



Engenharia Civil UM

desde 1995



Os Editores:

José Barroso de Aguiar

Sandra Cunha

Número:

63

2023

e-ISSN 2795-5982
ISSN 0873-1152



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil



Editores

José Luís Barroso de Aguiar, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Sandra Cunha, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Conselho Editorial

Aires Camões, Universidade do Minho, Portugal

Álvaro Cunha, Universidade do Porto, Portugal

Anabela Paiva, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal

António Tadeu, Universidade de Coimbra, Portugal

António Correia, Universidade do Minho, Portugal

António Baptista, Oregon Health & Science University, USA

António Pais Antunes, Universidade de Coimbra, Portugal

António Madaleno, Universidade Agostinho Neto, Angola

António Matos, Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique

Antônio Silva, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Carlito Junior, Universidade de São Paulo, Brasil

Cristina Alvarez, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Daniel Oliveira, Universidade do Minho, Portugal

Eduardo Julio, Universidade de Lisboa, Portugal

Eliane Viviani, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Enio Figueiredo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Fernando Branco, Universidade de Lisboa, Portugal

Fernando Veloso Gomes, Universidade do Porto, Portugal

Fernando Pacheco Torgal, Universidade do Minho, Portugal

Flávio Silva, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

Flávio Cunto, Universidade Federal do Ceará, Brasil

Francisco Martins, Universidade do Minho, Portugal

Glicério Trichês, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Guilherme Parsekian, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Guillermo Etse, National University of Tucumán, Argentina

Gustavo Ayala, National Autonomous University of México, México

Hélder Sousa, Universidade do Minho, Portugal

Holmer Savastano Jr, Universidade de São Paulo, Brasil

Ignacio Perez, Universidad de La Coruña, Espanha

Jaume Avellaneda, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

Joan Casas, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

João Castro Gomes, Universidade da Beira Interior, Portugal

Joaquim Barros, Universidade do Minho, Portugal

Jorge Brito, Universidade de Lisboa, Portugal

Jorge Pais, Universidade do Minho, Portugal

Jorge Soares, Universidade Federal do Ceará, Brasil

Jose Adam, Universitat Politècnica de València, Espanha

José Teixeira, Universidade do Minho, Portugal

José Vieira, Universidade do Minho, Portugal

José Valente, Universidade do Porto, Portugal

José Marques, Universidade de Coimbra, Portugal

José Matos, Universidade de Lisboa, Portugal

José Mendes, Universidade do Minho, Portugal

José Catarino, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

José Luís Pinho, Universidade do Minho, Portugal

Juan Marriaga, Universidad Nacional de Colombia, Colômbia

Khosrow Ghavami, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

Lígia Silva, Universidade do Minho, Portugal

Luis Loria-Salazar, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Luís Lopes, Universidade do Minho, Portugal

Luís Simões da Silva, Universidade de Coimbra, Portugal

Luís Picado Santos, Universidade de Lisboa, Portugal

Maisa Tobias, Universidade Federal do Pará, Brasil

Manuel Matos Fernandes, Universidade do Porto, Portugal

Marcial Blondet, Pontificia Universidad Católica del Perú, Peru
Márcio Farias, Universidade de Brasília, Brasil
Maria Almeida, Universidade do Minho, Portugal
Maria Bortolucci, Universidade Federal de São Carlos, Brasil
Maria Antunes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal
Maria Jacques, Universidade de Brasília, Brasil
Marta Pagola, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Miguel Angel del Val, Universidad Politécnica de Madrid, Espanha
Naim Haie, Universidade do Minho, Portugal
Newsha Ajami, University of Stanford, USA
Normando Perazzo, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Paulo Lourenço, Universidade do Minho, Portugal
Paulo Vila Real, Universidade de Aveiro, Portugal
Resende Nsambu, Universidade Agostinho Neto, Angola
Ricardo Fakury, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Rodrigo Alvarado, Universidad del Bío-Bío, Chile
Rui Ramos, Universidade do Minho, Portugal
Said Jalali, Universidade do Minho, Portugal
Tan Yigitcanlar, University of Queensland, Australia
Teresa Barbosa, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
Vasco Freitas, Universidade do Porto, Portugal
Vladimir Benincasa, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Produção Editorial

Assistente Editorial: Juliana Araújo Alves, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal
Apoio Editorial: Vítor Costa, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Design da Capa: Vítor Costa

URL: <https://revistas.uminho.pt/>

E-mail: revistaengenhariacivil@civil.uminho.pt

Centro de Território, Ambiente e Construção
Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães - Portugal

© Autores / Centro de Território, Ambiente e Construção



Este trabalho está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

e-ISSN: 2795-5982 | **ISSN:** 0873-1152

A Engenharia Civil UM é financiada por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do Projeto UIDB/04047/2020 (financiamento base) e UIDP/04047/2020 (financiamento programático).



