir de uma combinação de dados de outras universidades da Argentina junto com os dados obtidos na UNLaR foi criada um novo banco de dados que tem mais do 132.000 viagens. Desse total 16% correspondem à UNLaR. Com o banco de dados ampliado foi realizada a formulação dos modelos para a geração de viagens diárias em modos motorizados individuais, motorizados massivos e não motorizados, de total de viagens e, particularmente, de viagens em

motocicletas. A taxa média de geração de viagens diárias totais é de 1,38 viagens por aluno matriculado ativo. Verifica-se que a variável explicativa é a matrícula de alunos ativos no centro universitário, conforme relatado no ITE e em Portugal. Recomenda-se a utilização de uma variável *dummy* para um melhor ajuste, devido a diferenças nas características ou distribuições modais dos estabelecimentos universitários, como a distância da área central ou a presença de motocicletas. O modelo de geração de motocicletas foi bem ajustado com a variável *dummy* para incluir a presença de motocicletas em uma alta proporção.

O trabalho contribui para ter índices e modelos de geração de viagens em motocicletas dando o pontapé inicial para contemplar essa nova realidade no aumento de seu uso nas cidades da América Latina. Recomenda-se a continuidade na linha de trabalho proposta, pois constitui o passo inicial para estudos de impacto que permitam contribuir para o planejamento e implementação de políticas sustentáveis de gestão da mobilidade urbana.

AGRADECIMENTOS

Aos alunos de Engenharia Civil, comunidade universitária e Secretaria de Ciência e Tecnologia da UNLaR e do Programa Universidade e Transportes, Secretaria de Políticas Universitárias, Ministério da Educação da Nação.

REFERÊNCIAS

CET. COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. **Polos Geradores de Tráfego**. Boletim Técnico da CET, n 32, p. 16-17. São Paulo, SP.,1983.

DEPIANTE, V., MALDONADO, P., PEÑA POLLASTRI, H. et al. **Motovehículos y su impacto en la movilidad en la ciudad de La Rioja**. Revista Vial, n 112, p. 16-20. Edición especial Aniversario 20 años. ISSN 0329-1146, 2016.

DEPIANTE, V.; MALDONADO, P.; PEÑA POLLASTRI J., CUELLO, J.; MACCHI L., MIRABAL, M.; GÓMEZ, L.; GARCÍA, J. **Motovehículos y su impacto en la movilidad en la ciudad de La Rioja**. En XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. 24 a 28 de octubre de 2016 – Rosario, 2016.

HERZ, M.; GALARRAGA, J.; PASTOR, G. **Características de generación y distribución modal de viajes en centros educativos universitarios**. XV CLATPU-Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano. Buenos Aires, Argentina, 2009.

GALARRAGA, J.; HERZ, M.; PASTOR, G. **Centros universitarios como polos generadores de viajes**. XIV Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano. Río de Janeiro, Brasil, 2007.

ITE-INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. **TRIP GENERATION, 9th Edition**, Washington, D.C., 2012.

JACQUES, M.A.P.; BERTAZZO, A.; GALARRAGA, J.; HERZ, M. **Nova Abordagem para o estudo das viagens geradas nas instituições de ensino**. Revista Transportes, v 18 n. 1, p. 76-86. Brasil, 2010.

FERREIRA DE SOUZA S. C., PRUDENCIO JACQUES M. A. **Modelos para estimativa de viagens geradas por instituições de ensino superior**, XX ANPET, Brasília, 2006.

LEIGHTON ESPEJO, CLAUDIA PAZ. **Estimación de tasas de generación de viajes para actividades comerciales en el AMC Área Metropolitana de Caracas. Propuesta metodológica**. Trabajo de grado no publicado, Universidad Simón Bolívar Lima Perú. Disponível em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/disertaciones-y-tesis/outros-anos/40-estimacion-de-tasas-de-generacion-de-viajes-para-actividades-comerciales-en-el-amc>portada/file. Acessado em 28 de abril de 2015, 2001.

MALDONADO, P.; GALARRAGA, J.; DEPIANTE, V.; PEÑA POLLASTRI, H.; PETROVIC, H.; ALAMO, F.; GALLARDO, O. **Estudios de tránsito y transporte. Experiencias de relevamiento de datos**. Ciencia y Tecnología al Servicio de la Democracia: IX Jornadas de Ciencia y Tecnología. La Rioja: Eudelar. ISBN 978-987-1364-22-0, 2014

MALDONADO, P., PEÑA POLLASTRI, P., DEPIANTE, V., GALLARDO, O., PERALTA, C., GARELLA, E. **Nodo polifuncional urbano regional. Caso UNLAR en la ciudad de La Rioja**. III Jornadas Provinciales de Vinculación y Transferencia Científica y Tecnológica, 2015.

MALDONADO, P. **Movilidad y seguridad en motovehículos. Nueva realidad, nuevos desafíos en políticas públicas en la ciudad de La Rioja**. Informe Final Proyecto 31-65-088 Convocatoria 2014 - Expte. ME. 2514/14 - RSPU N° 4537/2014. Ministerio de Educación, Secretaría de Políticas Universitarias, Programa Universidad y Transporte. Informe Final. Universidad Nacional de La Rioja, 2016.

SOUZA BERTAZZO A. B. *et al.* **Estabelecimentos de Ensino. In: Portugal L. (org.) Pólos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental: Modelos y taxas de geração de viagens**. Ed. Interciencia, p. 287-327, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

PORTUGAL, L. S. **Polos geradores de viagens orientados a qualidade de vida e ambiental: Modelos y taxas de geração de viagens**. Ed. Interciencia, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

RODRÍGUEZ, D., SANTANA, M., & PARDO, C. **La motocicleta en América Latina: caracterización de su uso e impactos en la movilidad en cinco ciudades de la región**. Despacio, Ed. Bogotá: CAF, 2015.

VAN, N. T., BOLTZE, M., TUAN, V. **Urban Accessibility in Motorcycle Dependent Cities – Case Study in Ho Chi Minh City**, Vietnam 13th WCTR, Rio de Janeiro, Brazil, 2013.

MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA O CONTROLE ATIVO DO PLANO DE TEMPORIZAÇÃO SEMAFÓRICA DE INTERSEÇÕES

Samara Soares Leal

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, Belo Horizonte, Minas Gerai

Paulo Eduardo Maciel de Almeida

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, Belo Horizonte, Minas Gerai

José Elievam Bessa Júnior

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, Belo Horizonte, Minas Gerais

RESUMO: Este relatório de tese apresenta uma proposta de um Modelo de Controle Ativo da Temporização Semafórica de Interseções (ACTST - *Active Control of Traffic Signal Timing*) a ser obtido por meio do modelo de otimização não-linear e combinatória (OMACTST - *Optimization model of the Active Control of Traffic Signal Timing*). O uso de técnicas de Inteligência Computacional (IC) no processo de otimização do controle de semáforos é promissor e pode proporcionar um controle de tráfego mais eficiente que minimize as consequências causadas pelo crescente congestionamento dos veículos nos grandes centros urbanos. Diante desta corroboração, pretende-se apresentar o

modelo de otimização OMACTST que consiste em duas partes: (i) o problema de otimização não linear, cujo objetivo é determinar o programa semafórico utilizando o modelo ACTST; (ii) o problema de otimização combinatória, que tem como propósito determinar a sequência ótima de fases dos semáforos. Primeiramente, propõe-se um aperfeiçoamento para o modelo ACTST, adicionado novas variáveis de decisão (tempo de ciclo e defasagem) e uma modificação nos operadores genéticos. Logo após, pretende-se discutir o problema de encontrar o sequenciamento de fases ideal para o plano semafórico das interseções em estudo. **PALAVRAS-CHAVE:** controle ativo, controle de semáforos, otimização, algoritmos genéticos

OPTIMIZATION MODEL FOR ACTIVE CONTROL OF TRAFFIC SIGNAL TIMING PLAN OF INTERSECTIONS

ABSTRACT: This thesis report presents a proposal for an Active Control of Traffic Signal Timing (ACTST) to be obtained through the nonlinear and combinatorial optimization model (OMACTST - *Optimization model of the Active Control of Traffic Signal Timing*). The use of Computational Intelligence (CI) techniques in the process of optimizing traffic light control is promising and can provide more efficient traffic control that minimizes the consequences

caused by increasing traffic congestion in large urban centers. Given this corroboration, we intend to present the OMACTST optimization model which consists of two parts: (i) the nonlinear optimization problem, which aims to determine the semaphoric program using the ACTST model; (ii) the combinatorial optimization problem, which aims to determine the optimal sequence of traffic lights phases. Firstly, an improvement to the ACTST model is proposed, adding new decision variables (cycle time and lag) and a modification in the genetic operators. Soon after, we intend to discuss the problem of finding the ideal phase sequencing for the semaphore plane of the intersections under study.

KEYWORDS: active control, traffic light control, optimization, genetic algorithms

1 | INTRODUÇÃO

As políticas de mobilidade adotadas não estão sendo suficientes para conter os problemas advindos do aumento do trânsito urbano. Além disso, de acordo com Renfrew *et al.* (2012), há muitas dificuldades que necessitam ser abordadas no que diz respeito ao controle semaforico. As correntes de tráfego são geralmente estocásticas e não-lineares; assim, muitas técnicas de controle convencional não conseguem produzir resultados ótimos. As condições de tráfego podem mudar rapidamente e, dessa forma, deve-se buscar estratégias de controle semaforicos que devem ser altamente responsivas e em tempo real.

Diante disso, nos últimos anos, vem sendo desenvolvidas várias pesquisas em modelos de redes dinâmicas de tráfego, sobretudo na área de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS - *Intelligent Transportation Systems*). Dentre as estratégias de controle, destaca-se o controle ativo de tráfego (ATM - *Active Traffic Management*). Esses sistemas inteligentes têm a capacidade de gerenciar dinamicamente congestionamentos recorrentes e não recorrentes com base nas condições de tráfego existentes, afirma Mirshahi *et al.* (2007).

Na literatura, é possível encontrar muitas técnicas de Inteligência Computacional (IC) sendo utilizadas. Dentre elas, destacam-se os algoritmos evolutivos, utilizados no Modelo de Controle Ativo da Temporização Semaforica de Interseções (ACTST - *Active Control of Traffic Signal Timing*) (Leal *et al.*, 2017): (i) o algoritmo genético (AG) é uma classe particular de algoritmos evolutivos que usam técnicas inspiradas na biologia evolutiva como hereditariedade, mutação, seleção natural e cruzamento (Goldberg, 1989); (ii) o algoritmo de evolução diferencial (DE) tem um mecanismo de busca sustentado pelo operador de mutação diferencial que utiliza vetores-diferença criados a partir de pares de vetores da própria população (Storn *et al.*, 1995); e (iii) o algoritmo *Nondominated Sorting Genetic Algorithm 2* (NSGA2) constrói um mecanismo de aptidão a partir do algoritmo de classificação de fronteira *fast nondominated sorting* e a atribuição do operador de preservação da diversidade *crowding distance* (Deb *et al.*, 2002).

Nesse contexto, o AG têm sido utilizado em sistemas de controle do tráfego para otimizar os tempos de viagem (Teklu *et al.*, 2006), para reduzir o tempo de atraso dos veículos (Vilarinho e Tavares, 2014), para maximizar a capacidade da rede (YIn, 2000) e minimizar o índice de performance da rede (Ceylan e Bell, 2004), dentre outros objetivos. Já os trabalhos de (Ohazulike e Brands, 2013), (Costa *et al.*, 2013), (Wang *et al.*, 2014), (Zhou e Cai, 2014) utilizam a abordagem multiobjetivo para solucionar problemas de controle de tráfego.

2 | O MODELO ACTST

A Otimização é o campo de conhecimento cujas técnicas visam determinar os extremos (máximos ou mínimos) de funções. De maneira concreta, pode-se pensar que uma função cujo extremo se quer descobrir representa um fator de mérito relacionado com um sistema que se deseja analisar (Gaspar-Cunha *et al.*, 2013).

O ACTST é um modelo de otimização do tempo médio de atraso de veículos em interseções. No ACTST desenvolvido no trabalho de Leal *et al.* (2017), o objetivo foi encontrar uma boa configuração para o plano semafórico (tempo de verde dos semáforos) que minimize o tempo médio de atraso dos veículos nas interseções de acordo com a demanda obtida dinamicamente. As vantagens do novo método em comparação com outros já existentes é que o modelo ACTST é capaz de suprir algumas limitações apresentadas em trabalhos anteriores, pois é independente de simulação para avaliar as soluções, tornando o processo de convergência mais rápido e de fácil adaptação para o mundo real.

Esse modelo foi capaz de reduzir pela metade o tempo médio de atraso necessário para os veículos atravessarem a região de estudo. O AG usado encontrou a melhor solução para o problema mono-objetivo, enquanto o DE apresentou a melhor taxa de convergência. Para o problema multiobjetivo, foi adicionada a função que minimiza o número de paradas dos veículos nos semáforos e o NSGA2 gerou 7 soluções eficientes, oferecendo uma diversidade de soluções.

3 | OBJETIVO GERAL: O MODELO OMACTST

Diante da comprovada eficiência do modelo ACTST, este relatório apresenta uma proposta de tese que visa propor uma extensão do ACTST para um modelo de otimização não linear e combinatória (OMACTST – *Optimization Model of the Active Control of Traffic Signal Timing*) que contém duas abordagens: (i) o problema de otimização não linear, cujo objetivo é determinar um plano de controle semafórico eficiente, ou seja, a configuração de tempos de verde, tempos de ciclo e defasagem para os semáforos que minimizem o tempo de atraso dos veículos de uma região em estudo, utilizando o ACTST; (ii) o problema de otimização combinatória, que tem como propósito determinar a sequência ótima de fases dos semáforos desta região.

Para (i), propõe-se um aperfeiçoamento no modelo, adicionado novas variáveis de decisão (tempo de ciclo e defasagem) e uma modificação no operador de cruzamento a fim de garantir uma convergência mais rápida aos algoritmos. Em (ii), pretende-se determinar a sequência de fases ótima que minimiza o atraso médio dos veículos nas vias testando diferentes mecanismos de busca local associados aos algoritmos genéticos.

Alguns trabalhos abordam o sequenciamento de fases discutidos em (ii) na otimização do controle do plano semaforico de interseções. No trabalho de Sung e Bell (1997), o AG é utilizado para encontrar a sequência de fases ideal que minimize um Índice de Desempenho (PI) para a rede que é uma soma ponderada dos atrasos de todos os veículos e paradas. Em Samra *et al.* (2015), os autores utilizam programação dinâmica para encontrar o sequenciamento de fases ótimo que minimize uma função de custo. Naquele trabalho, os autores comparam os resultados obtidos com o algoritmo clássico para problema de sequenciamento de fases de semáforo (COP - *Controlled Optimization of an Intersection*).

A partir desse breve levantamento do estado da arte, pode-se observar que as técnicas de IC são promissoras para auxiliar no controle de tráfego e que o modelo ACTST pode ser estendido para uma abordagem de otimização não linear e combinatória.

4 | CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O problema proposto neste relatório aborda a construção do modelo de otimização não linear e combinatória OMACTST para realizar o controle ativo de tráfego de interseções que é composto por duas partes: o problema de otimização não-linear: cujo objetivo é determinar os tempos de verde dos semáforos, que minimizem o tempo médio de atraso dos veículos nas interseções em estudo utilizando o modelo ACTST com a adição de modificações nos operadores e mais duas variáveis de decisão: o tempo de ciclo dos semáforos e a defasagem (*offset*); o problema de otimização combinatória: que tem como propósito determinar a sequência de fases dos semáforos que minimize o tempo médio de atraso dos veículos.

Assim, o problema de otimização não linear e combinatória pode ser formulado como: o plano de controle de semáforo Ω será composto pelo tempo de ciclo C , a defasagem D e pela sequência de fases $F = \langle (f1), (f2), \dots, (fn) \rangle$ e para cada fase f pelo seu tempo de verde x . Sendo assim, definir um Ω ótimo significa encontrar valores de F , x , d e C que satisfaçam o seguinte objetivo:

Minimizar $a_m(\Omega)$

$$\text{Sujeito a: } \begin{cases} C = \sum x, & \forall x \in f \\ x > 0; \end{cases}$$

A função objetiva encontrar o plano semafórico Ω que minimize o atraso médio dos veículos na interseção. A primeira restrição determina que o tempo de ciclo deve ser igual à soma de todos os tempos de verde de uma fase e a segunda que o tempo de verde não pode ser negativo. O modelo é executado a cada intervalo de tempo C de ciclo, em que há o processo de realimentação do sistema com novos dados de tráfego gerando diferentes planos semafóricos pelos algoritmos conforme a demanda.

A validação dos algoritmos dar-se-á por meio de experimentos práticos. Os experimentos seguirão, a princípio, o seguinte planejamento: Será analisado um período de tráfego intenso em interseções de uma região da cidade de Belo Horizonte. Os dados de demanda desta região, coletados pela BHTrans (Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte) serão utilizados no simulador microscópico AIMSUN. A partir da simulação, os dados serão coletados pelo modelo de otimização MOACTST, que de acordo com a demanda, irá definir, a partir da execução das técnicas de IC propostas, qual a melhor sequência de fases, tempo de verde e de ciclo para os semáforos das interseções. Os resultados dos experimentos usando o modelo MOACTST e os métodos de IC serão comparados e, por conseguinte, analisados e discutidos.

Sabe-se que atualmente simuladores de tráfego como o VISUM já realizam otimização semafórica com base em algoritmos genéticos. A escolha do simulador AIMSUN para este trabalho, dá-se pelo fato da usabilidade do simulador, pela experiência dos autores com o mesmo e por este ser um simulador completo com capacidade de trabalhar com APIs em python e utilização de outras bibliotecas, o que facilita o desenvolvimento dos algoritmos.

5 | CONCLUSÃO

Este relatório apresenta uma proposta de tese que visa estender uma aplicação do ACTST para um modelo OMACTST. O simulador de tráfego AIMSUN será usado para produzir informações necessárias na comparação entre os modelos de otimização semafórica. Serão usados dados de tráfego coletados em Belo Horizonte, mas com a expectativa do método proposto ser replicável para outras localidades.

REFERÊNCIAS

- Ceylan, H.; Bell, M. G. (2004) **Traffic signal timing optimisation based on genetic algorithm approach, including drivers' routing.** *Transportation Research Part B: Methodological*, Elsevier, v. 38, n. 4, p. 329–342.
- Costa, B. C. *et al.* (2013) **Fixed time traffic signal optimization in urban networks using a simulation based multiobjective algorithm.** In: *13th World Conference on Transport Research Society (WCTR)*, Rio de Janeiro, Brasil, p. 1–13.
- Deb, K. *et al.* (2002) **A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: Nsgaii.** *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, n. 2, p. 182–197.
- Gaspar-Cunha, A.; Takahashi, R.; Antunes, C. H. (2013) In: **Manual de Computação Evolutiva e Metaheurística.** 1. ed. Belo Horizonte: UFMG.
- Goldberg, D. E. (1989) **Genetic algorithms in search, optimization and machine learning.** In: [S.I.]: Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company.
- IPEA (2011). **A mobilidade urbana no Brasil. Infraestrutura Social e Urbana no Brasil subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas.** <<http://www.ipea.gov.br>>. Acessado em 2015-02-10.
- Leal, S. S.; de Almeida, P. E. M.; Chung, E. (2017) **Active control for traffic lights in regions and corridors: an approach based on evolutionary computation.** *Transportation Research Procedia*, v. 25, p. 1774-1785.
- Mirshahi, M. *et al.* (2007) Federal Highway Administration - **Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management.** <http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl07012/atm_eu07.pdf>. Acessado em 2015-01-05.
- Ohazulike, A. E.; Brands, T. (2013) **Multi-objective optimization of traffic externalities using tolls.** In: *IEEE. Evolutionary Computation (CEC)*, 2013 IEEE Congress on. [S.I.], p. 2465–2472.
- Renfrew, D.; Yu, Xiao-Hua. (2012) **Traffic Signal Optimization Using Ant Colony Algorithm.** In: *Neural Networks (IJCNN)*, The 2012 International Joint Conference on. IEEE, p. 1-7.
- Samra, S.; El-Mahdy, A.; Wada, Y. (2015) **A Linear Time and Space Algorithm for Optimal Traffic-Signal Duration at an Intersection.** *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, v. 16, n. 1, p. 387-395.
- Teklu, F.; Sumalee, A.; Watling, D. (2006) **A genetic algorithm approach for optimizing traffic control signals considering routing.** Institute for Transport Studies., University of Leeds.
- Vilarinho, C.; Tavares, J. P. (2014) **Real-time traffic signal settings at an isolated signal control intersection.** *Transportation Research Procedia*, Elsevier, v. 3, p. 1021–1030.
- Wang, J. Y. *et al.* (2014) **A bilevel multi-objective road pricing model for economic, environmental and health sustainability.** *Transportation Research Procedia*, Elsevier, v. 3, p. 393–402.
- Zhou, Z.; Cai, M. (2014) **Intersection signal control multi-objective optimization based on genetic algorithm.** *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, v. 1, n. 2, p. 153–158.

A PESQUISA OPERACIONAL COMO FERRAMENTA DE APOIO À ELABORAÇÃO DE ROTEIROS TURÍSTICOS

Admilson Alcântara da Silva

Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção
E-mail: admilson.alcantara@yahoo.com.br

Reinaldo Morabito Neto

Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção
E-mail: morabito@dep.ufscar.br

Vitória Maria Miranda Pureza

Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Engenharia de Produção
E-mail: vpureza@dep.ufscar.br

RESUMO: Este trabalho aborda o problema de elaboração de roteiros turísticos, levando-se em conta parâmetros como custos, distâncias e valoração dos turistas das atrações oferecidas, assim como suas preferências em relação à ordem de visita dessas atrações. O problema é descrito por um modelo de otimização que visa obter roteiros que maximizem a satisfação dos turistas e minimizem os custos envolvidos, e cuja resolução pode ser feita tanto por meio de técnicas de programação matemática como pela aplicação de um algoritmo de busca tabu. São reportados resultados com instâncias geradas aleatoriamente e com base em dados reais, não se tendo conhecimento de trabalhos na literatura similares.

ABSTRACT: This work addresses the problem of elaborating touristic itineraries, taking into account costs, distances and the valuation of the attractions by the visitors, as well as their preferences regarding the order of visit of these attractions. The problem is described by an optimization model, which aims to generate itineraries that maximize the customers' satisfaction and minimize the travel costs, either by means of mathematical programming, or by applying a tabu search algorithm. We present results with these two solution approaches for sets of instances based on randomly generated and real data. As far as we know, there is no similar work reported in the literature.

1 | INTRODUÇÃO

A Organização Mundial do Turismo (OMT, 2014) estima que as atividades turísticas sejam diretamente responsáveis por 6% a 8% dos empregos gerados no mundo. No Brasil, essas atividades movimentaram cerca de 11,9 bilhões de reais em 2014, representando um mercado de seis milhões de turistas viajando pelo país (MTUR, 2015). Esses dados motivam e justificam iniciativas que levem a melhorias do setor, e em particular, na elaboração de roteiros turísticos.

Um roteiro turístico pode ser definido

como o itinerário planejado de uma atividade turística, que engloba a descrição pormenorizada dos atrativos e atividades dos destinos visitados, bem como o período de duração e a especificação dos horários e serviços inclusos. O roteiro constitui a viagem e a estada com uma sequência de atividades realizadas em um destino ou em várias localidades. No caso de agências turísticas, o primeiro passo de sua montagem consiste no levantamento das preferências dos visitantes. Segundo Silva (2017), cada público alvo tem diferentes níveis de interesse nas atrações disponíveis, e muitas vezes, expressam preferências também em relação à ordem em que essas visitas devem ocorrer durante o passeio. Por exemplo, certos públicos priorizam vistas à museus, enquanto outros desejam apenas que tais visitas ocorram no início do itinerário. Além disso, uma parcela não desprezível dos turistas aceitaria pagar em certa medida por mudanças no roteiro e/ou na ordem das visitas. Faz-se então importante, valorar as preferências de atrações e de sua ordem e confrontá-las aos custos envolvidos, de maneira a permitir a elaboração de roteiros que simultaneamente maximizem a satisfação dos clientes e minimizem os custos.