Artigos publicados

Análise exploratória do modelo de simulação de rodovias de pista simples do VISSIM

F.A. Silva, J.E. Bessa Júnior, A.L. Costa, A.L.B.N. Cunha, D.M.C. Velho, A.F. Andalício

6

Obtaining characteristics of alternatives from Revealed Preference data using the CART algorithm

V.A. Gomes, C.S. Pitombo, L. Assirati, C.F. Cerveira

18

Diretrizes para gestão de suprimentos: análise do panorama da função compras na construção civil de uma capital Amazônica

C.A. Farias Júnior, R.M. Neves, A.A.A.M. Duarte, B.M.O. Nascimento

31

Impacto da mudança em Geometria de Vias urbanas e em Tempos Semafóricos em uma Simulação de Emissão de Poluentes

R.S. Ribeiro, P.C. Pinto

45

Gerenciamento de equipes mecânicas na construção de aterro rodoviário: um estudo na rodovia BR 381/MG – Norte

F. Delmiro, J. Possato, R. Ferraz-Almeida

58

Análise exploratória do modelo de simulação de rodovias de pista simples do VISSIM

Exploratory analysis of the VISSIM's two-lane highway simulation model

F.A. Silva^a, J.E. Bessa Júnior^{a†}, A.L. Costa^b, A.L.B.N. Cunha^b, D.M.C. Velho^c, A.F. Andalácio^c

^a Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Belo Horizonte, Brasil

^b Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Carlos, Brasil

^c Concessionária BR-040 S/A, Nova Lima, Brasil

[†] Autor para correspondência: elievam@etg.ufmg.br

RESUMO

A modelagem de rodovias de pista simples tem sido incorporada em simuladores de tráfego. Como a lógica de simulação em rodovias de pista simples teve que se adequar a outros submodelos comportamentais dos simuladores, como o de *car-following* e o de mudança de faixas, surge a necessidade de avaliar se a modelagem desse tipo de rodovia tem sido realizada adequadamente. Este artigo, portanto, teve como meta realizar essa análise para o VISSIM, devidamente calibrado por meio de dados de campo e com um Algoritmo Genético. Foram analisadas as variações de duas medidas de desempenho, velocidade média de viagem (*ATSd*) e número de ultrapassagens (*NUd*), de acordo com a variação das zonas de ultrapassagens proibidas, da porcentagem de veículos pesados e do fluxo de tráfego unidirecional. Não foram observadas grandes diferenças quando foram avaliados os valores de *ATSd*, ao contrário do que ocorreu com *NUd*.

ABSTRACT

Two-lane highway modeling has been incorporated into traffic simulators. As the simulation logic to reproduce two-lane highway traffic streams had to adapt to other simulators' behavioral sub-models, such as car-following and lane-changing, it is necessary to evaluate whether the modeling of this type of highway has been carried out properly. This article, therefore, aimed to carry out this analysis for VISSIM, properly calibrated through field data and with a Genetic Algorithm. The variations of two performance measures, the average travel speed (*ATSd*) and the number of overtaking (*NUd*), were analyzed according to the variation of no-overtaking zones, the percentage of heavy vehicles, and the one-way traffic flow. No major differences were observed when the *ATSd* values were evaluated, contrary to what happened with *NUd*.

Palavras-chave:

Rodovias de pista dupla; Simulação de tráfego; VISSIM.

Keywords:

Two-lane highways; Traffic simulation; VISSIM.

1. Introdução

As características de uma rodovia de pista simples incluem a necessidade de realização de manobras de ultrapassagens quando um veículo mais rápido encontra um veículo mais lento em um determinado trajeto. Se a geometria viária não permite uma visibilidade suficiente para o tráfego no sentido oposto, os veículos mais rápidos não realizam manobras de ultrapassagens e eles tendem a desenvolver uma velocidade abaixo daquela que gostariam. Os diferentes níveis de

desempenho dos veículos e de usuários fazem com que os motoristas possuam velocidades médias de viagem diferentes. Quanto mais próximo da velocidade de fluxo livre os motoristas conseguem se manter, sobretudo sem viajar em pelotões, maior é a qualidade de serviço percebida por eles [1].

A distância mínima de visibilidade para ultrapassagens é a que permite ao motorista realizar as manobras com segurança, havendo tempo hábil para ultrapassar o veículo que trafega em velocidade mais lenta, sem colidir com o veículo que vem em sentido contrário e com espaço suficiente para abortar a manobra, caso necessário. Aspectos como esses têm sido incorporados nos simuladores de tráfego nos últimos anos para permitir a simulação de rodovias de pista simples. Isso tem ocorrido tanto com aqueles softwares mais vendidos, como aqueles voltados essencialmente para trabalhos de pesquisa. O TRARR [2] e o TWOPAS [3] foram, durante muito tempo, os simuladores mais utilizados para modelagem de rodovias de pista simples. O TWOPAS foi empregado no desenvolvimento do método para análise da capacidade e do nível de serviço desse tipo de rodovia do *Highway Capacity Manual* de 2000 [4] e no HCM2010 [1].

Daqueles softwares que podem ser adquiridos comercialmente, destaque para três simuladores que incorporaram a modelagem de rodovias de pista simples recentemente, o CORSIM [5], o VISSIM [6] e o AIMSUN [7]. Desses, o CORSIM foi o primeiro a incorporar esse tipo de modelagem, como explicado em [8], com a manobra de ultrapassagem tendo sido fortemente baseada no modelo do *Green Book* [9].

Como a lógica de simulação em rodovias de pista simples teve que ser incorporada para se adequar a outros submodelos dos simuladores, como o de *car-following* e o de mudança de faixas, surge a necessidade de avaliar se a modelagem desse tipo de rodovia tem sido realizada adequadamente, frente a diferentes níveis de demanda, de porcentagem de veículos pesados e diferentes configurações de zonas de ultrapassagens proibidas. Este artigo, portanto, tem como meta realizar essa análise para o simulador VISSIM, cuja descrição dos principais submodelos, em linhas gerais, é apresentada na seção a seguir e é baseada no manual do software [6].

2. O simulador vissim e a modelagem de rodovias de pista simples

O modelo de *car-following* do VISSIM (de Wiedemann) é conhecido como um modelo psicofísico, pois leva em consideração aspectos da percepção dos condutores. A premissa básica do modelo é a de que o motorista de um veículo mais rápido começa a desacelerar quando percebe um veículo mais lento. Como ele não consegue determinar, precisamente, a velocidade do veículo mais lento, a velocidade ficará menor que a do veículo que segue a frente. Então, ele começa a acelerar até alcançar novamente a velocidade do veículo à frente. Assim, enquanto o motorista estiver atrás do veículo mais lento, sua velocidade irá oscilar, alternando aceleração e desaceleração, evitando ficar com uma velocidade constante atrás do veículo à frente.

No VISSIM, o veículo deseja ultrapassar quando a velocidade desejada é mais alta que a do veículo que está à frente (por padrão, de 0 a 4 m/s, com média de 2 m/s com distribuição normal). A velocidade de ultrapassagem é a velocidade desejada somada ao “fator de velocidade de ultrapassagem”, que corresponde a um fator de aceleração do veículo que deseja ultrapassar, sendo o padrão igual a 1,30 m/s². O tempo máximo da manobra é de 4 segundos, valor que também pode ser alterado. A manobra só acontece caso haja espaço suficiente após ultrapassar o veículo lento, possibilitando que a ultrapassagem ocorra em segurança. Se, durante a manobra, é observado um veículo em sentido contrário, a manobra será abortada e os veículos que trafegam atrás podem reduzir a velocidade para garantir que o veículo retorne para o pelotão.

O veículo que trafega em sentido oposto não é influenciado pela manobra de ultrapassagem. Antes de a ultrapassagem ser realizada, o VISSIM não considera mudanças das condições de tráfego na faixa direcional, como redutores de velocidade, mas assim que a manobra é iniciada, o veículo lento respeita essas sinalizações e as novas condições de tráfego. Não é possível alterar o comportamento do motorista, tornando-o mais agressivo; entretanto, é possível alterar a distância de segurança, que depende da velocidade do veículo que deseja ultrapassar e da velocidade do veículo lento. Logo após realizar a ultrapassagem, o veículo reduz a velocidade para a velocidade desejada.