Alinhado a este interesse, Silva, Morabito e Pureza (2016) propõem um modelo de programação matemática baseado em formulações de duas variantes do Problema do Caixeiro Viajante para apoio à elaboração de roteiros turísticos. O presente artigo dá continuidade ao estudo, com a proposição de um algoritmo de busca tabu (GLOVER e LAGUNA, 2007). Métodos heurísticos se fazem necessários para o tratamento de instâncias de maior porte, pois assim como a maioria dos problemas de roteamento de interesse, o Problema do Caixeiro Viajante e ambas as variantes pertencem à classe NP-hard, sendo, portanto, considerados de difícil resolução. Ressalta-se que tanto quanto sabido, não são reportados estudos em roteiros turísticos que utilizem abordagens de otimização na mesma linha de pesquisa explorada neste trabalho.

A estruturação do restante deste artigo é descrita como se segue. Na Seção 2 faz-se um breve resumo sobre o Problema do Caixeiro Viajante e suas variantes que resultaram no modelo que descreve o problema de elaboração de roteiros turísticos. A modelagem matemática é revista na Seção 3. Na Seção 4 é descrita a abordagem heurística proposta. A Seção 5 apresenta os resultados e análises dos resultados computacionais com instâncias geradas aleatoriamente e com base em dados reais. Finalmente, a Seção 6 apresenta as conclusões e algumas perspectivas de pesquisa futura.

2 | A ELABORAÇÃO DE ROTEIROS TURÍSTICOS SOB A ÓTICA DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O Problema do Caixeiro Viajante (TSP – *Traveling Salesman Problem*) consiste em definir uma rota de distância mínima que visite exatamente uma vez n pontos distribuídos no espaço bidimensional, retornando-se então ao ponto de partida. O TSP é um dos problemas mais estudados em otimização de redes e tem uma ampla

variedade de aplicações práticas (CHRISTOFIDES, 1979) (APPLEGATE et. al., 2006) e que muitas vezes transcendem o escopo logístico. Desde o trabalho seminal de Dantzig e colaboradores (DANTZIG, FULKERSON e JOHNSON, 1954; DANTZIG e RAMSER; 1959), uma variedade de modelos e métodos de solução vêm sendo propostos para representar e resolver de forma eficaz instâncias de diferentes portes. Muitas variantes do TSP são reportadas na literatura e modelos de programação matemática são frequentemente a base da maioria destas variantes.

Duas variantes do Problema do Caixeiro Viajante são particularmente relevantes para a presente pesquisa, especificamente, um tipo de Problema do Caixeiro Viajante com Lucros (TSPP – *Traveling Salesman Problem with Profits*) conforme discutido em Feillet, Dejax e Gendreau (2005), e o Problema do Caixeiro Viajante com Prêmios de Prioridade (TSPPP – *Traveling Salesman Problem with Priority Prizes*), proposto em Pureza, Morabito e Luna (2016). O TSPPP pode ser visto como uma extensão do TSP clássico, em que todos os pontos precisam ser visitados, mas a ordem das visitas é considerada na função objetivo do problema.

Especificamente, um valor de prêmio p_{ki} é recebido se o ponto i é visitado na ordem da rota, enquanto um custo de viagem c_{ij} incorre devido ao percorrimto do trecho entre i e j . Ressalta-se que pode-se incluir um prêmio p_i que o caixeiro viajante recebe ao visitar o ponto i , independentemente de ordem k , além do prêmio de prioridade p_{ki} que ele recolhe ao visitar o ponto i na k -ésima posição da rota. A variante TSPP aqui considerada, associa, por sua vez, um prêmio p_i a cada ponto i , e consiste em obter uma rota que visite o subconjunto de pontos que maximiza o prêmio total ao mesmo tempo que os custos de viagem são minimizados. Em outras palavras, não é necessário visitar todos os pontos.

O problema de elaboração de roteiros turísticos pode ser formulado pela combinação de aspectos das duas variantes supracitadas. Dado um conjunto de atrações turísticas disponíveis, valores de prêmio coletados quando a atração é visitada, valores de prêmio p_i coletados quando a atração i é visitada na ordem k do roteiro, e custos de viagem entre os pontos i e j , ele consiste na obtenção de uma rota que visite um subconjunto de atrações que maximiza o lucro total, resultado da diferença dos prêmios coletados e dos custos de viagem. Este problema é aqui denominado Problema do Caixeiro Viajante com Lucros e Prêmios de Prioridade (TSPPPP – *Traveling Salesman Problem with Profits and Priority Prizes*) Note que o TSPPPP adota uma função objetivo mais geral que o TSP, com critérios opostos, à procura de soluções que, de alguma forma considerem a qualidade de serviço aos clientes e as prioridades de entrega, maximizando os prêmios recebidos e minimizando os custos de entrega do serviço.

3 I DEFINIÇÃO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O TSPPPP pode ser representado por um grafo $G(N,A)$ com n nós, tal que o primeiro nó ($i=1$) representa o ponto de partida do cliente (por exemplo, o hotel onde ele está hospedado), enquanto os demais $n-1$ nós representam as atrações disponíveis. O problema pode ser formulado como um modelo de programação inteira mista (com $x_{ii}=0$), como se segue:

Parâmetros

- : valoração (prêmio) do turista ao visitar a atração i na ordem k .
- : prêmio ao visitar a atração i , independente de sua ordem de visita.
- : custo de viagem do nó i ao nó j .

Variáveis de decisão

z_i : Variável auxiliar para evitar subciclos

$$Maxf = \sum_k \sum_i (p'_{ki} + p_i) y_{ki} - \sum_i \sum_{\substack{j \\ i \neq j}} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_i x_{ij} = \sum_k y_{kj}, \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq 1}} x_{i1} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j \\ j \neq i}} x_{ij} = \sum_k y_{ki}, \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j \\ j \neq 1}} y_{1j} = 1 \quad (5)$$

$$Z_i - Z_j + nx_{ij} \leq n - 1, \forall i, \forall j, i \neq j, i \neq 1 \quad (6)$$

$$x_{1j} = y_{1j} \quad (7)$$

$$X_{ij} \geq y_{(k-1)} + Y_{kj} - 1, \forall i, \forall j, \forall k, k \neq 1 \quad (8)$$

A função objetivo (1) maximiza os prêmios recebidos nas visitas aos nós, tanto pela visita em si como pela ordem da visita, decrementados pelos os custos de transporte incorridos nas visitas. As igualdades (2) e (4) consistem de restrições de atribuição e acoplamento das variáveis x e y . As igualdades (4) asseguram que um único arco emerge de um nó se este for visitado, enquanto as igualdades (2) asseguram que único arco incidem em um nó se este for visitado. As igualdades

(3) e (5) garantem que o roteiro comece e termine no ponto de partida (nó 1). As restrições (6) evitam subciclos. As restrições (7) e (8) também acoplam as variáveis x e y . As restrições (9) a (11), embora não necessárias para garantir a factibilidade das soluções, evitam simetrias (soluções factíveis equivalentes) e desta maneira, melhoram o desempenho de métodos de programação matemática. Finalmente, as restrições (12) definem o domínio das variáveis de decisão.

Convém ressaltar que diferentemente do TSPPP, o TSPPPP não requer que todos os nós sejam visitados no roteiro, mas apenas aqueles que maximizam o valor da função objetivo. E diferentemente do TSPP, o TSPPPP considera prêmios de prioridade no roteiro do turista, além dos prêmios de visita.

4 | A ABORDAGEM HEURÍSTICA

Dadas as dificuldades intrínsecas na resolução de instâncias maiores do TSPPPP com métodos exatos, propõe-se um algoritmo heurístico capaz de fornecer soluções de alta qualidade em tempos computacionais relativamente curtos para todas as instâncias abordadas. O algoritmo baseia-se na abordagem de busca tabu adaptativa proposta em França, Sosa e Pureza (1999) para o Problema de Agrupamento Capacitado e posteriormente aplicada em Pureza, Morabito e Reimann (2012) para o Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo e Múltiplos Entregadores, e em Pureza, Morabito e Luna (2016) para o Problema do Caixeiro Viajante com Prêmios de Prioridade. A abordagem consiste em um mecanismo integrado de intensificação/diversificação que altera a regra de ativação tabu (GLOVER & LAGUNA, 1997) de acordo com os padrões de trajetória de busca (a curva do valor da solução versus iteração) durante a busca local. Basicamente, assume-se que os padrões de trajetória de busca refletem o nível de restritividade imposto pelos valores dos parâmetros tabu, ou seja, pelo período tabu e pela regra de ativação tabu, de maneira que o foco do algoritmo é o de alterar os níveis de restritividade de forma a intensificar a exploração quando as trajetórias identificam regiões possivelmente promissoras, e promover a diversificação da busca para outras partes do espaço de solução se as chances da melhoria parecem mínimas.

4.1 Padrões de trajetória

Para identificar um padrão de trajetória, o processo de busca é dinamicamente dividido em estágios e para cada dois estágios consecutivos $g - 1$ e g , o valor médio da solução no estágio g (μ_g) é comparado com o valor médio da solução no estágio $g - 1$ (μ_{g-1}). Se esses valores médios forem aproximadamente iguais e o coeficiente de variação das médias dos dois estágios estiver próximo de zero, entende-se que a busca descreve uma trajetória estagnada. Por outro lado, se μ_g é maior que μ_{g-1} , uma trajetória de ascensão está ocorrendo. Similarmente, uma trajetória descendente

é identificada se μ_g é menor do que μ_{g-1} .

Uma vez que o padrão de trajetória é identificado, alterações nos níveis de restritividade são prescritas para iterações τh , em que h é um número inteiro gerado aleatoriamente em uma faixa pré-especificada $[h_{min}, h_{max}]$ e τ é um fator de ajuste associado ao padrão de trajetória observado. Antes da avaliação da trajetória, verifica-se se houve melhora na última etapa. Neste caso, os níveis de restritividade e o valor do fator de ajuste também são definidos de forma apropriada. Ou seja, a abordagem reage a fases de melhoria, estagnação, trajetórias ascendentes e trajetórias de descendente, o implica em quatro valores de fator de ajuste t possíveis para definir a duração da aplicação das alterações nos níveis de restritividade. O período de aplicação corresponde a um novo estágio $g + 1$ e uma vez que este termina, uma nova avaliação de padrão de trajetória é realizada usando os valores médios dos estágios g e $g + 1$, e assim por diante.

A Figura 1a ilustra a identificação de uma trajetória descendente no estágio de busca ($\mu_{g-1} > \mu_g$) e a conseqüente prescrição de redução dos níveis de restritividade. A Figura 1b mostra o impacto da redução desses níveis no estágio $g+1$. Quando uma nova avaliação do padrão de trajetória é realizada após τh_{g+1} iterações, μ_{g+1} é comparada a μ_g , indicando uma trajetória ascendente. Note que no caso do TSPPPP, trajetórias ascendentes e fases de melhoria indicam regiões promissoras para as quais se prescreve nenhuma mudança ou a redução dos níveis de restritividade, enquanto que para trajetórias descendentes, a restritividade imposta pelos parâmetros tabu é levemente relaxada para interromper a diversificação. Por fim, quando ocorre estagnação na busca, são impostos altos níveis de restritividade, visando a diversificação.

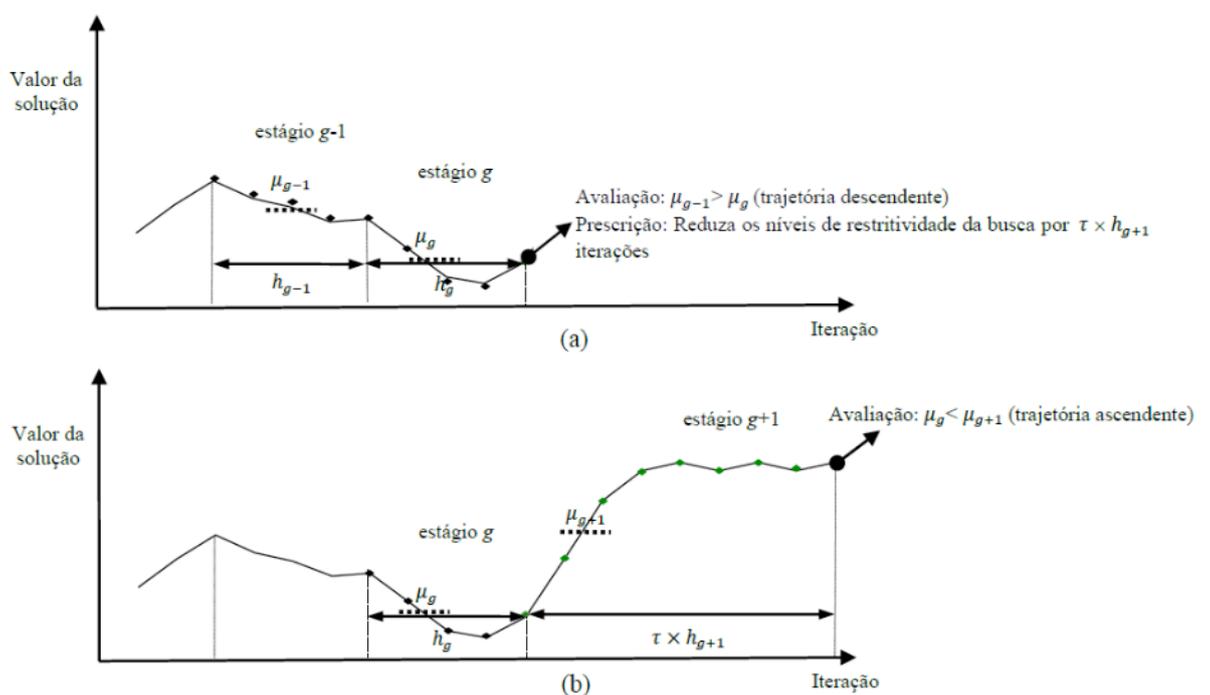


Figura 1: Mecanismo de intensificação/diversificação.

4.2 Descrição do algoritmo

Uma descrição do algoritmo de busca tabu para o TSPPPP (doravante referenciado como algoritmo TS) é apresentada a seguir:

1. Seja n o número total de nós a serem considerados no roteamento.
2. (Construção da rota) A partir de uma rota parcial S , compreendendo um nó escolhido aleatoriamente i ($i \neq 1$) e o nó 1 fixado na n -ésima posição da rota, expanda S selecionando o nó não roteado j e sua posição de inserção que resulta no maior lucro. Repita a etapa até que todos os nós sejam roteados.
3. Inicialize a iteração atual, defina os parâmetros tabu padrão e aplique a busca local para dois estágios consecutivos $g - 1$ e g .
4. Repita até que o tempo máximo de execução T_{\max} seja atingido:
 - 4.1 Se nenhuma melhoria da solução tiver sido obtida no estágio g , identifique o padrão de trajetória atual descrito pelos estágios $g-1$ e g .
 - 4.2 Defina os parâmetros tabu de acordo com o padrão de trajetória ou fase de melhoria. Aplique a busca local para o número prescrito de iterações, obtendo um novo estágio de busca $g + 1$. Faça $g - 1 = g$ e $g = g + 1$.
5. Retorne a melhor solução encontrada.

As rotas iniciais produzidas pela heurística de construção (passo 2) são melhoradas aplicando quatro tipos de movimentos. Dois deles, troca de arcos 2-OPTe troca de posição de dois nós, são utilizados em Pureza et al. (2016) para o TSPPPP. O terceiro e quarto movimentos, por sua vez, consistem respectivamente na remoção de um nó da rota para o conjunto de nós não roteados US , e na reinserção de um nó do conjunto US para a posição da rota que resulta no maior lucro total. Note que esses dois últimos movimentos são necessários para o TSPPPP, uma vez que este admite rotas com um número de nós menor que n .

No caso dos movimentos 2-OPTe troca, os arcos excluídos (adicionados) são rotulados como tabu-ativos pelo período tabu determinado aleatoriamente na faixa sempre que um novo movimento prescreve sua adição (remoção), e conforme mencionado na seção anterior, os níveis de restritividade são manipulados pela regra de ativação tabu. Esta última prescreve o número tolerável de arcos tabu-ativos para cada um dos dois tipos de movimento em um determinado estágio de busca. Observe que quanto menor for o valor de tolerância, mais restrito é o processo de busca. Valores de tolerância para 2- OPT e troca são dados pelos parâmetros TL e TE, respectivamente. No caso do movimento de remoção (reinserção) de um nó, sua reinserção (remoção) é rotulada como tabu-ativa, e o número de nós tabu-ativos tolerados por um destes dois tipos de movimento são dados pelos parâmetros TR (remoção) e TA (reinserção). A duração (número de iterações) do status tabu-ativo de um dado arco ou nó é selecionada aleatoriamente no intervalo $[t_{\min}, t_{\max}] = [10, 20]$.

No passo 3, os valores iniciais de tolerâncias (TL, TE, TR, TA) = (1, 1, 1, 1) são aplicados nos dois primeiros estágios de pesquisa. O primeiro estágio compreende

todas as soluções entre a solução de partida e o primeiro ótimo local, enquanto o segundo estágio começa com a solução que se segue ao primeiro ótimo local e termina com a solução obtida h iterações à frente, sendo h aleatoriamente gerado no intervalo $[t_{min}, t_{max}] = [10, 20]$. também utilizado para gerar os comprimentos dos demais estágios.

No passo 4.2, se alguma melhoria da solução é obtida no último estágio, valores de tolerância (TL, TE, TR, TA) e fator de ajuste τ passam a ser iguais a (1, 2, 1, 1) e 0,1, respectivamente. Esses valores de tolerância visam intensificar a exploração em regiões possivelmente promissoras. Embora não pareçam altos, valores maiores quase invariavelmente levam à ciclagem. Usa-se um valor baixo para τ (resultando em um número relativamente pequeno de iterações) porque, em alguns casos, há geralmente apenas alguns movimentos de melhoria subsequentes.

Tolerâncias baixas (TL, TE, TR, TA) = (0, 1, 0, 0) com $\tau = 0,5$ são impostas quando ocorre a estagnação da busca, especificamente, quando o valor absoluto do percentual do desvio da solução entre a média da fase atual e solução da média da fase anterior é inferior ou igual a 5%, e o coeficiente de variação das médias dos dois estágios é inferior ou igual a 0,2. Ou seja, a estagnação é identificada quando

$$\left| \frac{\mu_{g-1} - \mu_g}{\mu_{g-1}} \right| \leq 0,05 \text{ com } \sigma\mu \leq 0,2$$

Se o valor médio da solução aumenta (trajetória ascendente e possivelmente região promissora) não são aplicadas alterações de tolerância, porém faz-se $\tau = 2$. Finalmente, se o valor médio da solução diminui, as tolerâncias são definidas como (TL, TE, TR, TA) = (0, 1, 0, 0) e $\tau = 1$.

5 | EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Com o propósito de verificar a aplicabilidade da programação matemática e do algoritmo TS na elaboração de roteiros turísticos, foram realizados experimentos computacionais com instâncias geradas aleatoriamente e com uma instância baseada em dados reais da cidade de Belém, coletados no estudo de caso de Silva (2017). O objetivo dos experimentos com instâncias aleatórias é verificar se as soluções são obtidas em tempo computacional aceitável, e se a quantidade de nós que o modelo suporta corresponde à quantidade de pontos turísticos visitados em um roteiro turístico usual. Os testes com a instância baseada em dados reais visam, por sua vez, comparar roteiros produzidos com o modelo e que consideram a valoração das atrações pelos clientes com um roteiro comercial praticado por agências de turismo.

O modelo TSPPPP foi implementado na linguagem de modelagem GAMS e resolvidos com o solver CPLEX 24.0.2. O algoritmo de busca tabu, por sua vez, foi codificado e resolvido em Borland Delphi. Todos os experimentos foram realizados

em um computador Intel i5, 2,6 GHz e 4 GB RAM.

5.1 Instâncias Geradas Aleatoriamente

A distribuição uniforme foi selecionada para gerar custos de viagem (c_{ij}) e prêmios de visita e ordens de visita (p_i e p_{ki} , respectivamente). Especificamente, p_i foi gerado no intervalo (-100,100) e p_{ki} no intervalo (0,100). Note que valores de p_i negativos e de grande magnitude indicam alto grau de rejeição na seleção da atração.

Dez instâncias foram geradas e para cada número n de nós ($n = 10, 20, 30, 50, 100, 200$) e o solver CPLEX foi aplicado a cada instância por 3600 segundos. A Tabela 1 apresenta os resultados médios (f e CPU em segundos) para cada valor de n , assim como o desvio percentual médio do valor da função objetivo das soluções de TS em relação ao obtido com programação matemática.

n		Modelo TSPPP com GAMS/CPLEX	Algoritmo TS	$\frac{(\overline{f}_{TS} - \overline{f}_{Modelo})}{\overline{f}_{Modelo}} \times 100$ (%)
10	\overline{f}	799,06	799,06	0
	\overline{CPU} (s)	0,13	0,01	
20	\overline{f}	1.830,1	1.830,1	0
	\overline{CPU} (s)	5,0	0,01	
30	\overline{f}	2.568,9	2.568,9	0
	\overline{CPU} (s)	411,1	0,06	
50	\overline{f}	4.441,8	4.441,8	0
	\overline{CPU} (s)	3598,1	2,74	
100	\overline{f}	585,47	2378,9	+ 306,3
	\overline{CPU} (s)	4403,37	1,97	
200	\overline{f}	Soluções factíveis não encontradas	5236,4	-
	\overline{CPU} (s)	3600	35,17	

Tabela 1: Resultados computacionais médios com instâncias aleatórias

Conforme observado na Tabela 1, ambas a programação matemática e o algoritmo tabu apresentam desempenho comparável no tratamento de instâncias com $n = 10$ e $n = 20$. Para essas duas classes de exemplos, todas as soluções obtidas são comprovadamente ótimas, com alguma vantagem para o algoritmo TS em função dos tempos computacionais menores. A partir desses tamanhos de instância, TS se mostra mais bem sucedido, seja em relação a tempos computacionais ($n = 30, 50$), seja em relação à qualidade das soluções ($n = 100$). Para $n = 200$, nenhuma solução factível para as dez instâncias geradas foi obtida pelo solver CPLEX em 3600

segundos de processamento, revelando suas dificuldades intrínsecas de tratamento de instâncias de médio e grande porte.

5.2 Instância Baseada em Dados Reais

Nesta seção, são utilizados os dados coletados em um estudo de caso realizado em Belém do Pará e reportados em Silva (2017), a fim de analisar os roteiros turísticos obtidos via programação matemática. Para tal, são considerados cinco exemplos, sendo que nos dois primeiros, considera-se um roteiro já comercializado por agências de turismo, e aqui denominado de roteiro R. Desta forma é possível comparar o roteiro R, correntemente praticado, com aqueles produzidos com o modelo TSPPPP e que considera a valoração das atrações pelos clientes.

O roteiro R contempla sete nós, sendo o nó 1 o ponto de saída e fim do roteiro, e seis nós correspondentes às seguintes atrações turísticas de Belém: Estação das docas (nó 2), Ver-o-Peso (nó 3), Forte do Castelo (nó 4), Santuário Basílica de Nazaré (nó 5), Museu Emílio Goeldi (nó 6) e Praça da República (nó 7). No exemplo 1, à cada par de nós foram atribuídos custos de viagem correspondentes às tarifas de taxi, e a cada atração turística, os prêmios de visita sugeridos pelos turistas entrevistados no estudo de caso. No exemplo 2, além dos custos e dos prêmios de visita, incluiu-se os prêmios de prioridade também atribuídos pelos turistas.