Os diferentes comportamentos dos veículos no VISSIM são modelados de acordo com a

aceleração e a desaceleração, juntamente com os dados de massa e de potência, usando-se, para isso, funções de distribuição (em vez de dados médios). O microssimulador fornece funções padrões de aceleração e desaceleração para os tipos de veículos normalmente usados na Europa Ocidental, o que justifica a necessidade da caracterização da frota típica do local que se deseja simular.

No microssimulador, existem quatro tipos de funções: duas funções de aceleração, máxima e desejada, e duas de desaceleração, também de máxima e desejada. As funções de desaceleração são usadas para frenagem e não são objeto de análise deste trabalho. As distribuições de acelerações máxima e desejada foram objeto de análise em outro trabalho [10] e elas foram obtidas para quatro classes de caminhões: leves, médios, pesados e extrapesados.

Alguns trabalhos têm usado o VISSIM para modelar e analisar rodovias de pista simples. Silva et al. [11] recalibraram o simulador e produziram dados de tráfego sintéticos em diversas condições para avaliar o efeito de faixas adicionais de subida em segmentos de rodovias de pista simples no Brasil. Foram propostos modelos de tráfego para estimar a densidade de veículos em pelotões (FD) nesse tipo de segmento viário, tendo sido observado que os modelos foram capazes de gerar valores dessa medida de desempenho próximos dos que foram observados em campo. Um trabalho similar foi realizado por [12], mas para analisar segmentos com zonas de ultrapassagens proibidas. Os dados de FD obtidos dos modelos também foram próximos dos dados observados em campo.

Haq et al. [13] também avaliaram zonas de ultrapassagens em rodovias de pista simples com o VISSIM, especificamente as distâncias de visibilidade de ultrapassagem (PSD). Um novo modelo para estimar PSD foi proposto e comparado com os resultados obtidos com o simulador, tendo registrado diferenças da ordem de 3%. Ren et al. [14] também avaliaram o comportamento do tráfego em rodovias de pista simples com o simulador, mas em locais com zonas de obras. A ideia era propor formas alternativas de operação em rodovias de pista simples, nessas condições de obras. Como se vê, ainda são poucos os trabalhos que envolvem rodovias de pista simples e a modelagem com o VISSIM, talvez pelo desconhecimento das capacidades do simulador, algo que é buscado elucidar neste trabalho, como visto nas seções a seguir.

3. Coleta e tratamento de dados de tráfego

Para realizar a calibração e a validação de parâmetros dos submodelos comportamentais do VISSIM, foram coletados dados de tráfego na rodovia brasileira denominada “BR-040”, nos estados de Minas Gerais (MG) e de Goiás (GO). Foram realizadas pesquisas de tráfego nos seguintes dias e horários:

- 29 de março de 2018, das 13:00 h às 17:00 h, nos trechos entre os km's 95 e 105; 130 e 140; e 140 e 150;
- 30 de março de 2018, das 8:00 h às 12:00 h, nos trechos entre os km's 19 e 29; e 29 e 39;
- 1 de abril de 2018, das 13:00 h às 17:00 h, novamente nos trechos entre os km's 95 e 105; 130 e 140; e 140 e 150;
- 7 de setembro, das 9 h às 13 h, nos trechos entre os km's 288 e 298; e
- 9 de setembro, das 13 h às 17 h, nos trechos entre os km's 359 e 399.

Na Tabela 1, é possível verificar as informações sobre a geometria viária, que é baseada num parâmetro que determina as subidas e descidas (*Rise and Fall* – RF) e na curvatura (*Bendiness* – BD) dos segmentos, assim como os dados de fluxo de tráfego e velocidade observados. O RF representa a razão entre o somatório das subidas e descidas, em metros (positivo para subidas e negativo para descidas) pelo comprimento do segmento viário, em km. De forma similar, o BD é calculado pela razão entre o somatório das mudanças no alinhamento horizontal, em graus, e o comprimento do segmento viário, em km.