No exemplos 3 a 5, a elaboração dos roteiros considera atrações turísticas consideradas preferenciais por classes selecionadas de turistas entrevistados. Especificamente:

- Exemplo 3 (turistas do gênero feminino): Polo Joalheiro (nó 2), Santuário Basílica de Nazaré (nó 3), Igreja de Santo Alexandre (nó 4), Praça Dom Frei Caetano (nó 5), Igreja da Sé (nó 6) e Forte do Presépio (nó 7)
- Exemplo 4 (turistas com renda de 3 a 5 salários mínimos): Polo Joalheiro (nó 2), Casa Rosada (nó 3), Palacete Pinho (nó 4), Santuário Basílica de Nazaré (nó 5), Praça Dom Frei Caetano (nó 6) e Igreja da Sé (nó 7)
- Exemplo 5 (turistas com renda de 8 a 12 salários mínimos): Pólo Joalheiro (nó 2), Santuário Basílica de Nazaré (nó 3), Igreja de Santo Alexandre (nó 4), Praça Dom Frei Caetano (nó 5), Casa Rosada (nó 6) e Ver-o-peso (nó 7).

Assim como nos exemplos 1 e 2, à cada par de nós desses 3 exemplos foram atribuídos custos de viagem correspondentes às tarifas de taxi, enquanto os prêmios de visita e de prioridade foram fornecidas pela classe de turistas associada. A Figura 1 ilustra o roteiro R e os roteiros obtidos com o modelo TSPPPP nos exemplos 1 a 5. Em todos os exemplos, soluções ótimas foram obtidas em menos de 1 segundo de processamento.

Enquanto o custo de viagem para completar o roteiro comercial R é igual a R\$71, o custo de viagem do roteiro com a valoração de prêmios de visita (exemplo 1) é de R\$ 68. Ou seja, a programação matemática não só produziu um roteiro de menor custo como elevou o nível de serviço, ao levar em consideração as preferências

dos turistas. No exemplo 2, o custo de viagem é de R\$ 69, ou seja, a inclusão de mudanças na ordem de visita devido a prêmios de prioridade trouxe um aumento de custo apenas marginal.

Para o exemplo 3, o custo de viagem (R\$74) é um pouco maior do que o custo do roteiro R, no entanto, os prêmios coletados (416,3) são substancialmente maiores do que o que seria obtido com R (370,7). Afinal, neste exemplo, os turistas do gênero feminino visitam os nós de sua preferência, aumentando o valor dos prêmio total coletado. Resultados similares são também obtidos para os exemplos 4 e 5. Por exemplo, o custo de viagem para completar o roteiro preferencial de turistas com renda de 8 a 12 salários mínimos (R\$79,9) é maior do que o custo para completar o roteiro R, porém o prêmio total coletado é maior (432,2).

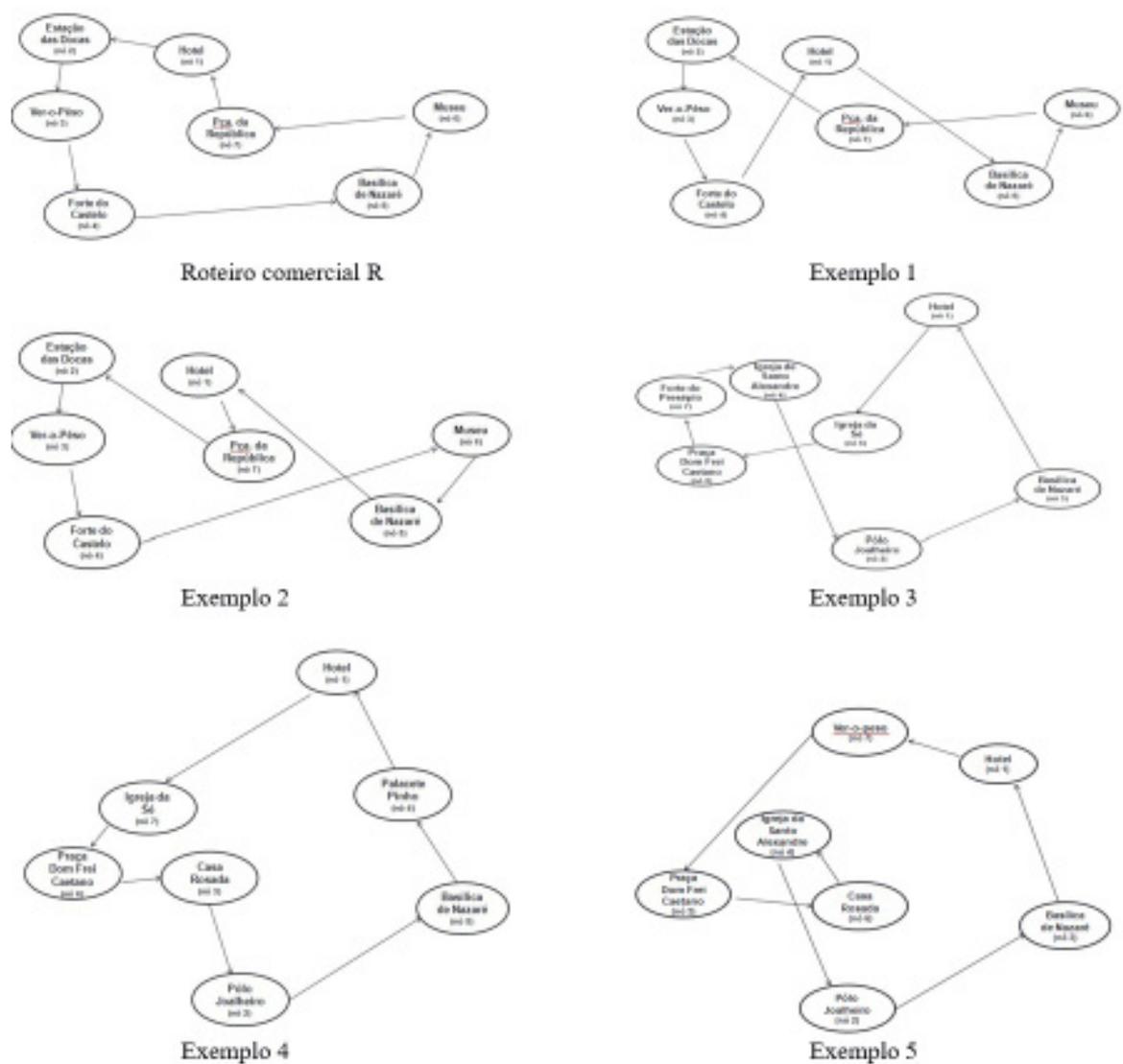


Figura 2: Roteiros turísticos obtidos nos experimentos com dados reais coletados na cidade de Belém.

6 | CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE PESQUISA FUTURA

Este artigo abordou o problema de elaboração de roteiros turísticos por meio

de técnicas de pesquisa operacional. O problema consiste em obter roteiros que visitem um subconjunto de atrações turísticas de forma a maximizar o atendimento às preferências dos turistas e minimizar os custos envolvidos. Neste sentido, foi revistado o modelo TSPPPP de Silva, Morabito e Pureza (2016), e proposto um algoritmo de busca tabu.

Resultados com instâncias geradas aleatoriamente indicam que tanto a programação matemática como a metaheurística são capazes de obter soluções de alta qualidade em um curto tempo computacional para instâncias até 20 atrações turísticas. Para instâncias de maior porte, o algoritmo de busca tabu apresenta melhor desempenho. Resultados com instâncias baseadas em dados reais, por sua vez, confirmam que a consideração da valoração dos turistas, tanto na seleção de atrações como na ordem das visitas, pode resultar em roteiros turísticos diferentes praticados por agências. Nota-se também que como a valoração depende de características tais como gênero e renda do cliente, roteiros diferentes são também obtidos. Ressalta-se ainda que as roteiros obtidos foram analisadas e validadas por operadores turísticos, indicando o potencial da aplicação das abordagens propostas.

Como perspectivas de pesquisa futura, sugere-se que este estudo seja aplicado a outros municípios e roteiros turísticos da região, e de outros estados do Brasil. Sugere-se também que o modelo TSPPPP seja estendido para incluir decisões de programação (*scheduling*) dos roteiros, ou seja, considerando tempos de permanência em cada atração turística e de deslocamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq e da Fapesp.

REFERÊNCIAS

Applegate, D.L.; Bixby, R.E.; Chvatal, V.; Cook, W.J (2006) *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton University Press, 2006.

Christofides, N. (1979) *The Traveling Salesman Problem*. Wiley Chichester.

Dantzig, R.; Fulkerson, R. e Johnson, S. (1954) Solution of a large-scale traveling salesman problem. *Operations Research*, 2:393-410.

Dantzig, G. e J. Ramser (1959) The truck dispatching problem. *Operations Research*, 12:81-91.

Feillet, D.; P. Dejax, P. e M. Gendreau. (2005) Traveling Salesman Problems with Profits. *Transportation Science*, v. 39, n. 2, p. 188-205.

França, P.M.; N.M. Sosa e V. Pureza (1999) An adaptive tabu search algorithm for the capacitated clustering problem. *International Transactions in Operational Research*, 6, 665-678.

Glover, F. e M. Laguna (1997) *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts. MTUR (2015) *Documento referencial do turismo no Brasil*. Ministério do Turismo, Brasília. OMT (2014)

Pureza, V.; R. Morabito, R. e H.P. Luna (2017) Modeling and solving the traveling salesman problem with priority prizes. Submetido a *Mathematical Problems in Engineering*.

Pureza, V.; R. Morabito e M. Reimann (2012) Vehicle routing with multiple deliverymen: Modeling and heuristic approaches for the VRPTW. *European Journal of Operational Research*, vol. 218, pp. 636-647.

Silva, A.A. (2017) *Abordagens de otimização para apoiar a elaboração e análise de roteiros turísticos: um estudo de caso no estado do Pará*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Silva, A.A.; R. Morabito e V. Pureza (2016) Método de otimização para apoiar a elaboração e análise de roteiros turísticos. *Anais do XXIII SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção*.

SISTEMÁTICA DE GERENCIAMENTO E ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO UMA ABORDAGEM ORIENTADA PARA A GESTÃO DE EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS

Oneida Barros Bezerra

Universidade Federal do Piauí
Centro de Tecnologia, Departamento de Transportes Teresina, Piauí

Sérgio Fernando Mayerle

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Florianópolis, Santa Catarina

RESUMO: Este trabalho trata de alguns aspectos gerenciais das empresas de transporte urbano de passageiros, tanto em termos administrativo-organizacionais, como em termos de potencialidade de informações geradas pelas diversas áreas da empresa, para apoio à tomada de decisões. A metodologia utilizada para a realização deste trabalho foi a pesquisa qualitativa por valorizar a interpretação dos dados em função do objetivo do trabalho e quanto aos fins ela foi bibliográfica e documental. A estrutura do trabalho está dividida em quatro partes. Na primeira, abordou-se a participação das empresas de ônibus no sistema de transporte urbano e os fatores relevantes nesta participação. Na segunda parte, trata-se da estrutura organizacional e do perfil gerencial observados atualmente nas empresas. Na terceira parte, descreve-se o efetivo gerenciamento dos problemas de tomada de decisão classificados em três

níveis: estratégico, tático e operacional. Na quarta parte, trata-se da organização vista como um sistema dentro dos conceitos existentes na literatura, da representação do sistema “empresa de transporte público” e a importância das informações geradas entre as diversas áreas da empresa, onde observou-se que a integração entre os diversos setores da empresa oferece a possibilidade de gerar informações rápidas e úteis, para um melhor acompanhamento da dinâmica da vida moderna, assumindo um papel importante para o sucesso da empresa.

PALAVRAS-CHAVES: Gerenciamento da informação, Transporte urbano de passageiros, Gestão de empresas, Tomada de decisão.

INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMATIC.
APPROACH ORIENTED FOR URBAN BUS
PASSENGER TRANSPORTATION COMPANIES
MANAGEMENT

ABSTRACT: This paper describes some management aspects of public urban passenger's transportation companies, both in administrative organizational terms and in terms of potentiality of information generated by various companies, in support of the decision-making process. The Qualitative Research was used as methodology in this paper, since it allows the valuing of the data interpretation

based on the article's objectives. What regards its purposes, the methodology was based on bibliographic and documental analysis. The research was divided into four parts. The first part addressed the bus companies' participation on the public urban transportation and the relevant factors on that. The second part talks about the organizational structure and the management profile seen in the companies nowadays. At the third part, the effective management of the decision-making process problems is described by classifying them in three levels: strategic, tactical and operational. The fourth part describes the organization seen as a system in the existing concepts of the literature. Also talks about the representation of the system "public transportation companies" and the importance of the information generated among the various company's department. It was observed that, the integration of these departments offers the possibility of generating fast and useful informations, for a better monitoring of the modern life dynamics, taking an important role for the company's success.

KEYWORDS: Information management, Urban passenger transport, Business management, Decision making.

1 | INTRODUÇÃO

No mundo inteiro, têm sido adotados diferentes modelos de gerenciamento nas empresas, na busca de melhor produtividade e qualidade. Os países do mercado comum europeu, por exemplo, adotam uma estratégia baseada na ISO Série 9000, os americanos tendem a utilizar o TQM - Total Quality Management, enquanto os japoneses adotam o CQTE - Controle de Qualidade por toda a Empresa.

No Brasil a busca por melhor produtividade e qualidade foi motivada pela competição internacional em bases tecnológicas. Tal contexto induziu o Governo Federal a propor à sociedade o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade - PBQP, cujo objetivo é estabelecer um conjunto de ações indutoras da modernização tecnológica, onde se prevêem ações voltadas à conscientização e motivação dos dirigentes empresariais.

Os gerentes da nova organização vivem em um ambiente inteiramente novo, no qual vêem-se obrigados a tomar decisões, não só em maior número, mas de forma cada vez mais rápida e acertada. Como processadores de informações, os tomadores de decisão atuam limitados pelo volume, pela qualidade de dados disponíveis, pela falta de habilidade para acessá-los e, principalmente, pela sua capacidade de analisá-los, BEZERRA (2002).

O sucesso de um gerente pode ser medido pela qualidade e quantidade de suas decisões, que vão depender de sua eficiência na utilização de informações, ANTHONY (1997). A chave para o sucesso é obter informações úteis e exatas, disponíveis no momento certo.

É difícil avaliar que informação é necessária ao decisor, bem como atribuir o seu valor em termos de contribuição para decisões mais acertadas. A maneira

como a informação é disponibilizada ao decisor pode indicar o que é útil ou não. Os gerentes tendem a ser inundados com memorandos e relatórios, cujo conteúdo pode ser trivial, não sendo realmente relevante às decisões que devem ser tomadas. Para ser útil, a informação deve ser compreendida e absorvida pelo decisor.

A tecnologia da informação como ferramenta gerencial, deverá ser utilizada para análise de dados, transformando-os em informações realmente úteis aos negócios das empresas. À medida que as empresas converterem dados em informações, modificarão necessariamente seus processos de decisão, a sua estrutura administrativa e a sua maneira de trabalhar. Este processo evolutivo vem criando oportunidades e facilidades cada vez maiores, contribuindo decisivamente para o surgimento de programas, métodos e processos modernos e eficientes para a tomada de decisão das empresas, como o estabelecimento de um modelo de gestão da informação que contemple a implantação de sistemas de informações adequados a cada realidade.

Esta tendência vem gradualmente se refletindo no setor de transporte de passageiros, evidenciando-se principalmente nos mercados mais competitivos, como é o caso do transporte aéreo, onde a preocupação com a qualidade percebida pelos passageiros é muito grande. Em outros mercados com maior grau de monopólio, como no caso de transporte urbano de passageiros, a preocupação com os benefícios gerados aos passageiros ainda é incipiente, sendo a qualidade ainda encarada como fator condicionante e não como objetivo. Nesses casos a preocupação com custos é preponderante e praticamente única.

Segundo alguns autores, SOUSA e CAMPOS (1994), a percepção normal em relação à qualidade tende a ser objetiva quando se refere a produtos, mas, quando se trata de prestação de serviço, reverte-se, em geral, de subjetivismo e adjetivismo. As atividades de transporte não têm, como resultado de sua produção, bens físicos tangíveis; na verdade o que elas fazem é agregar valor às cargas ou trazer benefícios aos passageiros em termos de utilidade de tempo, de espaço e de estado. Exemplificando, os passageiros querem chegar no destino, rápido, confortável e com segurança.

Em algumas empresas do setor de transporte público, as informações existentes contemplam todo o processo de produção do serviço de transporte. Para estas empresas existe a potencialidade de se desenvolver sistemas de controle para dar suporte ao processo de tomada de decisão. Já em outras empresas, a situação é completamente diferente: as decisões são tomadas de forma empírica e intuitiva, sem base em informações documentadas.

Em pesquisa realizada por FIGUEIREDO (1993), constata-se que, apesar de algumas empresas tratarem e armazenarem estes dados, os mesmos não estão adequadamente relacionados e sistematizados de modo a interagir em todos os processos de decisão. No setor de transporte público é fundamental a fixação e o acompanhamento de indicadores precisos, atrelados, também, aos processos e

atividades de suporte componentes do serviço em todas as suas etapas intermediárias, paralelas, simultâneas ou complementares.

2 | A PARTICIPAÇÃO DAS EMPRESAS DE ÔNIBUS NO SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO

No sistema de transporte por ônibus, cabe às empresas a produção do transporte que, embora seja um serviço público, é operado, em sua grande maioria, por concessão, pelo setor privado. Entretanto o poder público continua responsável pelo serviço, devendo garantir que este seja prestado de forma compatível com os requisitos de permanência, generalidade, eficiência e cortesia.

Desta forma, o que ocorre é uma parceria entre o governo, representado pelo órgão de gerência, e a empresa operadora na prestação de serviço, cabendo à empresa operadora encontrar a melhor forma de executar a programação operacional estabelecida a partir de requisitos definidos pelo órgão gestor. Neste contexto, de acordo com SOUSA e CAMPOS (1994), o processo de produção de uma empresa é condicionado por dois fatores centrais e relevantes: a tecnologia e os agentes externos da organização.

A tecnologia tem efeito sobre o processo de produção e, por conseguinte, sobre a estrutura de produção da empresa. No tocante às variáveis ambientais (agentes externos), as empresas deparam-se, inicialmente, com as condições peculiares da demanda, cuja clientela apresenta um poder de compra limitado. Além disso, tem que conviver com grandes variações de demanda, obrigando as empresas de ônibus a dispor de uma frota suficientemente numerosa para atender os horários de pico, sofrendo, em contrapartida, um alto grau de ociosidade de equipamento e de mão-de-obra nos entre-picos.

Todas essas peculiaridades levam as empresas a terem necessidade de informações rápidas e precisas relacionadas com seu processo de produção. A saúde financeira da empresa dependerá da disponibilidade das informações operacionais (tráfego e manutenção), para que sejam adotados ajustes e melhoramentos nos processos de produção do serviço.

3 | PERFIL GERENCIAL E ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DAS EMPRESAS

O discurso das empresas de transporte urbano de passageiros, retratando a filosofia empresarial, enfatiza as idéias de grande família, de valorização dos recursos humanos e de política de portas abertas. No entanto, as práticas gerenciais nem sempre comprovam o discurso, podendo muitas vezes ser identificadas mais com o paternalismo do que com relações de trabalho modernas. Quanto à sua organização, as empresas de transporte urbano de passageiros apresentam, geralmente, uma

estrutura organizacional conforme mostra a figura 1.

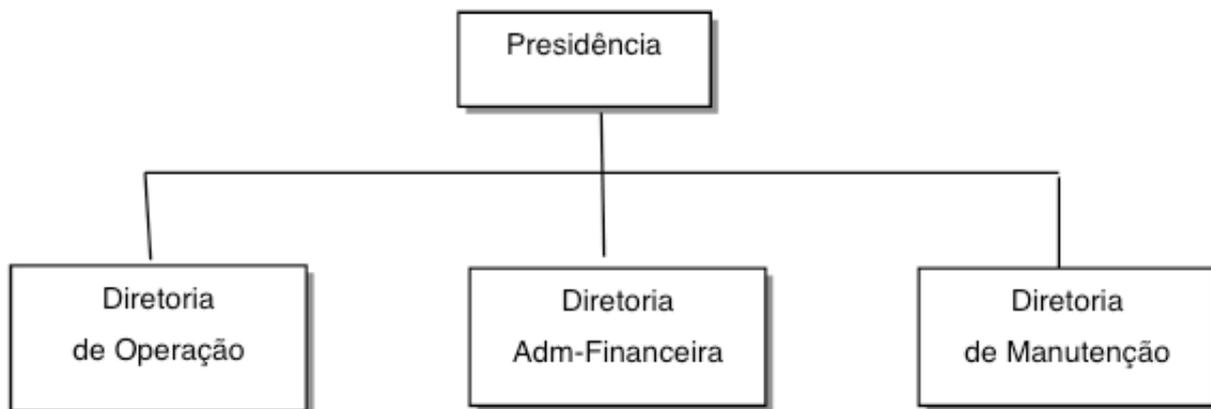


Figura 1 - Estrutura formal das empresas – organograma, Figueiredo (1993).

Entretanto, tal estrutura organizacional não se aplica à maioria das empresas, FIGUEIREDO (1993). Na realidade a organização funcional ainda apresenta traços do gerenciamento familiar, onde as decisões estão centradas na figura do dono da empresa e são cumpridas pelos encarregados de cada atividade do processo produtivo. Neste contexto, BEZERRA (2002) conclui, “as decisões, independentes da estrutura hierárquica, estão centradas na cúpula e, no máximo, o segundo escalão tem a liberdade parcial para tomar decisões sobre assuntos que dizem respeito apenas a seus setores. Esta situação deixa claro que seu cargo de chefia é apenas uma posição de status dentro da empresa, já que é normalmente ocupado por um parente próximo ou por pessoas que inspirem confiança e lealdade”. Entretanto, permanecem coexistindo três tipos de realidade no que se refere ao desenvolvimento organizacional e gerencial da empresa de transporte urbano de passageiros, conforme descreve BEZERRA (2002).

O primeiro é caracterizado por empresas cujo comando está na mão da primeira geração de proprietários, ou de seus descendentes que assumiram o comando dentro de um processo de sucessão direta, sem introduzirem novas tecnologias organizacionais. Constatase na verdade, uma estrutura organizacional conservadora, caracterizando-se por um estilo de gerência autoritária e coercitiva, que resulta num sistema de comunicação precário, carregado de ordens voltadas para execução de tarefas, sem nenhuma preocupação com a interação dos diversos elementos do processo de produção.

O segundo tipo de empresa é caracterizado por aquelas em que os administradores assumiram o comando dentro de um processo de sucessão direta (filhos, netos, sobrinhos, genros, etc.), porém com uma formação profissional e tecnológica diferente e mais qualificada que a de seus antecessores. Neste caso, percebe-se um processo de profissionalização evidenciado pela introdução de algumas práticas administrativas mais racionais e menos personalizadas. Observa-

se, então, um estilo de gerência menos conservador, com maior grau de delegação de poder a nível operacional e com visão mais abrangente e sistêmica dos processos em busca de melhores resultados com o produto ofertado pela empresa.

Mais recentemente, consegue-se observar um novo perfil de empresa, caracterizado por uma administração estritamente profissional, desvinculada dos laços familiares tradicionais. Segundo este perfil, os administradores são contratados pela empresa junto ao mercado de trabalho, os quais passam a assumir a responsabilidade por todas as decisões tomadas perante os acionistas da empresa. Observando a história da administração de empresas, constata-se a mudança do foco gerencial através dos anos, nos diferentes setores econômicos no mundo inteiro, começando pela busca de eficiência na produção, passando por questões de marketing, de qualidade e chegando ao valor do cliente. Para melhor atender à comunidade usuária dos serviços de transporte vem-se investindo, mesmo que timidamente, na modernização dos métodos de gestão. Os principais investimentos têm-se dado na área de informatização (aquisição e desenvolvimento de software), no treinamento de pessoal e na ampliação e modernização da oferta de serviço.

4 | O PROCESSO DECISÓRIO NAS EMPRESAS

De acordo com MAYERLE (1996), o efetivo gerenciamento de empresas de transporte público implica em uma variedade de problemas de tomada de decisão. Tais problemas podem ser classificados em três níveis: o estratégico, o tático e o operacional. Pode-se classificar de nível estratégico as decisões relativas à localização de garagens, aquisição de outras empresas, definição das linhas que serão implantadas, entre outras. No nível tático podem ser citadas decisões relacionadas com a definição de políticas de contratação de pessoal e a aquisição de veículos novos. No que dizem respeito ao nível operacional, surgem questões como alocação dos veículos e condutores, determinação dos roteiros, os quais ocorrem em uma base diária de programação.