Para esta pesquisa, e com o intuito principal de registrar ultrapassagens em zonas permitidas com e sem faixas adicionais em rodovias de pista simples, foi adquirido o quadricóptero (drone) portátil Mavic Pro [15]. O equipamento possui uma câmera estabilizada que captura vídeos em qualidade 4K, fotos de 12 megapixels, modos de voo inteligentes e recurso de desvio de obstáculos. Alcança uma velocidade máxima de voo de 65 km/h e um tempo máximo

de voo, por bateria, de cerca de 20 minutos.

Tabela 1 - Dados sobre as correntes de tráfego coletadas

km inicial	km final	Subidas e descidas (m/km)	Curvatura (graus/km)	Fluxo Sentido GO-MG (veic/h)		Fluxo Sentido MG-GO (veic/h)		Velocidade média (km/h)	
				Min	Max	Min	Max	Min	Max
95	105	24	3	92	148	32	88	80	112
125	135	16	8	54	280	16	768	46	94
135	145	34	18	52	192	16	92	76	95
130	140	28	19	48	368	336	1200	71	103
140	150	29	12	16	352	336	1024	77	124
288	298	39	25	140	208	128	319	78	107
359	369	22	6	380	728	100	268	73	112
369	379	30	6	352	584	64	204	72	110
379	389	26	10	300	892	72	196	76	106
389	399	27	22	412	644	76	180	63	95

De acordo com a legislação brasileira [16], não podem ser realizados voos com mais de 120 m de altura, o que delimita a observações de trechos de ultrapassagens com comprimento suficiente para observação das manobras. O posicionamento escolhido para obtenção dos dados de tráfego foi no sentido longitudinal da rodovia, em direção ao horizonte. Diante desse posicionamento, para corrigir as distorções das distâncias com o drone posicionado em direção ao horizonte, foi utilizado um programa [17] para transformar a perspectiva das imagens de modo que a rodovia passasse a ter um formato retangular, como se o equipamento estivesse filmando numa posição perpendicular ao eixo da via, permitindo a análise das ultrapassagens em escala adequada.

4. Calibração e validação dos modelos comportamentais do VISSIM

Para verificar quais parâmetros comportamentais do simulador – como os dos submodelos de *car-following* e de mudança de faixas – são mais relevantes para refletir as condições de tráfego, foi realizada uma análise de sensibilidade. Para isso, foram realizadas simulações com 10 replicações com diferentes sementes de números aleatórios em intervalos de 15 minutos, com 15 minutos de período de aquecimento, para dois trechos da rodovia (entre os km's 95 e 105 e os km's 288 e 298 da BR-040) em que foram coletados dados com filmagens. Os trechos foram escolhidos por terem apresentado uma maior amplitude em termos de fluxo de tráfego e de composição viária.

Para realizar o teste de sensibilidade de modo a verificar quais parâmetros comportamentais são mais relevantes, foi utilizado um método [18] que consiste em alterar os parâmetros dos modelos do VISSIM de modo a verificar o impacto nos resultados da simulação. Foram escolhidos, como medidas de desempenho, a velocidade média de viagem (*ATS*) e a porcentagem de veículos em pelotões (*PF*), por sentido. Então, foram calculados Intervalos de Confiança (IC's) das diferenças dos resultados quando cada parâmetro é alterado, em relação aos resultados usando-se os parâmetros padrões. Caso os intervalos contenham o zero ou sejam pequenos, a influência do parâmetro na medida de desempenho é considerada pequena. Caso contrário, significa que o parâmetro é relevante para calibração.

Para a realização da análise de sensibilidade, os parâmetros comportamentais foram alterados, nas simulações, por duas vezes: usando-se os limites mínimo e máximo dos intervalos de busca considerados para cada parâmetro. Posteriormente, nessas circunstâncias, foram obtidos os resultados de simulação que foram comparados com os resultados obtidos com os parâmetros padrões, calculando-se a média, o desvio padrão e o IC das diferenças absolutas dos resultados das simulações. Após aplicação do método, seis parâmetros foram identificados como relevantes para calibração nos dois segmentos viários: i) *LatDistDrivDef*; ii) *SafDistFactLnCg*; iii) *Look Ahead Maximum Distance (LookAheadDistMax)*; iv) *Observed Vehicles (ObsrvdVehs)*; v) o parâmetro CC1 do modelo de *car-following*, de Wiedemann 99, voltado para rodovias (*W99cc1Distr*); e vi) o parâmetro CC3 do modelo de *car-following*, também de Wiedemann 99 (*W99cc3*).