Não é muito clara a distinção existente entre estes três níveis. Em geral, os problemas de nível estratégicos referem-se às questões de maior impacto e com horizonte de planejamento mais longo. Já as decisões de caráter operacional ocorrem com maior frequência no processo administrativo e apresentam um impacto menos abrangente. Quanto ao grau de estruturação destes processos decisórios, pode-se dizer que a nível operacional os procedimentos podem ser bem mais estruturados que a nível tático e estratégico. Segundo o autor citado anteriormente, não existe uma seqüência perfeita entre os problemas destes três níveis, e a rigor eles interagem entre si, ou seja, a solução apontada para um acaba repercutindo na solução adotada para o outro. Como exemplo, a alteração de alguns horários das viagens (decisão operacional), pode implicar na necessidade de se adquirir novos

veículos (decisão a nível tático).

A construção de uma nova garagem em outra região (decisão estratégica) pode resultar no remanejamento das escalas de trabalho dos condutores (decisão operacional). Apesar desta interação, é comum se estabelecer uma hierarquia no processo decisório, com o objetivo de facilitar e melhor estruturar os problemas a serem resolvidos. Portanto, as decisões tomadas em um nível estratégico são colocadas como um dado de entrada para a resolução dos problemas do nível tático. Os problemas operacionais, por sua vez, são resolvidos tomando como dados de entrada as soluções apontadas a nível estratégico e tático.

No seu trabalho de doutorado MAYERLE (1996), conclui que os modelos de alocação e roteamento existentes na literatura, associados com sistemas de informações gerenciais adequados, podem desempenhar um papel crucial na elaboração de um planejamento operacional eficiente nas empresas de transporte público.

5 | A ORGANIZAÇÃO VISTA COMO UM SISTEMA

Segundo alguns autores, BIO (1985) e OLIVEIRA (1997), sistema é um conjunto de partes interagentes e interdependentes que, conjuntamente formam um todo unitário com determinado objetivo e efetuam determinada função. Os componentes de um sistema são: objetivos, entradas, processo de transformação, saídas e retroalimentação ou feedback (reintrodução de uma saída em forma de entrada), como mostra a figura 2.

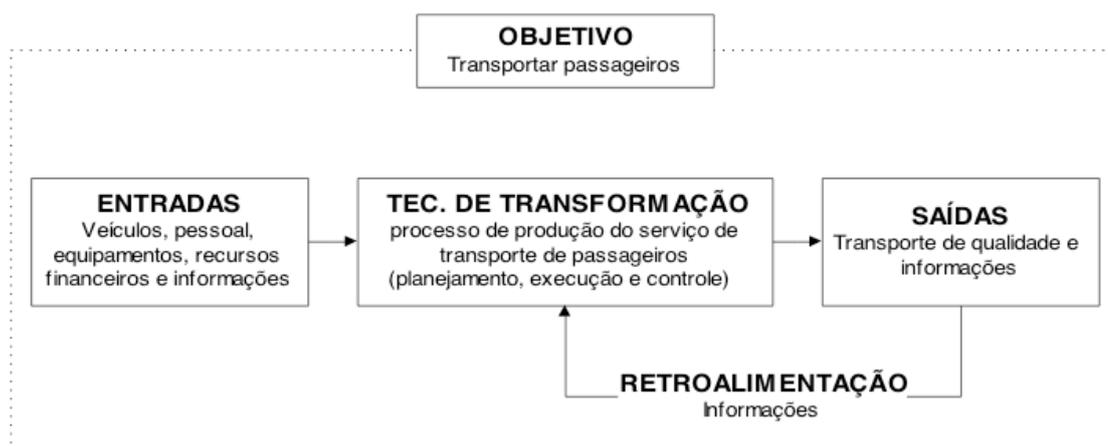


Figura 2.: Representação do sistema para empresas de transporte público de Passageiros

Fonte: Adaptado de Oliveira (1997).

Do ponto de vista mais geral possível, uma empresa de prestação de serviços de transporte de passageiros pode ser vista como um sistema que transforma recursos de entrada (veículos, pessoal, equipamentos, recursos financeiros e informações) em serviços que atendem as necessidades de deslocamento de pessoas (transporte

de qualidade e informações). De acordo com a “Figura 2” acima, para garantir esta transformação o processo de produção dos serviços de transporte de passageiros, compreende três componentes: o planejamento, a execução e o controle.

Em relação ao planejamento, informações obtidas da execução alimentam modelos de tomada de decisão, os quais determinam a forma como os recursos disponíveis (capital, pessoal, material e equipamento) serão aplicados. O conhecimento dos administradores sobre o processo de produção, os modelos matemáticos para representação dos problemas do planejamento, as técnicas de otimização e os softwares, são alguns dos meios utilizados para viabilização deste componente. Neste sentido existem diversos trabalhos publicados: CRUZ (1991); MAYERLE (1996); CRUZ (1998); COELHO (1998); NAPIERALA (1999); TRAMONTIN (2001). A importância do planejamento está em encontrar soluções para atender à realização dos deslocamentos de pessoas, eliminando os trajetos não satisfeitos ou satisfeitos inadequadamente, evitando situações críticas e suas consequências prejudiciais antes que aconteçam.

A execução corresponde à produção dos serviços de transporte de passageiros propriamente dito. De acordo com BEZERRA (2002), ocorrem três ciclos de produção: o ciclo do passageiro, ciclo dos condutores e o ciclo do veículo. Ao término de cada ciclo, as informações pertinentes são enviadas para um banco de dados. Estas informações, resultantes do processo de produção do serviço de transporte de passageiros caracterizam a qualidade e a produtividade dos serviços prestados aos passageiros. Estas informações, por sua vez, são dados de entrada para a componente de planejamento, e correspondem às informações de retroalimentação apresentadas na figura 2. Com as informações geradas pelo processo de produção dos serviços de transporte de passageiros a empresa de transporte poderá acompanhar, avaliar e corrigir a execução do serviço.

5.1 Os Subsistemas da Empresa de Transporte de Passageiros

A aplicação do conceito de sistemas às empresas permite a análise em separado das partes do todo, das inter-relações das partes entre si e com o todo, levando ainda em consideração o contexto ou meio ambiente no qual elas estão inseridas. Tais fatos levam ao conceito de “sistema total de informação” ou “Sistemas de Informação Gerencial” (SIG), à medida que tal sistema pode responder a uma gama de necessidades de informação para a tomada de decisão. Quando se considera o sistema de informações, por outro lado, a empresa de transporte pode ser visualizada como composta de vários subsistemas como mostra a figura 3 a seguir. Nesta figura, as informações geradas nos diversos subsistemas têm forte vinculação entre si, suprem as funções e informam os resultados reais obtidos pelos procedimentos realizados. Algumas informações estão diretamente destinadas ao ambiente externo à empresa, atendendo, por exemplo, às exigências fiscais,

tributárias dos órgãos governamentais, e dos próprios usuários.

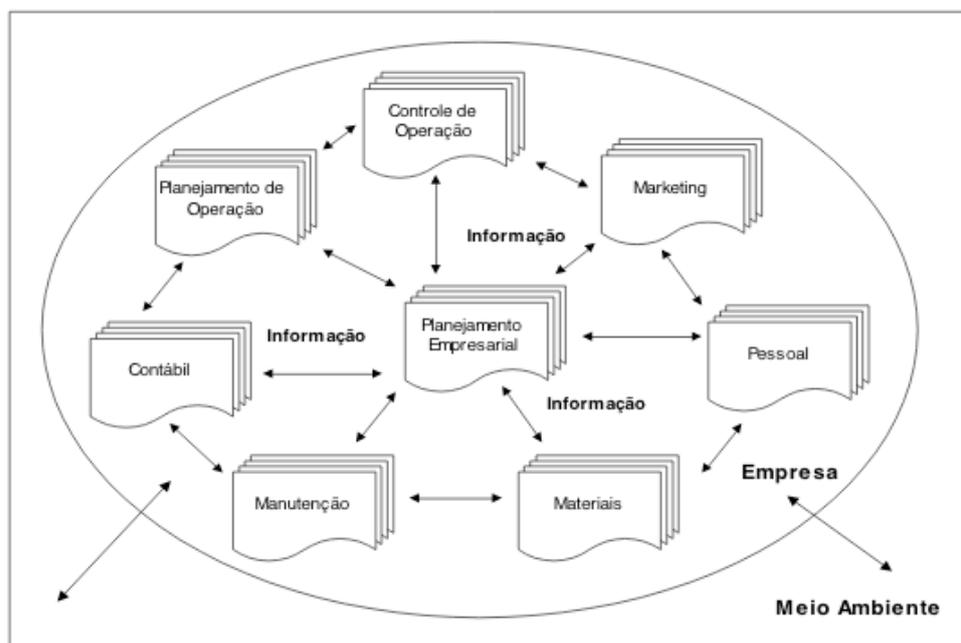


Figura 3: Os diversos subsistemas no ambiente da empresa de transporte público de passageiros.

Fonte: Elaboração dos autores

Para produzir as informações, cada subsistema tem definido um conjunto de funções e procedimentos que satisfazem as necessidades da empresa e do cliente (usuários). Podem-se citar algumas das principais funções desenvolvidas pelos diversos subsistemas conforme apresentado por MAYERLE (1996).

Subsistema de Marketing:

A realização de pesquisas e análise de novas tecnologias;

A realização de pesquisas e análise de novos segmentos de mercado a atender;

Avaliação da demanda (frequência, horários, origem, destino, percurso), etc.

Subsistema de Planejamento Empresarial:

Definir padrões básicos de funcionamento para todas as áreas da empresa, contendo filosofia de gestão, missão, objetivos e diretrizes a seguir;

Definir a quantidade e as habilidades do pessoal necessário ao processo de produção do serviço de transporte, etc.

Subsistema de Planejamento de Operação:

Estudar a demanda nos diferentes aspectos, quais sejam: flutuação temporal da demanda e flutuação espacial da demanda;

Gerar o plano de operação para a empresa (alocação da frota, geração de

escalas e distribuição da carga semanal de trabalho), etc.

Subsistema de Controle de Operação:

Realizar os controles necessários para que o planejamento operacional seja seguido fielmente;

Analisar a produção por carro (passageiro transportado por carro, por frota, e a média passageiro/transportado/carro);

Avaliar as ocorrências operacionais (carros quebrados durante operação e por período de operação), etc.

Subsistema de Manutenção:

Manter registro das informações sobre os procedimentos de manutenção, de modo a permitir a realização de análises quanto a necessidade de se realizar reformas e substituição de frota;

Controlar os serviços de manutenção preventiva e corretiva (participação do custo de manutenção corretiva/custo total, média de horas trabalhadas na manutenção corretiva e preventiva, quebras durante o período de operação dentre outros), etc.

Subsistema de Pessoal:

Controlar atividades de admissão e demissões, cargos e salários, benefícios, promoções e férias;

Manter atualizadas as informações referentes aos aspectos jurídicos (CLT, negociações trabalhistas, etc);

Habilitar os empregados a participarem dos processos democráticos de tomada de decisão, etc.

Subsistema de Materiais:

Elaborar lista de compras de acordo com as necessidades de cada setor; receber e conferir as compras e distribuí-las a cada setor;

Manter cadastro para cada tipo de equipamento contendo os dados de: construtivos (manuais, catálogos e desenhos); compra (requisição, orçamento, e custos); origem (fabricante, fornecedor, tipo, e modelo); transporte e armazenamento (dimensões, peso e cuidados); operação (características normais e limites operativos); manutenção (lubrificantes, recomendações do fabricante, folgas e ajustes), etc.

Subsistema Contábil:

Programação financeira da empresa;

Efetuar pagamentos, recebimentos, controle de caixa de bancos, e aplicações, etc.

O requisito fundamental para que um sistema de informações gerenciais constitua um instrumento eficaz para a tomada de decisão, é que suas partes componentes - subsistemas - estejam exercendo cada qual uma função específica dentro de um conjunto harmônico e integrado de funções, atendendo adequadamente aos requisitos priorizados pela empresa.

Para exemplificar, considere-se a função de “Geração do Plano Operacional”, realizado pelo subsistema de Planejamento de Operação. Na figura 4, esta função é detalhada, e os fluxos de informações necessários a sua realização são apresentados.

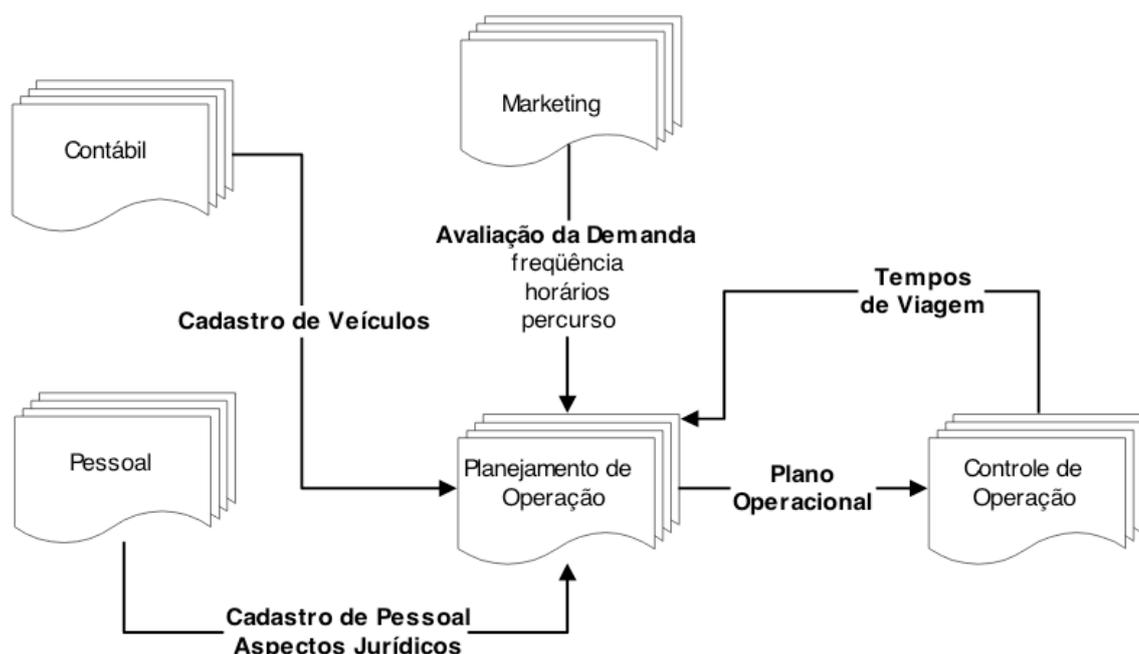


Figura 4: Detalhamento da função “Geração do Plano Operacional”, realizada pelo subsistema de Planejamento de Operação, com o respectivo fluxo de informação.

Fonte: Elaboração dos autores.

Conforme pode ser observado, para a geração do plano operacional, o subsistema de Planejamento de Operação necessita que as informações de demanda (frequência, horários, percurso), tempos de viagem, veículos (cadastro de veículos) e pessoal (cadastro de pessoal), além de informações jurídicas referentes aos aspectos trabalhistas (carga horária diária e semanal, descansos regulamentados, encargos sociais, etc) estejam disponibilizadas. Através de rotinas bem conhecidas, como geração de quadros de marcha, geração de escalas de trabalho e distribuição semanal da carga de trabalho, é montado o plano operacional. Este plano, por sua vez, é informação de entrada para o subsistema de Controle de Operação que passa a acompanhar o desenvolvimento do serviço de transporte de passageiros.

Pode-se observar, ainda, que a informação sobre os tempos de viagens geradas pelo subsistema de Controle de Operação corresponde, neste diagrama, às

informações de retroalimentação apresentadas na figura 2.

Geralmente, esta informação não é coletada de forma sistemática, conforme se pode observar nas empresas. Este fato faz com que os tempos de viagem considerados na geração do plano operacional sejam superestimados, com o objetivo de assegurar que a programação realizada possa ser cumprida sem atrasos. Como resultado disso, as folgas existentes entre as viagens tendem a ser muito elevadas, o que acaba aumentando os custos operacionais, comenta MAYERLE (1996).

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que o processo gerencial das empresas ainda se mantém bastante conservador, sendo que o processo de decisão mantém-se centralizado, não permitindo a participação de toda a estrutura da empresa no mesmo. Estas evidências mostram, ainda, que a obtenção dos dados relativos a estes processos de decisão é feita manualmente, muitas vezes de forma não sistematizada, por fiscais, despachantes, motoristas, cobradores e mecânicos, a maioria dos quais não se encontram devidamente qualificados para a realização desta tarefa, nem tão pouco cientes da importância destes dados.

Não menos freqüente, ainda, são os casos em que pelo próprio desuso dos sistemas de informações para fins de tomada de decisão, estes acabam tendo os seus dados desatualizados por falta de realimentação.

Segundo GOMES E SALAS (1997), a partir da existência de um sistema de informação que coleta e seleciona a informação mais relevante, pode-se: primeiro, tomar decisões (o sistema de informação quando utiliza informação preditiva permite antecipar o que pode acontecer e adaptar o processo de decisão em função destes resultados, assim como permitir um controle a priori da atuação) e segundo, avaliar o comportamento de cada responsável (o sistema de informação quando utiliza informação histórica permite analisar o que aconteceu, possibilitando, por conseguinte, um controle a posteriori).

O aspecto essencial das informações, portanto, é o fato delas constituírem uma importante fonte do conhecimento da empresa. As informações auxiliam a empresa a ter o conhecimento sobre o que já foi feito no passado, o que está sendo feito no presente e o que fazer no futuro.

O conjunto de informações estruturadas e organizadas constitui assim, um importante item do patrimônio da empresa, e principalmente, relevante conteúdo para o processo decisório.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. F. **Sistemas de informações gerenciais - uma abordagem orientada aos negócios. Introdução aos sistemas de informações gerenciais.** Material de aula, curso de pós-graduação em engenharia de produção, UFSC, 1997.

ANTHONY, R. N. **Contabilidade Gerencial - Introdução à contabilidade**. Tradução de Luiz Aparecido Caruzo, 1979.

ARANTES, N. **Sistemas de Gestão Empresarial: conceitos permanentes na administração de empresas válidas**. São Paulo, Editora Atlas S.A, 1994.

BEZERRA, O. B. (2002). **Qualidade e Produtividade em Empresas de Transporte Urbano de Passageiros – Proposta de Implantação de um Sistema de Controle de Indicadores**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BIO, S. R. (1995). **Sistemas de Informações: um enfoque gerencial**. São Paulo, Editora Atlas.

CASSARRO, A.C. (1999). **Sistemas de Informações para Tomada de Decisões**. 3ª Edição Revista e ampliada. São Paulo, Editora Atlas S.A.

FIGUEIREDO, A. dos S. (1993). **Informações Gerenciais: Um Instrumento de Gestão de Produtividade e Qualidade no Transporte por Ônibus**. 1993. Dissertação. (Dissertação em Transportes) – MTU, Universidade de Brasília, Brasília.

GOMES, J. S. e SALAS, J. M. (1997). **Controle de Gestão: uma abordagem contextual e organizacional**. São Paulo, Editora Atlas S.A.

MAYERLE, S. F. (1997). **Um Sistema de Apoio à Decisão para o Planejamento Operacional de Empresas de Transporte Rodoviário Urbano de Passageiros**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MAYERLE, S. F. e CRUZ, J. A. (1997). **Alocação de Frotas, Geração e Distribuição de Escalas no Transporte Urbano de Passageiros**. IDAQ - Instituto de Desenvolvimento Assistência Técnica e Qualidade em Transporte.

MAYERLE, S. F. (1997). **Qualidade e Produtividade no Transporte Rodoviário de Passageiros**. IDAQ - Instituto de Desenvolvimento Assistência Técnica e Qualidade em Transporte.

OLIVEIRA, D. de P. R. de. (1997). **Sistemas de Informações Gerenciais: estratégicas, táticas operacionais**. Editora Atlas, São Paulo.

SOUSA, M. L.; CAMPOS, D. F. A. (1994). **Qualidade nos Serviços de Transporte Rodoviário, por Ônibus: Uma Análise dos Principais Parâmetros de Desempenho do Sistema**. In: 14º ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. João Pessoa. **Anais**. João Pessoa/PA: p. 1093-1099.

TRANSPORTE FLUVIAL POR EMBARCAÇÕES MISTAS: UMA VISÃO ECONÔMICA A PARTIR DO MODELO ECD

Lucas Gabriel Melo da Silva

Universidade Federal do Amazonas

Manaus-Amazonas

<http://lattes.cnpq.br/5392062572649103>

Márcio Antônio Couto Ferreira

Universidade Federal do Amazonas

Manaus-Amazonas

<http://lattes.cnpq.br/5773060474361889>

Salomão Franco Neves

Universidade Federal do Amazonas

Manaus-Amazonas

<http://lattes.cnpq.br/4794599939768087>

Edilson Pinto Barbosa

Universidade Federal do Amazonas

Manaus-Amazonas

<http://lattes.cnpq.br/2821682713242701>

RESUMO: No Amazonas o transporte fluvial se faz presente graças a vasta extensão dos rios da bacia Amazônica e sua mobilidade inter-estadual. Esse bem natural possibilita usar tal vantagem hidrográfica para fomentar a economia da região e prover, concomitantemente, a necessidade das comunidades mais afastadas da capital. Dessa forma, este projeto tem o objetivo de realizar uma apresentação e análise do mercado de transporte fluvial no trecho de Manaus – Parintins da Amazônia, utilizando-se dos fundamentos do modelo

ECD, caracterizando o transporte de cargas e passageiros, assim como as diretrizes para a sua eficiência e a sugestão de indicadores. Esta pesquisa gira em torno do segmento de embarcações mistas no trecho Manaus – Parintins pelo rio Amazonas, trecho de alta mobilidade de bens, serviços e passageiros. A singularidade de alguns problemas foi exemplificada na questão da estrutura portuária de Manaus e barreiras de entrada muito forte pelo fato de o mercado em questão ser oligopolista.

PALAVRAS-CHAVES: Transporte fluvial; embarcações mistas; ECD, Indicadores.

FLUVIAL TRANSPORT BY MIXED VESSELS: AN ECONOMIC VIEW FROM THE ECD MODEL

ABSTRACT: In Amazonas, river transport is present thanks to the large extension of the rivers of the Amazon basin and their interstate mobility. This natural good makes it possible to use such a hydrographic advantage to foster the region's economy and to provide, at the same time, the need for communities furthest from the capital. Thus, this project aims to make a presentation and analysis of the inland waterway market in the Manaus - Parintins section of the Amazon, using the fundamentals of the ECD model, characterizing cargo and

passenger transport, as well as the guidelines for its efficiency and the suggestion of indicators. This research revolves around the segment of mixed vessels in the Manaus - Parintins stretch by the Amazon River, a high mobility stretch of goods, services, and passengers. The uniqueness of some problems as exemplified by the question of the Manaus port structure and extreme entry barriers because the market in question is oligopolistic.

KEYWORDS: River transport; mixed vessels; ECD, Indicators.

1 | INTRODUÇÃO

Uma das características mais importantes do estado do Amazonas é clara: seu potencial hidrográfico. Em função disso, este trabalho foca na utilidade deste recurso no setor de transportes que deveria demandar maior atenção das instituições governamentais, por ser um fator-chave que corrobora para o desenvolvimento regional da Amazônia.

O transporte fluvial de passageiros e cargas é realizado historicamente através de embarcações mistas, que é tradicionalmente utilizado para interligar os municípios mais afastadas da capital e promover o intercâmbio de bens, serviços e passageiros. Porém, nos últimos anos têm ocorrido muitos acidentes com um elevado número de vítimas. O padrão das embarcações empregadas e as condições de operação mantêm o cenário de insegurança para a vida humana.

O setor mostra-se parcialmente ineficaz, pois a fiscalização é extremamente difícil devido à falta de recursos e a quantidade de embarcações. O licenciamento das embarcações e da tripulação é regulamentado pela Marinha e sua fiscalização compete a Capitania dos Portos de Manaus, no entanto, existe um número significativo de embarcações que trafegam sem as devidas autorizações e de forma irregular.

Dado o exposto é possível observar que este modal possui falhas, tais como: mercadorias furtadas nas embarcações, embarcações clandestinas, superlotação, falta de controle de horários, baixa qualidade, irregularidade, falta de segurança nas embarcações e portos, isso tudo pela falta de uma devida fiscalização. Contudo, este modal é de suma importância para a população do Estado do Amazonas.

Para analisar o modal, pretende-se sugerir um sistema de indicadores que leve em consideração a análise econômica dos serviços. Para tanto, utilizaremos o paradigma ECD - estrutura, conduta e desempenho - que nos permitirá entender como as empresas inseridas nesse setor se comportam para atender as demandas. Possibilitando um melhor desempenho no trecho MANAUS-PARINTINS.

2 | NAVEGAÇÃO DA AMAZÔNIA

A navegação no Estado do Amazonas segundo Souza (2009), guarda em sua história muitos relatos de como essa atividade vem se desenvolvendo, assim como

a adaptação dos modelos de embarcações à realidade das vias hidrográficas da região e às necessidades dos moradores. Carvalho et. Al (1966) ressalta que “as estradas na Amazônia são líquidas e o transporte mais usado é a canoa, sem deixar de mencionar que desde as ubás até as gaiolas houve uma evolução gradativa deste sistema de transporte na Amazônia”.

Neste contexto admite-se, que não há como entender a evolução socioeconômica e cultural sem levar em consideração os diversos estágios de que a relação homem versus embarcação sofreu ao longo da história do Amazonas (SOUZA, 2009, p.58).

Para Araújo (2008), a água é o elemento mais significativo da economia social amazônica porque exerce forte influência sobre a cultura humana, uma vez que a direção das águas dos rios traça o rumo da sua civilização, seja pelo fato desta revolver os solos e fertilizá-lo tornando propício ao cultivo, seja para a pesca, para o fluxo cultural por toda sua extensão aos grupos sociais nele contido e também por ser o principal modal de transporte de carga e passageiros, figurando como a própria expansão socioeconômica e cultural para os povos dessa Região.

Ao analisar as condições geográficas, a navegação regional apresenta-se como um elemento promissor para o desenvolvimento socioeconômico, uma vez que a região é representada por um conjunto fisiográfico determinado por vastas planícies e considerando que a população amazônica vive em um ambiente abundante em água, é natural que a via fluvial seja o principal e às vezes único meio de comunicação instrumentalizados pelas canoas, voadeira, rabetas, recreio, batelão, dentre outros. (SOUZA, 2009, p.66).

Na região Amazônica, o transporte aquaviário está presente em toda nossa porção geográfica, ele é composto por embarcações que realizam serviços de transporte de passageiros e cargas em determinados trechos, os exemplares destas embarcações são chamados de mistas. Poder compreender a importância do transporte fluvial de passageiros e cargas no estado do Amazonas é muito difícil, mas é totalmente necessário, pois grande parte da movimentação das mercadorias e de usuários desses serviços dependem das vias fluviais da nossa região. Segundo Nogueira (1999),

A singularidade dos problemas do transporte no Amazonas reside no fato de que a navegação fluvial é quase, exclusivamente, a única modalidade de transporte para o Estado e no interior deste.

Não deixando o aspecto econômico de lado, pretende-se analisar essa indústria de serviço, visto que é essencial aplicação das teorias no controle econômico do ambiente moderno. Este ambiente traz mudanças profundas que podem ser tanto a fonte de aumento de bem-estar coletivo quanto da insuficiência ou insegurança econômica (Kupfer & Hasenclever, 2013)

No que diz respeito ao modelo a ser utilizado, o ECD, para Kupfer & Hasenclever (2013), o paradigma, fornece um modelo que nos permite a análise de mercados, isto é, ele permite estabelecer que existe uma relação causal entre a estrutura de mercado, a conduta e o desempenho da empresa, dada a indústria em que está

inserida, ou seja, ele consiste em estabelecer relações entre as variáveis estruturais e o desempenho de todo o mercado. Conforme Ribeiro et al. (2013),

Em sua formulação original, o modelo ECD baseava-se em um encadeamento causal das condições básicas de oferta e demanda para a configuração da estrutura de mercado e seus reflexos nos preços e nos resultados das empresas e no desempenho econômico.

A construção de um sistema de indicadores baseado no ECD para o setor é uma ferramenta importante para mapear e direcionar este modal, colaborando para a sua sustentabilidade. (Ferreira, 2016). De fato, o modal proporciona desde os primórdios um avanço para a sociedade e desenvolvimento das cidades visto que sua utilização vem crescendo cada vez mais pelo simples fato de simplificar o transporte e alcance das cidades mais afastadas do Amazonas segundo projeções futuras.

2.1 Trecho Manaus- Parintins

Em termos de transporte de passageiros e carga por modal hidroviário na Região Amazônica, é provavelmente um setor que demanda maior atenção e urgência das instituições governamentais e núcleos de pesquisa interessadas direta ou indiretamente pelo desenvolvimento sustentável e a qualidade desses serviços na Amazônia.

Algumas falhas em planejamento do setor de transportes brasileiro, no passado e presente, ressaltam a premência da necessidade de novas ferramentas e metodologias de auxílio à tomada de decisão em novos investimentos. É latente a falta de conhecimento sobre as verdadeiras condicionantes regionais (Kuwahara, 2008).

Araújo (2008) aponta para a seriedade da problemática social relacionada ao transporte no Amazonas, pois seu papel chave na produção toma a mesma encarecida quando da ausência deste modal.

Analisando o meio fluvial nota-se que boa parte dos municípios mais afastados da capital são dependentes comercialmente de Parintins, pois estes estão nas margens dos afluentes menores do Rio Amazonas, e Parintins que está na margem deste rio, torna-se o ponto principal ou intermediário para transações comerciais e a demanda de bens e serviços. Manaus está localizada a cerca de, aproximadamente, 475 km de Parintins. E nesse trecho a dinamicidade comercial é alta.

2.2 Terminais Hidroviários

O terminal é a parte do sistema de transporte onde se realiza a integração entre dois ou mais modos de transporte ou entre dois veículos do mesmo modal. Como elemento de conexão, o terminal deve oferecer uma infra-estrutura e arranjos mínimos que possibilitem a transferência entre os modos de transporte de forma eficiente, segura e confortável. Os principais terminais de embarque/desembarque

de passageiros e cargas são o POM (Porto Organizado de Manaus) compõem lá duas balsas de atracação a Roadway e as Torres, e o PMM (Porto da Manaus Moderna) quem compõe são a Bv (Balsa Vermelha), Ba (Balsa Amarela), BVe (Balsa Verde), BL (Balsa Laranja).

Nome do Terminal	Município/ Localidade	Nº de linhas	Nº de Embarcações	Capacidade Nominal (Passageiros)	Capacidade Nominal (Carga)
Roadway	Manaus	10	48	1400	1016
Balsa Verde- Manaus Moderna	Manaus	23	42	311	840
Balsa Amarela- Manaus Moderna	Manaus	9	20	1002	1400
Balsa Vermelha- Manaus Moderna	Manaus	13	29	369	288
Balsa Laranja- Manaus Moderna	Manaus	5	7	362	231
Terminal de Tefé	Tefé	5	12	675	800
Ajato - Manaus Moderna	Manaus	5	9	171	100
Trapiche Municipal de Uarini	Uarini	2	8	675	1000
Terminal de Parintins	Parintins	5	7	600	560
Demais Terminais		53	116	7456	7949

Tabela 01- Principais Terminais Hidroviários Linhas Estaduais

Fonte: UFPA,2017

No trecho Manaus - Parintins observam-se que 06 embarcações fazem este percurso, são eles: Navio Parintins, Nova Aliança, Coronel Tavares (madeira), Leão de Judá, Navio Oliveira, Navio Tavares (ferro), o tempo médio de ida gira em torno de 17 horas, o tempo de volta dura em média 25 horas por conta de uma navegação contra o sentido do rio. Segue na Figura 02 as embarcações.



Figura 02- Embarcações do trecho Manaus-Parintins

Fonte: Ferreira,2016

O maior fluxo de pessoas se dá no período de férias escolares e nas festas da região como o Boi-Bumbá e a festa da padroeira, a fim de suprir as necessidades dos meses em que a temporada é baixa. Nota-se que na alta estação a dinamicidade populacional se eleva bruscamente, com uma média de aproximadamente 8.280 passageiros/mês. De fato, Parintins é uma cidade do Estado que estimula o comércio e o turismo, envolvendo um fluxo de oferta e demanda estupendo, que faz a economia girar.

Linha/Trecho		Distância (KM)	Movimentação de passageiros (02sentidos)		Taxa de ocupação média de passageiros	Tarifa Média (R\$)
			Mês	Ano		
Manaus	Janaucá	64	11.145	133.740	45,9	25,00
Manaus	Tefé	631	10.044	120.528	32,7	120,00
Manaus	Parintins	475	8.280	99.360	40,2	125,00
Manaus	Coari	421	6.182	74.184	54,9	118,00
Manaus	Maués	698	4.752	57.024	27,7	80,00
Manaus	Manicoré	616	4.732	56.784	55,6	140,00
Manaus	Manaquiri	79	4.650	55.800	50	28,00
Manaus	Autazes	324	4.528	54.336	67,5	88,00
Manaus	Nova Olinda do Norte	236	4.379	52.548	35,7	52,00
Manaus	Codajás	285	4.078	48.936	35,2	52,00
Outros trechos/linhas		458	75.990	911.880	39,9	113,23
Total/Média		454	138.760	1.665.120	40,1	111,60

Tabela 02- Movimentação de passageiros em linhas estaduais

Fonte: UFPA, 2017

A movimentação de cargas é um dos principais meios de movimentar a economia de Parintins. Comerciantes locais e despachantes transportam mercadorias e cargas domésticas, juntamente com os serviços de transporte onde pelo menos um passageiro leva uma carga doméstica para ser comercializada.

Linha/Trecho	Estimativa de cargas anual (T)	%	Preço Médio Unitário (R\$)
Manaus- Tefé	129.360	12,9	138,00
Manaus- Maués	87.840	8,8	117,00
Manaus- Tabatinga	86.340	8,6	143,00
Manaus- Parintins	71.760	7,2	335,00
Manaus- Autazes	47.040	4,7	117,00
Manaus- Manicoré	42.720	4,3	124,00
Manaus- Barreirinha	39.840	4	299,00
Manaus- Uarini	37.680	3,8	122,00
Manaus- São Gabriel da Cachoeira	35.040	3,5	142,00
Manaus- Nova Olinda do Norte	26.064	2,6	118,00
Outras linhas/trechos	395.472	39,6	7.512,00
Total	999.156	100%	150,79

Tabela 03- Movimentação de cargas em linhas estaduais

Fonte: UFPA, 2017

Nota-se que a carga vinda de Parintins, é doméstica, significa que boa parte é dos próprios passageiros. Verifica-se que um setor importante é o da encomenda, tanto na ida quanto na volta do trajeto. O processo de carregamento da embarcação, se dá pelo conferente e os colaboradores que são responsáveis por receber, conferir, fazer uma análise da qualidade da carga e organizá-la no porão. Quando o comerciante de Parintins solicita uma carga de Manaus, o fornecedor se responsabiliza até o despacho da mercadoria, depois é feita a organização da carga, e a partir daí toda responsabilidade é do armador.

3 | NAVIO- MOTOR TRANSPORTE DE PASSAGEIROS E CARGAS

No trecho observado são 06 embarcações que fazem o percurso em estudo. Conforme explanado, o tempo médio de ida gira em torno de 17 horas, o tempo de volta dura em média 25 horas por conta que se navega contra o rio. Pode-se observar a seguir algumas embarcações que fazem este percurso e dia que saem no trecho de Manaus- Parintins, Navio Parintins, toda quinta feira às 10:00 a.m.; o Nova Aliança toda quarta às 9:00 a.m.; Coronel Tavares(madeira) todo sábado às 9:00 a.m.; Leão de Judá exta as 9:00 a.m.; Navio Oliveira todo sábado as 10:00 a.m, e Navio Tavares(ferro) todo sábado as 10:00 a.m.

Percebe-se que os donos de barcos e agências trabalham juntos, é perceptível

o uso discriminado de preços em relação a cada ponto de vendas de passagens (Porto da Roadway ou Porto da Manaus Moderna), em tempos de grande demanda a passagem gira em torno de R\$220-250,00 no Porto da Roadway, no entanto em tempos de baixa demanda R\$140-170,00, sem incluir a taxa de embarque R\$ 5,00, nas cooperativas a passagem na alta temporada R\$135-160,00 e na baixa R\$80-120,00, não se paga taxa, frente ao dono das embarcações foi observado que são designados a determinar o preço entre o valor das agências e o valor do porto, foi sucinta a indicação de compra pelas agencias visto que boa parte das embarcações são de famílias tradicionais que já atuam nesse segmento e boa parte das agencias firmam parcerias e/ou são dos donos de agencias.

Os valores cobrados referentes as cargas que serão transportadas se dão unicamente por meio do capitão da embarcação que negocia a mercadoria por peso, quantidade e volume, e se o contratante é fidelizado ou não na embarcação, onde a carga é alocada em seus alçapões e/ou no convés, são eles: Navio Parintins, Nova Aliança, Coronel Tavares (madeira), Leão de Judá, Navio Oliveira e Navio Tavares (ferro).

As principais cargas no trecho Manaus - Parintins são eletrodomésticos, eletroeletrônicos, produtos Alimentícios, bebidas (Água à Alcoólicos), roupas e cosméticos, materiais perigosos (Inflamáveis, Combustíveis em geral) e brinquedos.

Conforme descrito acima, o relatório da ANTAQ alega que provavelmente são despachados anualmente 71.760 *ton.* de mercadorias ou cargas com um preço unitário médio de R\$ 335,00 o mais caro entre os demais e representa cerca de 7,2% de cargas despachadas no trecho de MANAUS - BÉLEM, vale a ressalva que se trata de um preço médio a variação acontece de acordo com o tamanho, quantidade ou volume, peso e tempo de vida útil.

O destino das cargas funciona com o propósito de abastecer o município, seus estabelecimentos e/ou pessoas que as solicitam de Manaus, essa carga fica sob a responsabilidade do transportador em verificar as melhores opções para despacho da mercadoria, a alta do seu fluxo financeiro se dá principalmente no festival folclórico e com o turismo da cidade em questão.

No percurso existem também outros navios que realizam o serviço de transporte ou frete, porém nossos atenuantes são esses, visto que os demais fazem longas viagens afim de abastecer o trecho que corresponde a MANAUS - BÉLEM, a escolha deste se deu principalmente por serem os que realizam somente nosso objeto de estudo, de forma a qualificar e quantificar melhor o serviço prestado empregando a teoria econômica no dia a dia.

3.1 Aplicação no Modelo e Proposta dos Indicadores

A análise econômica utiliza os fundamentos do Paradigma ECD, para que se compreenda a situação atual do modal, no que tange ao mercado, e considerando

a falta de uma fiscalização e de uma legislação específica criada pelo governo que oriente o produtor e o consumidor a lidar com um eventual problema que possa surgir. O mercado relevante sob análise é o transporte fluvial, neste estudo, o modelo conceitual utilizado é apresentado na Figura 03, o modelo de Scherer (1990), abordando a estrutura do mercado, a conduta empresarial e o desempenho do setor.

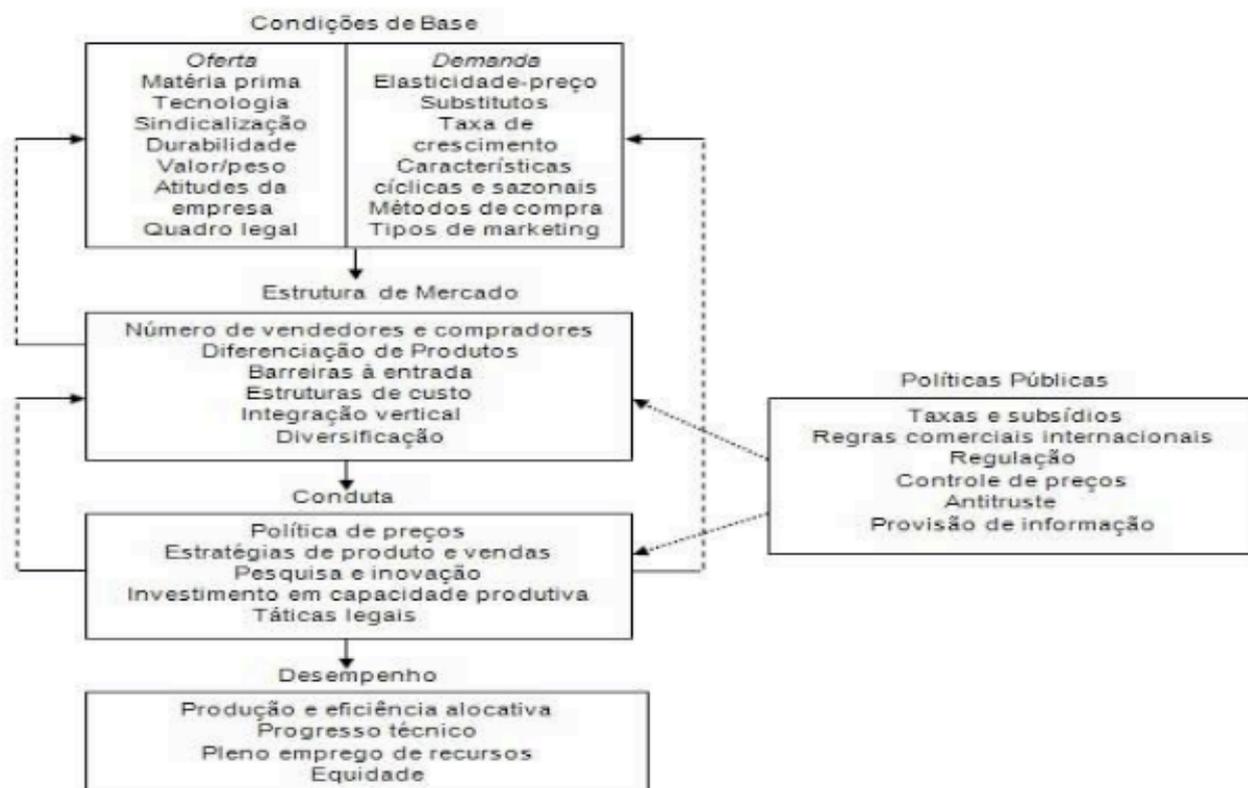


Figura 03- Modelo ECD,(SCHERER E ROSS, 1990)

Fonte: Modelo ECD

A sugestão dos indicadores de sustentabilidade serve de auxílio para orientar um possível leitor ou pesquisador que busque uma linha de raciocínio para melhorias do modal fluvial de navio-motor, pois assim como os outros modais este necessita de melhorias para o serviço prestado, e considerado que existe uma gama de indicadores para serem considerados, esta pesquisa direciona à uma especificidade para a melhoria dos serviços no que se diz respeito a qualidade e o cumprimento do contratado estabelecido entre o gerador do serviço e o consumidor.

Com base nestas afirmativas pode-se sugerir alguns indicadores que buscam medir a estrutura, conduta, desempenho da indústria fluvial de transportes com critérios pela ANTAQ afim de um melhoramento mais sustentável e adequado aos consumidores:

Estrutura - Para Resende e Boff (2002), a estrutura de mercado desempenha um importante papel dentro do modelo ECD. Entretanto, Leite (1998) destaca que o termo tem três sentidos diferentes. O primeiro refere-se às características mais aparentes do mercado, que é definido conforme o número de empresas concorrentes

entre si e pela oferta de produtos diferenciados ou homogêneos; o segundo ponto de vista diz respeito ao modelo estrutura-conduta-desempenho, onde as características das firmas estão relacionadas a variáveis como concentração, barreiras à entrada, bens substitutos, dentre outras. Já a terceira maneira de focar na estrutura é semelhante ao segundo ponto de vista, contudo, acrescentando-se aspectos que dão um sentido de dinâmica.

◦ **Concentração de Mercado:** concentração de um mercado pode ser vista como o pilar de uma estrutura industrial e sua medida pretende fornecer um indicador sintético de concorrência existente em um mercado; no que tange o transporte fluvial de embarcações mistas, é não conclusivo visto que os compradores são os passageiros, e os vendedores são os proprietários das embarcações e as agências que representam.

Indicadores:

- Número de Compradores: Passageiros
- Número de Vendedores: Proprietários de Embarcações, agências

◦ **Diferenciação de Produto:** consiste na representação da variedade de formas e tipos de produtos que o mercado pode oferecer. No que tange a diferenciação do produto, as embarcações oferecem algum tipo de serviço diferenciado para o cliente, como é o caso de alimentação, conforto e limpeza referente ao Navio Parintins, Navio Oliveira e Tavares (ferro).

Indicadores:

- Higiene
- Segurança
- Lazer

◦ **Barreiras de Entrada:** No que tange as barreiras de entrada, cita-se o valor de uma embarcação e seus custos de manutenção, e despesas adicionais com documentação, habilitação, adaptação do mercado, impostos, normas da ANTAQ e regulamentação. Para FERREIRA(2016) o mercado de serviços de transporte fluvial amazônico é de natureza oligopolista, visto que a mesma está cercada de barreiras econômicas e institucionais, o que impede que este setor se expanda.

Indicadores:

- Custos Fiscais
- Aquisição de uma Embarcação
- Mercado Oligopolista

◦ **Estrutura de Custos:** No que diz respeito a estrutura de custos, destacam-se dois casos, o barco próprio e/ou barco alugado. O barco próprio: regulamentação da embarcação uma das mais caras, seguro que gira em torno de 0,5% a 1% do valor do barco, manutenção preventiva entre R\$ 1000,00 a R\$ 5000,00 dependendo da embarcação, custo da marina para guardar a embarcação, o alugado: a principal

negociação é o valor do aluguel e combustível que somam valores astronômicos muita das vezes entre R\$ 15.000,00 a R\$ 40.000,00, os dois possuem despesas com mão-de-obra.

Indicadores:

- Regulamentação

Custos Operacionais (Manutenção, Combustível, Funcionários, Alugueis)

Conduta - O segundo conceito do modelo ECD a ser apresentado é o da conduta. Para Bem (1991), ele pode ser expresso como o comportamento das firmas no mercado em relação a preços, produção, características do produto, pesquisa e desenvolvimento (P&D) e propaganda. Além disso, ela é responsável por estabelecer um elo entre a estrutura e o desempenho.

◦ **Propaganda e Política de Preços:** Nesse tópico ambos se complementam, visto que a adoção de uma passagem por meio das agências já é uma forma de propaganda, além do uso de redes sociais, e contato próprio/vendedores visam sempre estabelecer preços mais acessíveis comparado com os que são oferecidos pelo Porto Privado (Roadway), assim os preços ofertados pelas agências possuem mais demandas.

Indicadores:

- Agências de Viagem (Vendas de Passagem)
- Divulgação Rede Social (Marca)
- Preço Praticado

◦ **Pesquisa e Desenvolvimento:** Tratando-se de um mundo com inovações tecnológicas, a constante produção de novos modelos e o acréscimo de tecnologias portáteis faz do uso dessas informações o diferencial na escolha de um consumidor quanto a embarcação que irá optar. Se possuem GPS e sonar de precisão, faróis de sinalização essenciais para o transporte marítimo, entre outros. É passível de análise o tipo de motor que são utilizados se são abastecidas com biocombustíveis; se são poluentes; se são versões defasadas; se já receberam bastante reparos ou se mantem constante manutenção.

Indicadores:

- Adequação de Inovações Tecnológicas

Desempenho - O desempenho de mercado é o resultado das vantagens competitivas das empresas e consiste no efeito prático da conduta das empresas no mercado. Este, por sua vez, sofre reflexos da estrutura de mercado, das políticas públicas e das condições de oferta e demanda. O desempenho considera variáveis medidas ex post facto, ou seja, tais variáveis são medidas apenas o processo (ações) ter acontecido, e decisões terem sido tomadas (SCHERER & ROSS, 1990).

◦ **Lucratividade:** determina-se a evolução da lucratividade das empresas em um dado período. Por lucratividade entende-se o lucro líquido da empresa em relação

ao total do faturamento; deve-se principalmente a propaganda podendo alcançar seus altos níveis (maximização dos lucros) nos festejos da Padroeira e no Festival de Parintins, onde movimentam na casa de milhares dentro da economia.

Indicadores:

- Quantidade de Passagens
- Custos com combustível

◦ **Pleno Emprego e Desenvolvimento:** a utilização de todos os recursos disponíveis dentro e fora da embarcação a fim de alcançar toda a magnitude de seu desempenho, desta forma alocando todas as suas funcionalidades de forma correta, não obstante de realizar tarefas simples que possam alcançar o objetivo final que é a viagem.

Indicadores:

- Funcionários
- Mão de Obra Qualificada
- Adaptações do Produto

◦ **Equidade:** A utilização do serviço é para todos, o bem não é excludente tão pouco escasso, visto que há barcos com saídas todos os dias da semana, no entanto, trata-se da aquisição de um serviço, portanto, faz-se necessária a aquisição da passagem para embarcar, o atendimento é para todos.

Indicadores:

- Acessibilidade
- Funcionalidade
- Imparcialidade

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de realizar uma apresentação e análise do mercado de transporte fluvial no trecho de Manaus - Parintins da Amazônia, utilizando-se dos fundamentos do modelo ECD.

A teoria econômica identificou-se o mercado em questão como oligopolista, as embarcações mistas são tradicionais de famílias, que dominam o mercado, o que prejudica bastante a entrada de novos integrantes, além de que o custo para manter-se operando é o mais caro desta modalidade em comparação com os demais meios fluviais.

Os atores deste segmento são os principais beneficiários visto que a lucratividade depende de suas ações, essas são auxiliadas por cooperativas (agências de viagem) que tentam ao máximo usar a capacidade instalada para obter sua maximização. É perceptível que a competitividade entre as famílias se dá pela satisfação do cliente

em utilizar seus serviços, alguns destes destacam-se pela qualidade, outros pela segurança, higiene, etc. requisitos estes que possibilitam o trade off e a avaliação do custo de oportunidade para determinar sua preferência de embarcação.

A sua conduta é direcionada principalmente pela propaganda que é a alma de todo negócio está é exemplificada pelas cooperativas (anexos) que tem como principal função oferecer uma política de preços adequados abaixo do preço de mercado a fim de utilizar 100% de sua capacidade. O desempenho é medido visando a alta oferta de passagens que possibilitem atender a demanda dos compradores, não obstante oferecer serviços que atendam a todas as massas, sem restrições. Seu potencial máximo é visto nos festejos Católicos e no festival de Parintins, alcançando sua melhor fase.

Apesar de o modelo ECD apresentar lacunas e limitações, como a falta de um arcabouço mais instrumental de análise, se mostrou adequado ao mercado fluvial. O Segmento aquaviário misto é pouco eficiente por não apresentar tanto desenvolvimento, o que significa que os proprietários dos barcos/navios atendem à demanda dos passageiros mas não usam todos os recursos disponíveis a fim de suprir suas necessidades, este é um segmento de longo prazo pois suas viagens são mais longas do que se utilizar o segmento de lanchas que é mais eficiente do setor.

REFERÊNCIAS

ANTAQ. **Caracterização da Oferta e da Demanda do Transporte Fluvial de Passageiros e Cargas na Região Amazônica**. UFPA. Belém, 2018. Prod. V.

ARAÚJO, M. P. **Infraestrutura de Transporte e Desenvolvimento Regional: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional**. Tese de Doutorado da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2006.

BASTOS, S. L.; SOUZA, S.D.C. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Aplicação do Modelo ECD para análise do mercado e dos índices CR e HH para avaliação do nível de concentração no segmento de papéis TISSUE no Brasil**. João Pessoa. Paraíba, 2016

BEM, J. S. **Estrutura - conduta - desempenho de mercado das indústrias**. Análise, Porto Alegre, v. 1, n. 5, p. 523 □ 538, 1991.

FERREIRA, Márcio Antônio Couto. **Transporte fluvial por embarcações mistas no Amazonas: uma análise do trecho Manaus-Coari e Manaus- Parintins**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2016. Disponível em: <<http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5238>>. Acesso: 02 setembro 2018.

KUPFER, D; HASENCLEVER, L. **Economia industrial: Fundamentos teóricos e práticos no Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2013. CAP. 4.

KUWAHARA, Nelson. **Planejamento Integrado do Setor de Transporte de Carga na Amazônia: Metodologia de Análise e Hierarquização de Alternativas de Investimentos em Infraestrutura de Transportes**. UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro. 2008.

NOGUEIRA, R.J.B. **Amazonas: um Estado ribeirinho (estudo do transporte fluvial de passageiros e cargas)**. 1994. 151 f. Dissertação (mestrado em Geografia Humana) - Pontifícia

Universidade Católica de São Paulo. São Paulo. 1994

RESENDE, M.; BOFF, H. Concentração industrial. In: KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

SCHERER, F. M.; ROSS, D. **Industrial market structure and economic performance**. 3 ed. Chicago: Rand McNally & Co, 1990.

A INFRAESTRUTURA URBANA DE TRANSPORTES E O AQUECIMENTO GLOBAL: UM ESTUDO SOBRE POSSÍVEIS MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

Berta Castelar Pinheiro

Programa de Engenharia de Transportes, COPPE/
UFRJ Rio de Janeiro – RJ

Suzana Kahn Ribeiro

Programa de Engenharia de Transportes, COPPE/
UFRJ Rio de Janeiro - RJ

RESUMO: O setor de transportes é responsável por uma parcela significativa da contribuição antrópica ao crescente aumento de temperatura da superfície terrestre. Ainda que a emissão de gases de efeito estufa seja a principal fonte de impacto do setor as mudanças climáticas, esta não é a única. Este artigo analisa o impacto da infraestrutura urbana do setor de transportes no aquecimento global desenvolvendo um estudo de caso da cidade do Rio de Janeiro. Paralelamente à análise dos impactos de sua infraestrutura, o estudo apresenta medidas mitigadoras como técnicas de geoengenharia e o planejamento urbano integrado ao sistema de transportes como formas de minimizar os impactos do setor de transportes nas mudanças climáticas.

URBAN TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND GLOBAL WARMING: A STUDY ABOUT MITIGATION POLICIES

ABSTRACT: The transport sector is

responsible for a significant portion of the anthropic contribution to the rising temperature of the earth's surface. While greenhouse gas emissions are the industry's main source of climate change impact, it is not the only source. This paper analyzes the impact of urban transport infrastructure on global warming by developing a case study of the city of Rio de Janeiro. Parallel to the analysis of the impacts of its infrastructure, the study presents mitigating measures such as geoengineering techniques as ways to minimize the impacts of the transport sector on climate change.

1 | INTRODUÇÃO: CIDADES E AQUECIMENTO GLOBAL

As mudanças climáticas são um dos problemas ambientais mais complicados e desafiantes do nosso tempo. A importância das cidades como agentes impactantes no aquecimento global, já é amplamente reconhecida por toda comunidade acadêmica. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014c), parcela significativa das emissões de gases poluentes está ligada as cidades. O aumento maciço da população urbana irá implicar no aumento da demanda por infraestrutura, transporte e

energia, que são importantes vetores de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Desta forma, tal tendência de urbanização sugere que as áreas urbanas serão uma parte ainda mais importante das emissões globais.

O IPCC (2014a) aponta dois fatores que dificultam a determinação da contribuição das cidades as mudanças climáticas: a complexidade de delimitar as emissões das fronteiras urbanas e rurais e a grande restrição de dados sobre as emissões urbanas de gases de efeito estufa. Somam-se a estes, segundo Dodman (2009), a ausência de uma métrica padrão para o desenvolvimento de inventários na escala de cidades, como ocorre no caso dos inventários nacionais. Desta forma, os inventários de emissões em diferentes cidades podem utilizar diferentes metodologias, diferentes fronteiras espaciais e funcionais além de incluir diferentes atividades. Essa falta de padrão provoca diferenças diretas em sua elaboração o que não permite a análise e comparação direta entre eles (HOORNWEG et al, 2011 e IPCC, 2014a).

Dentre as atividades urbanas que mais contribuem para as emissões antrópicas de gases de efeito estufa, está o setor de transportes. Segundo o último relatório do IPCC (IPCC, 2014c), o setor de transporte é responsável por 27% da utilização final de energia global, das quais em torno de 70% são provenientes de combustíveis fósseis não renováveis, com alto nível de emissão de GEE. O relatório apontou também, que em 2010 o setor de transportes foi responsável pela emissão de 6,7 GtCO₂, dos quais 40% foi utilizado apenas no transporte urbano. Segundo o documento, as emissões de GEE do setor mais que duplicaram desde 1970 e a menos que haja uma grande mudança nos padrões do uso de energia, o consumo de energia do setor de transportes em 2030 será 80% maior do que atualmente.

Cada modal do setor de transporte apresenta uma intensidade energética específica. Isto é, alguns modais são mais intensivos em energia que outros. Segundo a Agencia Internacional de Energia (IEA, 2018) essa dependência de um único tipo de combustível, o derivado do petróleo, é uma particularidade negativa do setor de transporte. Segundo a autora, outros tipos de combustível que não os derivados de petróleo são os dutos, que usam o gás natural para acionar os compressores, e o transporte ferroviário e metroviário, que utiliza a eletricidade. Segundo o IPCC (2014b), mais de 53% do consumo de petróleo primário global em 2010 foi usado para atender 94% da demanda total de energia de transporte. Os restantes 6% foram supridos por outras fontes, como os biocombustíveis, eletricidade, gás natural e outros.

1.1 Infraestrutura de Transporte Urbana e o Aquecimento Global

Os impactos do setor de transportes oriundos do elevado consumo de energia são atualmente amplamente discutidos pela literatura científica. No entanto, este trabalho mostra uma percepção diferenciada da contribuição do setor de transportes no aquecimento global: o impacto de sua infraestrutura urbana. A infraestrutura

urbana de transportes é caracterizada essencialmente pelo uso de materiais de superfícies escuras, como o concreto e o asfalto. O uso destas superfícies retém calor em forma de radiação solar, aquecendo a superfície terrestre e contribuindo para o aquecimento global.

A porção de radiação refletida por uma superfície é determinada pelo seu albedo. O albedo de uma superfície é caracterizado pela razão entre a radiação incidente e a radiação refletida. Portanto, quanto menor o albedo da superfície mais radiação ela retém e maior é o calor transmitido para o ambiente ao redor (Gartland, 2010). Desta forma, este estudo mostra que o uso de materiais escuros como concreto e asfalto nas vias e estacionamentos das cidades aumenta a retenção da radiação solar na superfície terrestre e conseqüentemente o calor na atmosfera terrestre. Apesar desta retenção de calor atualmente não ser caracterizada como de extrema importância, o crescente aumento das áreas urbanas traz a tal fato um sentido de alerta. Segundo IPCC (2014a), a estimativa é que a população urbana aumente em 1 milhão de habitantes a cada 13 anos. Com esse crescimento, é de se esperar que tanto as emissões de GEE quanto o impacto proveniente da infraestrutura urbana se tornem cada vez mais significativos.

Nesta linha, a tendência de crescimento urbano de 6 bilhões moradores em centros urbanos (ONU, 2014), resultaria na duplicação do espaço atualmente ocupado pelas cidades na superfície terrestre. Ainda que esta porcentagem pareça simbólica em relação ao todo, ressalta-se que os continentes ocupam 21% da superfície terrestre e isso inclui as áreas de rios, lagos, desertos, florestas, etc. Desta forma, o impacto da substituição de superfícies de áreas verdes para superfícies escuras, como telhados e a infraestrutura urbana de transportes (pavimentos) irá provocar um aumento na absorção de energia e conseqüentemente um desequilíbrio cada vez maior no balanço de radiação.

Como aponta Akbari et al (2007) as áreas urbanas são constituídas em sua maioria (60%) de área construída, onde os telhados representam em torno de 20-25% e as vias e pavimentos correspondem, em média, por 40%. A tabela seguir apresenta alguns exemplos de ocupação das superfícies urbanas em algumas áreas metropolitanas dos EUA. Estas proporções deixam claro que o albedo das áreas urbanas é constituído principalmente de superfícies que possuem um baixo potencial de refletir a radiação recebida e, desta forma se caracterizam como espaços que retém maior quantidade de radiação. Tal fato é analisado também por Menon et al (2010) que afirma que a alteração da cobertura da superfície por materiais de baixo albedo provoca muitas vezes um balanço de radiação da área urbana diferentes daquelas ao seu redor.

Área Metropolitana	Vegetação	Infraestrutura de transportes (pavimentos)	Telhados	Outros
Salt Lake City	33,3	36,4	21,9	8,5
Sacramento	20,3	44,5	19,7	15,4
Chicago	26,7	37,1	24,8	11,4
Houston	37,1	29,2	21,3	12,4

Tabela 1: Ocupação da área urbana em regiões metropolitanas - EUA

Fonte: Rose (2003) apud Akbari (2008)

Ainda que não haja, dentro do referencial teórico analisado, material específico relacionado exclusivamente ao impacto da infraestrutura de transportes, esta ocupa a maior parte da área construída das cidades (Akbari et al, 2007). Segundo o relatório da UN-Habitat, as porcentagens da área das cidades destinadas às vias urbanas variam conforme o nível de desenvolvimento das mesmas. Ou seja, cidades em países mais desenvolvidos tendem a ter maior área ocupada pela infraestrutura do setor de transportes quando comparadas a cidades em países em desenvolvimento.

No caso da cidade do Rio de Janeiro, como será apresentado no estudo de caso a porcentagem de vias urbanas é similar a aquelas dos países em desenvolvimento. Em contrapartida, em cidades como Paris e Tóquio, cidades desenvolvidas, as vias ocupam respectivamente 25% e 24% do espaço total das cidades. Um relatório publicado pela UN-Habitat (2013) analisa as áreas alocadas para vias em 100 cidades de países desenvolvidos (Europa, América do Norte e Oceania) e em desenvolvimento (África, Ásia e América Latina), ressaltando-se alguns exemplos de cidades de países desenvolvidos como Barcelona - 33%, Toronto- 29%, Bruxelas - 26%, e países em desenvolvimento como Guatemala- 13%, Jakarta- 9,5%, Singapura - 22%.

2 | ESTUDO DE CASO DO IMPACTO DA INFRAESTRUTURA URBANA DE TRANSPORTES NO RIO DE JANEIRO

A participação da infraestrutura urbana de transportes na contribuição antrópica do aquecimento global foi calculada partindo da premissa de que o equilíbrio do sistema climático é baseado no equilíbrio entre a radiação solar que entra na superfície terrestre e a radiação refletida de volta para a atmosfera. Desta forma, quaisquer fatores que interfiram nesse equilíbrio contribuem para o aquecimento, se aumentarem a quantidade de radiação retida na superfície terrestre ou para o esfriamento, caso contrário.

Para identificar o impacto da infraestrutura urbana de transportes da cidade do Rio de Janeiro no aquecimento global, foi realizado um estudo de caso calculou o total de radiação solar absorvida por estas superfícies. Cabe mencionar, que esta pesquisa considerou apenas as áreas de vias urbanas na avaliação do impacto. A

metodologia usada foi dividida em três partes principais, que são aqui apresentadas separadamente. A primeira delas foi o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para calcular as áreas de vias totais na cidade do Rio de Janeiro. A segunda parte foi baseada na revisão da literatura para calcular a radiação solar absorvida pela superfície asfáltica. A terceira parte foi baseada nas informações adquiridas de área total de vias urbanas e da radiação absorvida por estas superfícies.

Etapa 1:

Os dados geográficos utilizados neste estudo foram disponibilizados pelo Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP) e foram trabalhados no software ArcGIS 10.2. Estes dados foram as ortofotos (fotos corrigidas de todas as deformações presentes nas fotografias aéreas) da cidade do Rio de Janeiro do ano de 2015 e o mapeamento das áreas quadras para a mesma localização. A sobreposição destas duas informações neste software permitiu a análise do sistema viário na cidade, garantindo um alto grau de confiabilidade sobre o cálculo total da área ocupada por vias na cidade.

O mapeamento das áreas de quadras da cidade do Rio de Janeiro foi realizado pela primeira vez em 1997 e atualizado para algumas regiões do município nos anos 2000 e 2013¹. Ao identificar somente as quadras urbanas em relação a área total do município, esse mapeamento identificou por exclusão, as áreas de via na cidade. Ou seja, apesar de algumas aproximações como canteiros centrais, dentre as áreas não mapeadas a maioria expressiva é ocupada por áreas de vias destinadas principalmente ao transporte motorizado. A figura a seguir apresenta espacialmente o mapeamento das áreas de quadra, partindo de uma apresentação geral da cidade do Rio de Janeiro para um enfoque em uma zona específica. A figura em seguida, apresenta um enfoque mais detalhado, identificando as vias na imagem superior e as áreas de quadra na imagem inferior.

¹ Este estudo considerou os mapeamentos do uso do solo realizados até o ano de 2016, quando foi desenvolvido.



Figura 1: Identificação das áreas de vias na cidade do Rio de Janeiro – Enfoque abrangente
Fonte: Elaboração das autoras com base em Armazém de Dados IPP



Figura 2: Identificação das áreas de vias na cidade do Rio de Janeiro – Enfoque localizado
Fonte: Elaboração das autoras com base em Armazém de Dados IPP

Conforme apresentado a área de quadra total utilizada neste estudo de caso considera informações de três anos distintos (1997, 2000 e 2013). Para que fosse possível utilizar as informações dos mapeamentos mais atualizadas sempre, foram realizados três procedimentos no software ArcGis. Primeiro foi utilizada a ferramenta *Erase*, para identificar as áreas que não atualizaram o mapeamento em 2013. Em seguida, a ferramenta *Merge*, para unificar as informações das áreas de quadras dos anos de 1997/2000 e 2013. Por fim, a ferramenta *Erase* foi novamente aplicada para identificar a área de via total a partir do mapeamento unificado das áreas de quadra dos anos 1997/2000 e 2013. Todos os três procedimentos foram repetidos sete vezes, onde os resultados apresentados foram sempre os mesmos, o que garantiu a confiabilidade do resultado aqui apresentado.

O resultado apontou que as vias ocupam um total de 113 km² da cidade do Rio de Janeiro. Tal valor corresponde a aproximadamente 9,3% do território total, número menor do que a média dos países em desenvolvimento. Neste momento, é importante considerar as características geográficas da cidade diversos acidentes geográficos como maciços, baías, restingas, etc. Desta forma, foi identificado a partir da análise do mapeamento de uso do solo na cidade que no município do Rio de Janeiro aproximadamente 640 km² da cidade do Rio de Janeiro são áreas não urbanizadas, enquanto a área urbanizada é de aproximadamente de 580 km².

Portanto, ao considerar apenas a área construída da cidade, a área destinada a vias ocupa um percentual de aproximadamente 19,4% do total. Isto é, dos 580 km² de área urbanizada na cidade, 113 km² são destinados a vias urbanas. Resultado similar ao esperado a partir do relatório da UN- HABITAT (2013).

Etapa 2: A etapa seguinte consistiu em calcular a radiação solar absorvida pelas vias da cidade do Rio de Janeiro. Este cálculo foi baseado no potencial de albedo das superfícies de concreto e asfalto. Cabe aqui lembrar, que o albedo é o resultado da razão entre a radiação refletida e a radiação incidente, como mostra a equação 1 (Callegare et al, 2016). Nesta mesma linha, D'Angiolella et al (2001) aponta que a radiação absorvida por um material pode ser calculada conforme mostra a equação 2 a seguir, onde Q_a é Radiação absorvida e r é o albedo da superfície.

Equação 1: Equação do Albedo e Fatores Envolvidos

$$A = R_r/R_i$$

A: Albedo R_r : Radiação refletida R_i : Radiação incidente

Fonte: Callegare et al, (2016)

Equação 2: Radiação absorvida por uma determinada superfície

$$Q_a = \text{Incidência Solar} (1 - r)$$

Fonte: D'Angiolella et al (2001)

Sendo assim, para calcular a radiação absorvida pela superfície de via no Rio de

Janeiro, foram necessárias duas informações principais: a radiação solar incidente e o potencial de albedo da superfície das vias.

A radiação solar incidente na superfície terrestre é determinada por diversos fatores relacionados a condições atmosféricas e a características como a latitude do local e a posição no tempo (hora do dia e do ano) (Pereira et al, 2006). No caso das condições atmosféricas, destaca-se a participação da atmosfera, que absorve parte da radiação recebida e das nuvens e aerossóis que ao contrário refletem parte desta radiação. Desta forma, ainda que a incidência de radiação global média seja de aproximadamente 342 W/m², apenas aproximadamente 198 W/m² atingem a superfície terrestre (IPCC, 2007).

Atualmente, diversos estudos já analisam a incidência de radiação solar no Brasil, como é o caso do Atlas Solarimétrico do Brasil (Tiba, 2000) e o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al, 2006). Estes estudos apresentam o cálculo específico da radiação solar incidente no país em todos seus estados, em diferentes épocas do ano. A partir destes estudos, considerou-se que a incidência de radiação solar média na cidade do Rio de Janeiro é de 215 W/m². Cabe aqui mencionar, que estes estudos têm como principal objetivo a análise do potencial de energia solar do território, e por isso apresentam a incidência de radiação medida em unidade de energia (Wh/m²), diferente da unidade utilizada pelo IPCC para assuntos relacionados ao aquecimento global (W/m²).

Radiação solar global diária - média anual -Rio de Janeiro

Atlas Solarimétrico (CRESEB, 2000)	5160 Wh/m ²
Aneel (2002)	5100 a 5300 Wh/m ²
Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006)	5250 Wh/m ²

Tabela 2: Valores médios de radiação solar no Estado do Rio de Janeiro

Fonte: Elaboração das autoras com base nos estudos apresentados

Em relação a outra variável, o albedo da superfície pode-se dizer que a Terra é capaz de refletir em média 30% da radiação solar que ela recebe. Ou seja, o albedo do planeta terra é de 30%. Ainda que a maior parte deste potencial esteja relacionado ao albedo das nuvens, controlar o albedo da superfície terrestre é de extrema importância para o controle da temperatura global. Isto porque, como o IPCC (2007) aponta, uma diminuição de 1% no albedo planetário é equivalente a dobrar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, e poderia aumentar a temperatura da superfície em até 1°C. Ressalta-se novamente que albedo das áreas urbanas é baixo, principalmente quando comparado, por exemplo, ao potencial de reflexão de gramados/ áreas rurais (Angelini et al, 2015). Segundo Alves e Vecchia (2012) estes valores variam de 14-18 e 15-30 respectivamente.

Neste estudo, o potencial de reflexão considerado para a superfície asfáltica foi de 15%, uma média dos valores apontados na literatura sobre o tema (Cueto et al, 2015; Oke, 1987; Kruger, 2016). Isto porque, ao considerar os diferentes fatores que influenciam o albedo de uma superfície para determinar o albedo específico da cidade do Rio de Janeiro seriam necessárias aplicações que não abrangem o escopo deste trabalho. Não foi encontrado também na literatura científica nenhum estudo que reportasse tal valor.

Os resultados das variáveis necessárias para o cálculo do impacto da infraestrutura urbana de transporte usadas neste estudo de caso estão apresentados na tabela 3. Em seguida, são apresentadas as equações que originaram os cálculos que serão aqui apresentados. Cabe mencionar que o albedo da superfície asfáltica e a incidência de radiação solar no Rio de Janeiro são valores aproximados baseados nas referências apresentadas anteriormente.

Absorção de radiação por uma superfície (A):	Incidência Solar (1 - r)
Incidência solar no Rio de Janeiro (i):	215 W/m ²
Albedo superfície asfáltica (r):	0,15
Área de via da cidade do Rio de Janeiro (T):	113 km ²

Tabela 3: Elementos para o cálculo de absorção das vias urbanas na cidade do Rio de Janeiro

Fonte: Elaboração das autoras com base nos estudos apresentados

Equação 1: Equação da absorção de radiação solar pela superfície asfáltica no município do Rio de Janeiro

$$A = (1 - r), \text{ ou seja:}$$

$$A_a = 215 (1 - 0,15)$$

Equação 2: Equação da absorção de radiação solar total pela superfície asfáltica no município do Rio de Janeiro

$$A = (1 - r) * T, \text{ ou seja:}$$

$$A_{\text{at asfáltica}} = 215 (1 - 0,15) * 113 \times 10^6$$

Assim, tem-se que a radiação solar absorvida pela superfície de via no Rio de Janeiro é de aproximadamente 183 W/m². Isto significa dizer, que dos 215 W/m² de radiação solar recebida esta superfície reflete apenas 32 W/m². Ao realizar os cálculos com base na área de vias total na cidade, conclui-se que estas superfícies absorvem um total de 20.701 MW/m². Isto é, dos 24.321 MW/m² de radiação solar que as vias urbanas cariocas recebem, elas refletem apenas em torno de 3.620 MW/m².

3 | POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO AO IMPACTO DA INFRAESTRUTURA URBANA DO SETOR DE TRANSPORTES NO AQUECIMENTO GLOBAL

As políticas de mitigação da infraestrutura de transportes urbana que aqui são apresentadas abordam o impacto desta no aquecimento global a partir da diminuição do potencial de reflexão provocado por seus principais materiais, o asfalto e o concreto.

As medidas de aumento do potencial de reflexão dos materiais urbanos, entre eles o concreto e o asfalto, são classificadas como medidas técnicas de gerenciamento da radiação solar, dentro de um conjunto de práticas de combate as mudanças climáticas, chamado de geoengenharia. Segundo Scheneider (1996), a geoengenharia é a manipulação intencional e em larga escala do meio ambiente que tem como objetivo a redução das mudanças climáticas antropogênicas indesejadas. Ou seja, a geoengenharia busca reverter alguns aspectos das mudanças climáticas provocados pelo homem através de esquemas de modificação intencional do clima (Martins, 2009).

Um exemplo de medidas de geoengenharia são as técnicas de gerenciamento da radiação solar (SRM, sigla em inglês) baseadas em modificações na superfície, na troposfera, na atmosfera e no espaço. Considerando o objetivo deste trabalho, os métodos apresentados são focados nas modificações na superfície terrestre construída. A tabela a seguir apresenta algumas medidas de geoengenharia propostas por diferentes estudos que, ainda que em sua maioria apresentem medidas e resultados referentes à infraestrutura urbana em geral, ressalta-se novamente a grande parcela das cidades ocupadas por vias e pavimentos evidenciada na seção anterior.

Autores	Medidas	Resultados e observações
Myhre e Myhre (2003); Foster et al (2007);	Aumento de 0.01 no albedo da superfície	Uma redução no forçamento radiativo entre 0,53 e 1,2 Wm ⁻²
Campra et al (2008)	Aumento de 0.09 no albedo da superfície de uma região espanhola	Aumento da forçante negativa em uma média de 19,8 Wm ⁻²
Lenton e Vaughan (2009)	Aumento do albedo das áreas urbanas	Para uma área urbana de 15x10 ¹² m ² , estimou-se um forçamento radiativo negativo de -0.047Wm ⁻²
Akbari et al (2009) /	Manutenção de telhados e pavimentos em zonas tropicais e temperadas Pavimentos capazes de aumentar a reflexão solar em 0.15	Efeito global no forçamento radiativo de compensar 44 Gt de CO2 emitidos Compensação de 0,04 toneladas de CO2 equivalente por m ⁻²
Menon et al (2010)	Aumento do albedo dos telhados em 0.25 e dos pavimentos urbanos em 0.15	Aumento de aproximadamente 0.5Wm ⁻² no potencial de energia refletida. Compensação equivalente a 57 Gt de CO2 emitidos

Tabela 4: Estudos sobre políticas de mitigação ao impacto da infraestrutura urbana no aquecimento global

Fonte: Elaboração das autoras com base nos autores citados

Um caminho interessante para aumentar o potencial de reflexão de radiação das áreas urbanas é a construção das chamadas infraestruturas verdes. Segundo a EPA (2018) a infraestrutura verde usa vegetação, solos e processos naturais para criar ambientes urbanos mais sustentáveis podendo variar em escala como projetos locais – jardins e telhados verdes – ate regionais – como conservação de parques. Adicionalmente, a infraestrutura verde proporciona as cidades um potencial significativo de adaptação as mudanças climáticas podendo minimizar, por exemplo, o risco de enchentes através do melhor escoamento das aguas pluviais e o aumento da temperatura local, caracterizado pelas ilhas de calor (UK, 2010; Jones, 2014; Matthews et. Al, 2019)

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas são uma realidade. O aquecimento global é um dos efeitos destas mudanças, caracterizado pelo aumento nas temperaturas médias da superfície terrestre ocasionado pelo desequilíbrio no balanço de radiação (IPCC, 2007). Os impactos deste aquecimento são em parte, ainda desconhecidos, devido principalmente a grande complexidade do sistema climático. Ressalta-se aqui a grande participação do setor de transportes urbano, responsável por aproximadamente 1/3 da utilização final da energia global, das quais 71% são provenientes de combustíveis fósseis não renováveis, com alto nível de emissão de GEE (IEA, 2008).

O impacto das cidades no aquecimento global atualmente está sendo discutido também sobre uma nova perspectiva, a de sua infraestrutura urbana. Materiais urbanos comuns possuem um baixo albedo, isto é, uma baixa capacidade de refletir a radiação solar incidente. Tem-se que as áreas urbanas refletem, em média, 14-18% da radiação incidente, enquanto o albedo médio terrestre é de 30%. Ou seja, os centros urbanos retêm uma porção maior de radiação solar do que a média global. A radiação solar retida na superfície é transformada em calor, o que provoca o aquecimento das temperaturas na superfície terrestre.

Com base no referencial teórico apresentado e discutido assim como no estudo de caso realizado, este trabalho mostrou uma perspectiva mais ampla do impacto do setor de transportes nas mudanças climáticas através de como as superfícies urbanas da infraestrutura de transportes influenciam o balanço de radiação do sistema climático. No tocante as limitações deste trabalho, destaca-se inicialmente que ele não aborda os impactos ambientais oriundos da elaboração da sua infraestrutura propriamente dita. Isto é, não contabiliza, por exemplo, os impactos da matéria prima utilizada, do consumo de água e energia, as emissões de CO₂ relacionadas ao processo produtivo e a produção de resíduos.

Este trabalho também apresentou limitações relacionadas ao cálculo dos benefícios proporcionados pelas medidas de mitigação oriundas da alteração dos materiais urbanos. Apesar de apontar o benefício significativo destas práticas de mitigação na literatura científica sobre o tema, o estudo não consegue contabilizar este benefício em temperatura. Desta forma, percebe-se uma dificuldade de quantificar estes melhoramentos em uma linguagem usual, capaz de facilitar o entendimento quando comparado a outras práticas de mitigação.

Por fim, o trabalho mostrou que o impacto do setor de transportes no aquecimento global é maior do que aquele contabilizado principalmente através do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa.

Ao destacar que este impacto tende a se tornar cada vez mais significativo ao considerar o crescimento dos centros urbanos, o trabalho destaca a necessidade de a comunidade acadêmica aprofundar o conhecimento acerca do impacto da infraestrutura urbana no aquecimento global assim como das suas possíveis

alternativas de mitigação.

REFERÊNCIAS:

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2012). Energia Solar do Brasil. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**. Brasília : ANEEL, 2002, cap. 3.

AKBARI, Hashem; Menon, Surabi; Rosenfeld, Arthur. **Global Cooling: Effect of Urban Albedo on Global Temperature**. In: 2nd PALENC & 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, 2007. Disponível em: < http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5CPalencAIVC2007%5CVolume1%5CPalencAI VC2007_002.pdf>. Acesso em 7 ago. 2016.

AKBARI, Hashem; ROSE, L **Urban Surfaces and heat island mitigation potentials**. *Journal Human-Environment*, vol. 11, n. 2, p. 85-101, jan. 2008. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/255203530>> Acesso em 13 mai. 2016.

AKBARI, Hashem; MENON, Surabi; ROSENFELD, Arthur. **Global cooling: Increasing world-wide urban albedos to offset CO2**. *Climatic Change*. v, 95. n, 3-4, p.1-12, jun. 2009. Disponível em:< <http://www.energy.ca.gov/2008publications/CEC-999-2008-020/CEC-999-2008-020.PDF>>. Acesso em 7 set 2016.

ALVES, L. D. Elis; VECCHIA, S. A. Francisco. **Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental**. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 8, n. 1, p. 102- 111, abr./2012.

ANGELLINI, P. Lucas et al. **Relação entre albedo e temperatura da superfície estimados por sensoriamento remoto na área urbana de Cuiabá, Mato Grosso**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVII, 2015. João Pessoa: INPE, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0377.pdf>>. Acesso em 22 jul. 2016.

CALLEGARE, O. Andyara et al. **Estudos sobre o albedo em diferentes tipos de superfície**. *Energias Renováveis*, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://energiasrenovaveisunisanta.files.wordpress.com/2016/03/estudo-sobre-o-albedo-em-diferentes-tipos-de-superf3adcie.pdf>>. Acesso em 18 set. 2016.

CAMPRA, Pablo et al. **Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain**. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, n. D18, p. 1- 10, set. 2008. Disponível em:< <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008JD009912/pdf>>. Acesso em 25 ago 2016.

CUETO, G. Rafael et al. **Parameterization of net radiation in na arid city of northwestern Mexico**. *Atmosfera*, [s.l.] v. 28, n. 2, p. 71-82, jan 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/atm/v28n2/v28n2a1.pdf>> Acesso em 04 nov. 2016

D'ANGIOLLA, G. et al. **Radiação: Estudos das características e suas aplicações no Recôncavo Baiano**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. Anais., Fortaleza:Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Fundação Cearense de Meteorologia, 2001.

DODMAN, David. **Blaming cities for climate change? An Analysis fo urban greenhouse gas emissions inventories**. *Environment & Urbanization*. v. 21, n. 185, abr, 2009. Disponível em:< <http://eau.sagepub.com/content/21/1/185.full.pdf+html>>. Acesso em 21 set. 2016

EPA. **Green Infrastructure and Climate Change: Collaborating to improve community resilience**. 2016. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/gi_climate_

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

HEBBERT, Michael; JANKOVIC, Vladimir. **Cities and Climate Change: The Precedents and Why They Matter**. *Urban Studies – Special Issue*, v. 50(7), p. 1332-1347, mai. 2013. Disponível em: <<http://usj.sagepub.com/content/50/7/1332.full>>. Acesso em 13 out. 2016

HOORNWEG, Daniel; SUGAR, Lorraine; GÓMEZ, Claudia. **Cities and greenhouse gas emissions: moving forward**. Environment & Urbanization. 2011

IEA. **World Energy Outlook**, Paris, 2008.

IEA. **Use of energy explained** 2018. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/transportation.php>

IPCC. *Summary for Policymakers*, In: Climate Change 2007: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 2007

IPCC. **Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning**. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge e Nova York. 2014a

IPCC. *Transport*. In: Climate Change 2014: **Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge e Nova York, 2014b.

IPCC. **Summary for Policymakers**, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge e Nova York, 2014c.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS (IPP). **Mapoteca – Uso do solo município do Rio de Janeiro** (2013). Disponível em: <http://pgeo/amdpaint.asp?gtema=12>. Acesso em ago 2016.

Jones, Sarah; Somper, Carol. **The role of green infrastructure in climate change adaptation in London**. The Geographical Journal. doi: 10.1111/geoj.12059. 2014.

KRUGER, L. Eduardo; GONZALEZ, G. Dominique. **Impactos da alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos**. *Ambiente construído*, vol. 16, n. 3, p. 89-106, set. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300094>> Acesso em 3 out 2016.

LENTON, M. Tim, VAUGHAN, Naomi. **The radiative forcing potential of different climate geoengineering options**. *Atmospheric Chemistry and Physics Cycle*, vol. 15, n. 9, p. 891-908, jan. 2009. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/9/5539/2009/acp-9-5539-2009.pdf>>. Acesso em 1 set. 2016.

MATTHEWS, Tony; Lo, Alex; Byrne, Jason. **Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers and drivers for uptake by spatial planners**. *Landscape and Urban Planning Journal*. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.010. 2019

MATOS, Laura B Rego de. **A importância do setor de transportes na Emissão de Gases de Efeito Estufa**. 2001. 179 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE - Universidade Federal

do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MARTINS, R. Fernando et al. **Mapeamento dos recursos de energia solar no Brasil utilizando modelo de transferência radiativa Brasil - SR.** In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 1., 2007, Fortaleza. Anais eletrônicos, Fortaleza: ABENS, 2007. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/eventos/CBENS2007_FernandoRMartins_etal.pdf>. Acesso em 12 out. 2016.

MENON, Surabi, et al. **Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO2 offsets.** *Environmental Research Letter*. vol. 5, n 1, p 1- 11, jan. 2010. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/5/1/014005/pdf>>. Acesso em 24 ago. 2016.

MYHE, Gunnar; MYHRE, Arne. **Uncertainties in radiative forcing due to surfasse albedo changes caused by land- use changes.** *Journal of Climate*, v. 50, p. 141-154, out. 2011. Disponível em:<https://www.academia.edu/20413563/Long-term_hydrothermal_performance_of_white_and_black_roofs_in_North_American_climates?auto=download>. Acesso em 21 ago. 2016.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** 2 ed., Inglaterra: Taylor & Francis Group, 1987.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **World Urbanization Prospects-The 2014 Revision.** Nova Iorque, 2014. 32 p.

PEREIRA, B. Enio; et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos, SP: INPE, 2006.
SCHNEIDER, S. H. **Geengineering: Could – or should – we do it?.** *Climatic Change*, v. 33, n. 3, p. 291-302, jul. 1996. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00142577>>. Acesso em 04 nov. 2016.

TIBA, Chigueru, et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil.** Recife, PE: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111p. UK, 2010. Green Infrastructure Combat Climate Change. 39 pp. Disponível em: https://www.greeninfrastructurenw.co.uk/resources/GI_and_CC_Action_Plan_Consultation_Draft_02.09.10.pdf

UN-HABITAT. **Streets as public spaces and drivers of urban prosperity.** Nairobi, 2013. 168 p.

A CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS METROVIÁRIOS PARA O ATINGIMENTO DAS METAS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA – ESTUDOS EM METRÔS DO BRASIL E DE PORTUGAL

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

Universidade Federal de Goiás (UFG)

Faculdade de Ciência e Tecnologia

(FCT) – Engenharia de Transportes

Aparecida de Goiânia – GO

Márcio de Almeida D’Agosto

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de

Transportes (COPPE/PET)

Rio de Janeiro – RJ

RESUMO: O aumento das emissões de gases do efeito estufa pode provocar prejuízos ambientais ao planeta. O setor de transportes é responsável por uma parcela significativa das emissões globais, basicamente através do consumo de combustíveis fósseis e da geração da eletricidade. Os governos buscam alternativas para minimizar o aumento das emissões, inclusive algumas grandes cidades criaram metas específicas de reduções das emissões. Os sistemas metroviários, por se tratarem de sistemas a base de energia elétrica, geralmente emitem menos do que outros meios de transportes de passageiros, a base de combustíveis fósseis. Este trabalho visa apresentar o conceito de emissões evitadas pela existência do sistema metroviário, analisando os resultados encontrados em estudos de casos em cidades do Brasil e de Portugal. Com

isso, foi possível verificar a real contribuição dos sistemas metroviários para o atingimento das metas de reduções das grandes cidades.

PALAVRAS-CHAVE: emissões evitadas, redução das emissões, sistemas metroviários, emissões de CO₂, GEE.

THE CONTRIBUTION OF SUBWAY SYSTEMS TO MEET GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION TARGETS - STUDIES IN SUBWAYS OF BRAZIL AND PORTUGAL

ABSTRACT: Increasing greenhouse gas emissions can cause environmental damage to the planet. The transport sector is responsible for a significant share of global emissions, primarily through fossil fuel consumption and electricity generation. Governments are looking for alternatives to minimize emissions growth, including some major cities have set specific emission reduction targets. Subway systems, as they are electricity-based systems, generally emit less than other fossil fuel-based passenger vehicles. This paper aims to present the concept of emissions avoided by the existence of the subway system, analyzing the results found in case studies in cities in Brazil and Portugal. With this, it was possible to verify the real contribution of the subway systems to reach the reduction targets of the big cities.

KEYWORDS: avoided emissions, emission reduction, subway, metro, CO₂ emissions.

1 | INTRODUÇÃO

As emissões de gases do efeito estufa (GEE) pelo setor de transportes respondem por aproximadamente 25% do total das emissões do planeta (IEA, 2009). Em diversos países do mundo representa o principal setor responsável pelas emissões, como ocorre no Brasil e em Portugal, que contam com uma importante participação do setor de transportes no total da energia consumida, com 30% no Brasil (EPE, 2012) e 40% em Portugal (AGENEAL, 2005). O dióxido de carbono (CO₂) é o principal gás do efeito estufa, sendo usualmente utilizada a medida dióxido de carbono equivalente (CO₂e) nas medições de emissões de GEE.

A emissão de GEE por passageiro-quilômetro pelos sistemas metroviários, movidos a eletricidade, geralmente é menor do que as emissões de outros meios de transportes de passageiros do modo rodoviário, como os automóveis, ônibus, vans e motocicletas, que utilizam diretamente combustíveis fósseis. O setor de transportes de uma grande cidade produziria maior emissão caso seus passageiros não dispusessem dos metrô, acarretando a necessidade da população utilizar com maior intensidade, na realização de suas viagens, os meios de transportes de passageiros do modo rodoviário.

Além disso, sem a operação dos metrô, haveria um maior número de veículos do modo rodoviário circulando nas ruas, o que aumentaria ainda mais os congestionamentos no trânsito, crescendo o consumo e a queima dos combustíveis fósseis, produzindo, dessa forma, uma maior emissão total de GEE.

Atualmente, a consciência ambiental cresce em todo mundo. Os governos têm criado políticas de estímulo à redução das emissões de GEE nas grandes cidades, estabelecendo planejamentos e metas de redução nesse sentido. A cidade de Londres, por exemplo, estabeleceu um programa de redução das emissões de GEE, estipulando uma meta de 60% na redução das emissões até 2025, tendo como base o ano de 1999 (LU, 2009).

Nas cidades com grandes densidades demográficas, a operação ou implantação de um sistema metroviário é normalmente avaliada como uma solução de transporte de alta capacidade, com menor impacto nas emissões de GEE. Além de seus benefícios característicos, como regularidade, rapidez e confiabilidade, poderia a operação de um metrô contribuir para que as grandes cidades alcancem seus objetivos de redução de emissão de GEE? Em que proporção?

O objetivo deste trabalho é analisar o impacto na emissão de GEE pelo setor de transportes de uma região em função da operação do metrô, analisando como, e em que proporção, esses sistemas poderiam contribuir para o atingimento das metas de redução das emissões estabelecidas. Diferentes estudos realizados em todo o mundo estimaram a emissão evitada pelo fato de sistemas metroviários terem sido implantados e disponibilizados aos usuários, permitindo que os mesmos deixassem

de utilizar outros meios de transporte de maior emissão. Esse resultado é um indicativo de que os metrô podem ser uma solução de transporte de passageiros que vise à redução das emissões totais do setor de transporte, contribuindo para o atingimento das metas de redução das emissões das grandes cidades.

Para melhor comparação de resultados foram pesquisados sistemas metroviários de países de matrizes elétricas de baixa (Brasil) e alta (Portugal) emissão. No Brasil, a matriz elétrica é predominantemente hidrelétrica, e, em Portugal, as fontes térmicas predominam na matriz elétrica.

A seção 1 constitui-se como uma introdução, onde houve uma breve contextualização do estudo em questão e foi definido o objetivo. A seção 2 apresenta as metas de redução nas emissões de GEE definidas pelos governos de quatro cidades de dois países: Rio de Janeiro e São Paulo, no Brasil e Porto e Lisboa, em Portugal, definindo os conceitos de emissões evitadas pela operação do metrô. A seção 3 apresenta e analisa estudos sobre as emissões evitadas em função da operação dos metrô nessas quatro cidades, detalhando as metodologias adotadas nesses estudos e divulgando os resultados atingidos. A seção 4 realiza uma análise comparativa dos resultados apresentados nos estudos, analisando a contribuição que esses sistemas dão para auxiliar o atingimento das metas de redução. A seção 5 trata das conclusões deste trabalho.

2 | METAS DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE E AS EMISSÕES EVITADAS PELOS METRÔS

O transporte rodoviário é responsável pela maioria das emissões de GEE e terá grande crescimento nos próximos anos, já que a previsão é que a frota global de veículos será multiplicada em 3 ou 4 vezes nas próximas décadas, tendo como base o ano de 2010 (ONU, 2011). Em virtude da necessidade de minimizar o aumento progressivo previsto das emissões de GEE para os próximos anos, diversos governos de cidades, estados e países de todo o mundo vêm estabelecendo metas de redução das emissões.

Ainda que objetivos explícitos de redução não sejam compromissados por governos ou entidades privadas, há um crescente interesse em criar sistemas de transportes sustentáveis, menos poluentes. A implantação, melhoria e maior utilização dos metrô podem contribuir para a redução das emissões, por meio da diminuição do uso do transporte de baixa capacidade, como automóveis particulares, táxis e motocicletas, e do transporte de média capacidade, como os ônibus e vans. Esse conceito é chamado de emissões evitadas pela operação do sistema metroviário.

2.1 As metas de redução das emissões de GEE estabelecidas por governos

Diversos governos estabeleceram objetivos de redução das emissões de GEE. No Brasil, o estado do Rio de Janeiro determinou objetivos de redução de 30% das

emissões entre 2010 e 2030, em relação ao ano de 2010, através do Decreto 43.216 de 30/09/2011, enquanto que o estado de São Paulo aprovou e estabeleceu, através do Decreto 58.107 de 05/06/2012, objetivos de redução de 20% das emissões até 2020, tendo por base o ano de 2005. Em Portugal, a cidade do Porto estabeleceu uma meta de redução de 45% até 2020, em relação a 2004 (ADEPORTO, 2010), enquanto que a cidade de Lisboa estabeleceu meta de 20% de redução entre 2002 e 2020 (LISBOA e-NOVA, 2009).

A emissão de GEE nos metrô acontece basicamente através da geração da energia elétrica necessária para suprir toda a operação dos sistemas, incluindo a energia consumida necessária para prover a força de tração dos trens e o funcionamento dos equipamentos auxiliares das estações. No Metrô do Rio de Janeiro, a emissão pela geração da energia elétrica representou 72% de toda a emissão produzida pela empresa metroviária da cidade do Rio de Janeiro no ano de 2011 (METRÔRIO, 2012).

Analisando os objetivos de redução das emissões do setor de transportes da União Europeia, Nelldal e Andersson (2012) sugerem que a maneira mais eficiente de alcançar essa redução é aumentando a participação do transporte sobre trilhos. Nesse estudo, foi concluído que, com uma realocação de investimentos, seria possível aumentar a participação dos sistemas sobre trilhos no mercado de transporte de passageiros para 29% e diminuir a participação dos automóveis para 61%, permitindo uma redução de 30% nas emissões de GEE de 2010 a 2050.

Em um estudo comparativo de resultados das emissões de GEE em diversos sistemas de transportes de passageiros, concluiu-se que, em todas as abordagens de emissões pelos sistemas de transporte sobre trilhos, estes demonstram que, em geral, constituem uma boa alternativa de transporte de passageiros de baixa emissão em todo o mundo, sendo que os metrô brasileiros apresentam um bom desempenho em termos de emissão de GEE devido à capacidade de atração de usuários e à predominância de fontes hidrelétricas na matriz de geração da eletricidade (Andrade et al., 2013a).

2.2 As emissões evitadas pela operação do sistema metroviário

As emissões evitadas pela operação do sistema metroviário são calculadas, principalmente, através da quantificação do deslocamento de usuários de outros meios de transporte de maior emissão. Esse deslocamento é conhecido como fator “mode shift”, sugerido em estudo da American Public Transportation Association (APTA), envolvendo todo o sistema de transporte público da cidade de Nova Iorque (APTA, 2009), sendo esse conceito amplamente utilizado em estudos específicos para os metrô. A base desse conceito é o fato de que, sem a operação de um sistema metroviário, a cidade teria uma circulação muito maior de outros meios de transportes mais poluentes. Isso produziria por si só, em geral, maior emissão. A

diferença entre a emissão evitada e a produzida fornecerá a emissão evitada líquida.

A APTA também sugeriu o fator “congestion relief”, onde o trânsito, sem a operação ou implantação do sistema metroviário, traria às ruas mais veículos em circulação, aumentando o nível de congestionamento e provocando maior queima de combustíveis fósseis, e, conseqüentemente, aumentando as emissões do setor de transporte de uma região (APTA, 2009).

A determinação da emissão evitada pela operação do sistema metroviário, através da utilização do fator “mode shift”, é a mais usual em estudos já realizados em metrô. Ela consiste na estimativa da emissão de GEE produzida por outros meios de transporte na absorção da demanda diária do metrô. Para isso devem-se obter os dados de qual meio de transporte cada usuário utilizaria se não existisse o sistema, estimando a quantidade de GEE emitida na utilização desses meios de transportes. De acordo com Florida Department of Transportation (FDT) existem 4 formas usuais para se fazer a estimativa das emissões evitadas através da utilização do fator “mode shift” (FDT, 2008):

- a) simular a ausência do metrô em modelos de demanda de viagens.
- b) examinar o comportamento das viagens durante longas interrupções do sistema metroviário, como greves.
- c) pesquisa com os usuários sobre suas preferências de viagens.
- d) uso de um conjunto de padrões baseado no tamanho da população.

É possível estabelecer diferentes metodologias de cálculo para se chegar ao resultado das emissões líquidas evitadas, cujo valor irá depender do que será considerado no cálculo da emissão produzida pelo metrô.

As emissões líquidas evitadas serão determinadas por meio da diferença entre a emissão produzida pelo metrô e a sua emissão evitada. Pode-se concluir, por meio do resultado dessa diferença, se o metrô possui emissão líquida positiva ou negativa. A emissão líquida positiva significa que o sistema produz mais do que evita. A emissão líquida negativa significa que a operação do sistema compensa as emissões produzidas e ainda evita uma determinada quantidade de emissão, que é usualmente quantificada em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e).

A emissão evitada pode ser expressa em forma de toneladas de carbono evitadas para cada tonelada produzida, o que dará uma medida da eficiência de redução de carbono oferecida pelo sistema.

3 | ESTUDOS DE EMISSÕES EVITADAS PELA OPERAÇÃO DE SISTEMAS METROVIÁRIOS DO BRASIL E DE PORTUGAL

Estudos de emissões produzidas e evitadas pela operação de sistemas metroviários foram pesquisados em metrô do Brasil, nas cidades do Rio de Janeiro

e de São Paulo, e em Portugal, nas cidades do Porto e de Lisboa.

3.1 Emissões evitadas pela operação do Metrô do Rio de Janeiro

Esse estudo, publicado por Andrade et al. (2013b), chegou ao resultado das emissões evitadas pela operação do Metrô do Rio de Janeiro no ano de 2011. A metodologia utilizada para calcular o resultado das emissões evitadas considerou apenas a utilização do fator “mode shift” e consistiu em 4 etapas:

Etapa 1: Determinação das escolhas dos usuários por outros meios de transportes (automóveis particulares, táxis, motocicletas, ônibus e vans) que seriam utilizados em caso da ausência do Metrô do Rio de Janeiro, sendo esses dados obtidos através de pesquisa realizada pelo IBOPE diretamente com os usuários do Metrô do Rio de Janeiro.

Etapa 2: Determinação da quantidade de passageiros-km de cada meio de transporte escolhido pelos usuários.

Etapa 3: Determinação da quantidade de veículos-km correspondentes a cada meio de transporte e a cada tipo de combustível utilizado (gasolina, etanol, diesel e gás natural veicular), com as correspondentes quantidades de cada tipo de combustível.

Etapa 4: Determinação da emissão produzida por cada meio de transporte e cada tipo de combustível.

A metodologia utilizada nesse estudo considerou os passageiros-km de cada meio de transporte escolhido pelos usuários relacionado aos horários de picos, admitindo-se, conservadoramente, que, nas demais faixas horárias do dia, a demanda seria absorvida pela capacidade ociosa dos outros meios de transportes, não gerando necessidade de veículos-km adicionais.

As emissões produzidas pelo Metrô do Rio de Janeiro contemplam o resultado das emissões indiretas pelo uso da eletricidade (escopo 2) do inventário de emissões de GEE do Metrô do Rio de Janeiro, do ano de 2011, conforme definido na Norma ISO 14064 (ISO, 2007). A tabela 1 apresenta os resultados obtidos no estudo das emissões evitadas pelo Metrô do Rio de Janeiro no ano de 2011.

Emissões de GEE produzidas, considerando as emissões de toda energia elétrica da empresa metroviária	5.690 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando apenas o fator “ <i>mode shift</i> ”	41.039 tCO ₂ e
Emissões de GEE Líquidas Evitadas	- 35.349 tCO₂e

Tabela 1 Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô do Rio de Janeiro em 2011

Fonte: Andrade *et al.* (2013b) e METRÔRIO (2012)

A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô do Rio de Janeiro indica que, no ano de 2011, para cada tonelada de GEE produzida pelo sistema, considerando toda a geração da energia elétrica desse sistema, cerca de 7 toneladas foram evitadas.

3.2 Emissões evitadas pela operação do Metrô de São Paulo

O Metrô de São Paulo calcula e divulga em seus relatórios de sustentabilidade os resultados das emissões evitadas, contabilizando os benefícios sociais em função da sua rede em operação. Nesse balanço são divulgados apenas os resultados das emissões evitadas em virtude da operação do METRÔ DE SÃO PAULO (2014), com base em metodologia própria definida, que contempla os fatores “*mode shift*” e “*congestion relief*”.

As emissões produzidas contemplam apenas a geração da energia elétrica necessária para prover a força de tração dos trens. A tabela 2 apresenta as emissões líquidas evitadas no Metrô de São Paulo.

	2011	2012	2013
Emissões de GEE produzidas, considerando apenas as emissões da energia elétrica de tração dos trens	13.000 tCO ₂ e	29.000 tCO ₂ e	42.000 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando os fatores “ <i>mode shift</i> ” e “ <i>congestion relief</i> ”	790.000 tCO ₂ e	820.000 tCO ₂ e	862.000 tCO ₂ e
Emissões de GEE Líquidas Evitadas	- 777.000 tCO₂e	- 791.000 tCO₂e	- 820.000 tCO₂e

Tabela 2 Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô de São Paulo, de 2011 a 2013

Fonte: METRÔ DE SÃO PAULO (2014)

A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô de São Paulo indica que, no ano de 2013, para cada tonelada de GEE produzida pela geração da energia elétrica necessária para prover a força de tração

dos trens do sistema, cerca de 20 toneladas foram evitadas.

3.3 Emissões evitadas pela operação do Metrô do Porto

A implantação do Metrô do Porto, ocorrida em dezembro de 2002, já previa uma contribuição significativa para o alcance das metas de redução de GEE previstas no protocolo de Quioto. O estudo do cálculo das emissões evitadas pela operação do Metrô do Porto foi divulgado em seu relatório de sustentabilidade de 2012 (METRÔ PORTO, 2013), chegando ao resultado das emissões líquidas evitadas pela operação do Metrô do Porto nos anos de 2010 a 2012. Na metodologia adotada foi utilizado apenas o fator “*mode shift*”, sendo possível identificar a proporção das captações dos usuários do Metrô do Porto, que, em 2012, segundo o METRÔ PORTO (2013), foi de:

- ✓ 24% do transporte privado, sendo consideradas as viagens por automóveis e motocicletas;
- ✓ 65% do transporte coletivo, sendo consideradas as viagens por ônibus e ferrovias;
- ✓ 11% do transporte não motorizado, contabilizando as viagens a pé ou de bicicleta.

A metodologia adotada pelo Metrô do Porto considera como emissão produzida toda a geração da energia elétrica da empresa metroviária da cidade do Porto, considerando a energia necessária para suprir a força de tração dos trens, dos equipamentos auxiliares das estações, do centro de controle operacional, do setor administrativo e outros. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos estudos das emissões líquidas evitadas no Metrô do Porto, para os anos de 2010 a 2012.

A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô do Porto indica que, no ano de 2012, para cada tonelada de GEE produzida pelo sistema, considerando toda a geração da energia elétrica desse sistema, cerca de 4,5 toneladas foram evitadas.

	2010	2011	2012
Emissões de GEE produzidas, considerando as emissões de toda energia elétrica da empresa metroviária	16.310 tCO ₂ e	15.499 tCO ₂ e	13.302 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando apenas o fator “ <i>mode shift</i> ”	56.403 tCO ₂ e	61.895 tCO ₂ e	59.512 tCO ₂ e
Emissões de GEE Líquidas Evitadas	- 40.093 tCO ₂ e	- 46.396 tCO ₂ e	- 46.210 tCO ₂ e

Tabela 3: Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô do Porto, de 2010 a 2012

3.4 Emissões evitadas pela operação do Metrô de Lisboa

O Metrô de Lisboa divulgou o resultado das emissões evitadas pela operação de seu sistema no ano de 2010 (METRÔ LISBOA, 2011). A metodologia adotada para realizar o cálculo considerou somente o fator “*mode shift*”, levando em conta apenas a transferência dos usuários para os automóveis e os ônibus, desprezando do cálculo as transferências para os outros meios de transportes.

Esse estudo considerou as emissões diretas e as emissões indiretas pela geração de toda a energia elétrica da empresa metroviária de Lisboa. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos no estudo das emissões evitadas pelo Metrô de Lisboa no ano de 2010.

	2010
Emissões de GEE produzidas, considerando os resultados das emissões diretas + emissões indiretas pela geração de toda energia elétrica da empresa metroviária	56.851 tCO ₂ e
Emissões de GEE evitadas, considerando apenas o fator “ <i>mode shift</i> ”	130.275 tCO ₂ e
Emissões de GEE Líquidas Evitadas	- 73.424 tCO₂e

Tabela 4: Resultados das emissões produzidas e evitadas do Metrô de Lisboa, em 2010

Fonte: METRÔ LISBOA (2011)

A relação entre a emissão produzida e a emissão evitada pela operação do Metrô de Lisboa indica que, no ano de 2010, para cada tonelada de GEE produzida pelo sistema, cerca de 2,3 toneladas foram evitadas.

4 | ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES EVITADAS PELA OPERAÇÃO DOS METRÔS DO BRASIL E DE PORTUGAL

A estrutura da matriz energética é essencial para determinar o resultado final da emissão líquida evitada, pois afetará diretamente a emissão produzida. A demanda do metrô também é outro fator relevante para o resultado, pois é necessário que a taxa de ocupação do sistema não seja baixa, para que a emissão evitada tenha valores relevantes e seja maior que a emissão produzida.

A tabela 5 apresenta um resumo dos resultados encontrados. Os resultados obtidos indicam que, em todas as cidades analisadas, as emissões evitadas pela operação do metrô foram muito maiores do que as emissões produzidas pelo sistema, comprovando a importância da operação dos metrô como forma de mitigar

o aumento das emissões pelo setor de transportes.

	São Paulo	Rio de Janeiro	Porto	Lisboa
Ano base das emissões	2013	2011	2012	2010
Emissões produzidas (em tCO ₂ e)	Energia de tração dos trens 42.000	Energia elétrica da empresa 5.690	Energia elétrica da empresa 13.302	Diretas + Energia elétrica da empresa 56.851
Emissões evitadas (em tCO ₂ e)	"mode shift" + "congestion relief" 862.000	"mode shift" 41.039	"mode shift" 59.512	"mode shift" 130.275
Resultado = Emissões líquidas evitadas (em tCO ₂ e)	- 820.000	- 35.349	- 46.210	- 73.424
Metas de redução das emissões definidas pelos governos locais	20% até 2020 (base 2005)	30% até 2030 (base 2010)	45% até 2020 (base 2004)	20% até 2020 (base 2012)
Nº toneladas evitadas / 1 tonelada produzida	20,5	7,2	4,5	2,3
Fontes	METRÔ DE SÃO PAULO (2014)	Andrade <i>et al.</i> (2013b) e METRÔRIO (2012)	METRÔ PORTO (2013)	METRÔ LISBOA (2011)

Tabela 5: Emissões evitadas pelos metrô de São Paulo, Rio de Janeiro, Porto e Lisboa

As cidades de Lisboa e Porto tiveram os resultados menos significativos em função da matriz energética local, já que Portugal importa 90% da energia primária que utiliza, onde grande parte dessa energia é de origem térmica (LISBOA e-NOVA, 2010), que são fontes de energia muito emissoras. No Brasil, existe a predominância da fonte hidroelétrica na geração da energia elétrica, que é uma fonte energética com baixo impacto na emissão de GEE, representando 77% do total da matriz energética nacional. Há uma menor utilização de fontes térmicas na geração da energia elétrica do Brasil do que comparado a Portugal, representando apenas 13% do total da matriz energética brasileira (EPE, 2013).

Com isso, os metrô brasileiros tendem a ter uma maior participação na contribuição para as reduções das emissões do setor de transportes, auxiliando os governos locais no atingimento das metas de redução de GEE. Em função da matriz elétrica de Portugal ser baseada na queima de combustíveis fósseis, os metrô portugueses emitem cerca de seis vezes mais gCO₂/kWh do que o calculado para os metrô brasileiros (IPEA, 2011).

O melhor resultado, apresentado pelo Metrô de São Paulo, ocorreu devido à inclusão do fator “*congestion relief*” no cálculo das emissões evitadas, que contribuiu para aumentar o resultado final da emissão líquida evitada.

Apesar das diferenças nas metodologias adotadas, constata-se que, os metrô comprovaram ser um meio de transporte de baixo impacto nas emissões de GEE, contribuindo dessa forma, para o atingimento das metas de redução das emissões dos governos.

CONCLUSÕES

A proposta do estudo consistiu em avaliar as emissões evitadas pela operação de sistemas metroviários, quantificando a real contribuição dos metrô para o atingimento das metas de reduções das emissões estipulados por governos.

O objetivo do estudo foi atingido por meio da apresentação dos estudos e da análise comparativa dos resultados das emissões de GEE evitadas pelos metrô de quatro cidades de dois países com matrizes elétricas de baixa e alta emissão de carbono: Rio de Janeiro, São Paulo, Porto e Lisboa.

Foram constatadas importantes contribuições desses metrô para o atingimento das metas de reduções, que variaram de 2,3 a 20,5 vezes tCO₂ evitadas para cada tonelada produzida.

Conclui-se que seria indicado às autoridades o estabelecimento de uma política de incentivo ao uso do sistema metroviário e outros sistemas sobre trilhos alimentados a energia elétrica, minimizando a utilização de veículos rodoviários movidos por combustíveis fósseis, sendo essa uma boa medida para provocar as reduções das emissões de GEE do setor de transporte.

Um fator limitador nesse trabalho consiste na ausência de publicações, nos países analisados, de estudos sobre emissões evitadas específicas para sistemas ferroviários de passageiros, de tal forma que fosse possível quantificar as reais contribuições que os sistemas metroviários e ferroviários de passageiros, conjugados, trazem para as reduções das emissões pelo setor de transportes de uma região.

A proposta de novo estudo se baseia na aplicação de uma das metodologias de cálculo das emissões evitadas apresentadas nesse trabalho em um sistema ferroviário de passageiros de uma grande cidade. Outra proposta de estudo consiste em estabelecer e aplicar uma nova metodologia de emissão evitada pelos sistemas metroviários, que considere como emissão produzida pelo metrô o consumo de toda energia elétrica vital à sua operação, contemplando a geração da eletricidade para prover a força de tração dos trens e para o funcionamento dos equipamentos auxiliares nas estações, desprezando os demais consumos de eletricidade da empresa metroviária. Esta abordagem forneceria uma padronização mais adequada para comparação com outros meios de transporte.

REFERÊNCIAS

- ADEPORTO, 2010 - Agência de Energia do Porto. **Plano de Acção para a energia sustentável da cidade do Porto**. http://www.adeporto.eu/fotos/editor2/plano_accao_alterado.pdf. Acesso em 05/03/2015.
- AGENEAL, 2005 - Agência municipal de energia de Almada. **Estratégia local para as alterações climáticas**. www.ageneal.pt/DirEscrita/upload/docs/ELAC_3.pdf. Acesso em 05/03/2015.
- Andrade, C. E. S.; I. A. Bittencourt; M. A. D'Agosto; I. C. Leal Júnior, 2013a. **O transporte de passageiros sobre trilhos e sua contribuição para a redução das emissões de gases do efeito estufa**. *CBTU – Companhia Brasileira de trens urbanos, 2013*.
- Andrade, C. E. S.; M. A. D'Agosto; I. C. Leal Júnior, 2013b. **Avaliação do ganho na redução de CO₂ devido à disponibilidade de um sistema metroviário: Aplicação no Metrô do Rio de Janeiro**. *Transportes*, v. 21, no. 2, p. 5-12. DOI: 10.4237/transportes.v21i2.653.
- APTA, 2009 - American Public Transportation Association. **Recommended practices for quantifying greenhouse gas emissions from transit**. <http://www.apta.com/resources/hottopics/sustainability/Documents/Quantifying-Greenhouse-Gas-Emissions-APTA-Recommended-Practices.pdf>. Acesso em 05/03/2015.
- EPE, 2012 - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional de 2011**. https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf. Acesso em 05/03/2015. Acesso em 05/03/2015.
- EPE, 2013 - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional de 2012**. https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf. Acesso em 05/03/2015.
- FDT, 2008 - Florida Department of Transportation. **Conserve by transit: Analysis of the energy consumption and climate change benefits of transit**. <http://planfortransit.com/wp-content/ConservebyTransitFinalReport.pdf>. Acesso em 05/03/2015.
- IEA, 2009 - International Energy Agency. **Transport, energy and CO₂**. www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf. Acesso em 05/03/2015.
- IPEA, 2011 - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros**. http://desafios2.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf. Acesso em 05/03/2015.
- ISO, 2007 - International Organization for Standardization. **ISO 14.064:2007 Gases do efeito estufa**.
- LISBOA e-NOVA, 2009 - Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa. **Plano de Acção para a Sustentabilidade Energética de Lisboa**. http://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/300_1316002099.pdf. Acesso em 05/03/2015.
- LISBOA e-NOVA, 2010 - Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa. **Uma estratégia energético ambiental para a cidade de Lisboa**. www.cfn.ist.utl.pt/conf_energia/files/21_11_Apresentacao.pdf. Acesso em 05/03/2015.
- LU, 2009 – London Underground. **London underground carbon footprint**. <http://www.tfl.gov.uk/cdn/static/cms/documents/london-underground-carbon-footprint-2008.pdf>. Acesso em 05/03/2015.
- METRÔ DE SÃO PAULO, 2014. **Relatório de Sustentabilidade de 2013**. www.metro.sp.gov.br/relatoriodesustentabilidade-2013. Acesso em 05/03/2015.

METRÔ LISBOA, 2011. **Relatório de Sustentabilidade de 2010**. www.metrolisboa.pt/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade2010.pdf. Acesso em 05/03/2015.

METRÔ PORTO, 2013 **Relatório de Sustentabilidade de 2011-2012**. www.metroporto.pt/PageGen.aspx?WMCM_Paginald=17246. Acesso em 05/03/2015.

METRÔRIO, 2012 - Metrô do Rio de Janeiro. **Inventário de emissões de gases do efeito estufa de 2011. Metrô Rio**.

Nelldal, B.L., E. Andersson, 2012. **Mode shift as a measure to reduce greenhouse emissions**. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 48, p. 3187 – 3197, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1285.

ONU, 2011 – Organização das Nações Unidas. **Rumo a uma economia verde: Caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza**. http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/Green_Economy_Full_report_pt.pdf. Acesso em 05/03/2015.

SOBRE O ORGANIZADOR:

CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE - Mestre e Doutor em Engenharia de Transportes. Possui 2 graduações: Administração (1999) e Engenharia de Produção (2004) ; 3 pós-graduações lato sensu: MBA em Marketing (2001), MBA em Qualidade e Produtividade (2005) e Engenharia Metroferroviária (2017) ; e 2 pós-graduações stricto sensu - Mestrado e Doutorado em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ (2009 e 2016). É professor adjunto da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás (FCT/UFG), das graduações em Engenharia de Transportes e Engenharia Civil. Atuou como Engenheiro de Operações do Metrô do Rio de Janeiro por mais de 15 anos (2003 - 2019), nas gerências de: Planejamento e Controle Operacional, Engenharia Operacional, Operação, Inteligência de Mercado, Planejamento de Transportes e Planejamento da Operação Metroviária (de trens, das linhas de ônibus Metrô Na Superfície, e das estações metroviárias). Experiências acadêmica e profissional nas áreas de: Engenharia de Transportes, Operação de Transporte, Planejamento da Operação, Transporte Público, Sustentabilidade, Engenharia de Produção, Gestão, Administração e Engenharia de Projetos, atuando principalmente nos seguintes temas: operação, avaliação de desempenho operacional, ferramentas de gestão e de controle operacional, documentação operacional, indicadores de desempenho, planejamento da operação, satisfação dos usuários de transporte, pesquisas e auditoria de qualidade, sustentabilidade, emissões de gases do efeito estufa em sistemas de transportes, planejamento e acompanhamento de projetos de engenharia e de melhoria em sistemas de transporte.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmos Genéticos 33, 36, 37

Aquecimento Global 79, 80, 81, 82, 86, 88, 89, 90

C

Controle Ativo 33, 34, 36

Controle de Semáforos 33

Controle de Tráfego 33, 35, 36

D

Desdobramento da Função Segurança 1, 3, 13

Desdobramento das Funções da Qualidade 1

E

ECD 65, 66, 67, 68, 72, 73, 75, 76, 77

Embarcações Mistas 65, 66, 74, 76, 77

Emissões de CO2 90, 94

Emissões Evitadas 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Empresas de Ônibus 52, 55

G

Gases de Efeito Estufa 79, 80, 86, 90, 92

GEE 80, 81, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Geração de Viagens 17, 19, 24, 28, 29, 30, 31, 32

Gerenciamento da Informação 52

Gestão de Empresas 52

H

Heurística 40, 43, 45

I

Indicadores 10, 51, 54, 64, 65, 66, 68, 72, 73, 74, 75, 76, 107

Infraestrutura Urbana 79, 80, 81, 82, 87, 88, 89, 90

ITS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 34, 53, 66, 79

M

Modelo TSPPPP 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 50

Motocicletas 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 95, 96, 99, 101

O

Otimização 33, 35, 36, 37, 39, 40, 51, 59

P

Pesquisa Operacional 39, 50

Plano Operacional 62, 63

Políticas de Mitigação 88, 89

Polos Educacionais 17

Pólos Universitários 17

Problema do Caixeiro Viajante 40, 41, 43

Q

QFD 1, 2, 3, 5, 6, 7, 14, 15, 16

R

Redução das Emissões 94, 95, 96, 97, 104, 105

Rio de Janeiro 16, 21, 32, 38, 77, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 103, 104, 105, 106, 107

Roteiros Turísticos 39, 40, 41, 46, 48, 49, 50, 51

S

Segurança Viária 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 13, 14, 15, 18

Setor de Transportes 66, 68, 79, 80, 82, 88, 90, 92, 94, 95, 97, 103, 104

SFD 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15

Sistemas Inteligentes de Transportes 1, 3, 14, 34

Sistemas Metroviários 94, 95, 96, 98, 104

T

Temporização Semafórica 33, 34

Tomada de Decisão 2, 14, 15, 52, 54, 57, 59, 61, 62, 63, 68

Transporte de Passageiros E Cargas 67, 71

Transporte Fluvial 65, 66, 67, 73, 74, 76, 77

Transporte Urbano de Passageiros 52, 54, 55, 56, 64

U

Universidade Nacional de La Rioja 17, 18

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-855-7



9 788572 478557