O *LatDistDrivDef*, ou *Lateral Minimum Distance at 50 km/h*, é a distância mínima entre veículos, em relação à faixa adjacente, mantida pelos veículos que ultrapassam pela faixa do sentido oposto, a 50 km/h, sendo que o valor padrão desse parâmetro é de 1,0 m [6]. Quando as velocidades de ultrapassagem são diferentes, os valores correspondentes à velocidade são obtidos por meio de interpolação linear. Então, para calibrar esse parâmetro, foi observado o comportamento dos veículos quando realizavam as ultrapassagens, captando-se a distância lateral e a velocidade em que os veículos realizavam as manobras. Foram coletadas informações de 31 manobras de ultrapassagens e encontrado um valor de 1,12 m para a distância lateral o *LatDistDrivDef*.

O *SafDistFactLnChg* é um fator de redução da distância de segurança desejada para a realização das mudanças de faixa que é o produto da distância de segurança desejada pelo fator de redução da distância de segurança. O fator pode ser definido como a razão da distância final de aproximação do veículo que realizar a ultrapassagem pela distância mantida pelos veículos seguindo outros veículos, mas que não desejam realizar ultrapassagens [6]. Para calibrar esse parâmetro, foram obtidas, das filmagens com drone citadas anteriormente, as distâncias que os veículos mantiveram quando atrás de outros veículos e foram observadas as distâncias dos veículos que iniciam as ultrapassagens no limite do início da manobra. Os dados observados indicaram uma distância média de 2,76 m e uma mediana de 2,35 quando os veículos estão em seguindo outro veículo. Quando no limite da aproximação para realizar a manobra de ultrapassagem, a média foi de 1,1 m e a mediana de 0,9 m. Assim, de posse dos dados de distância de segurança desejada e da redução para realização das manobras, foi possível calcular o fator para os veículos observados em campo. O valor padrão é de 0,6, enquanto para os veículos observados foi de 0,36.

Os outros quatro parâmetros relevantes foram estimados por meio de um Algoritmo Genético, técnica amplamente utilizada na calibração e validação de simuladores de tráfego [19,20]. O AG é um método iterativo baseado na teoria da evolução que se inicia com a produção de uma população aleatória, gerada a partir de um espaço de busca. Essa população é composta por indivíduos (ou cromossomos) que são formados a partir dos parâmetros comportamentais a serem calibrados. À medida que a população evolui, através da aplicação de operadores genéticos (seleção, *crossover*, mutação e predação), melhores soluções (os indivíduos da população) são encontradas, na tentativa de melhorar a função de adaptação, resultado da comparação entre medidas de desempenho encontradas em campo e obtidas por simulação. Portanto, os indivíduos mais bem adaptados (com melhores valores das funções de adaptação) tendem a permanecer na população e, assim, transferem as suas características às próximas gerações; enquanto isso, os menos adaptados tendem a desaparecer [21].

O AG aplicado nesta pesquisa é baseado em outro aplicado em estudos anteriores [22,23]. O processo inicia-se com a criação da população inicial de 10 indivíduos, baseado no intervalo de busca dos parâmetros de calibração que os compõe, com cada um deles associado a um determinado nível de agressividade: baixo, médio e alto. A Tabela 2 mostra os valores padrões dos parâmetros de calibração e seus intervalos de busca com base na agressividade.

Tabela 2 - Parâmetros comportamentais de calibração

Parâmetro	Valor padrão	Espaço de busca em função do nível de agressividade					
		Baixo		Médio		Alto	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<i>LookAheadDistMax</i>	250 m	0	167	167	333	333	500
<i>ObsrvdVehs</i>	2 veíc	0	3	3	7	7	10
<i>W99cc1Distr</i>	1	20	30	2	20	1	2
<i>W99cc3</i>	-8,0 s	-16	-10,7	-10,7	-5,3	-5,3	0

Cada cromossomo representa um conjunto de parâmetros de calibração que são inseridos nos arquivos de entrada de metade das correntes de tráfego de 15 minutos obtidas por filmagens. A outra metade foi usada para realizar a validação do AG. O grau de adaptação (qualidade) de

cada indivíduo da população é determinado por meio de uma função objetivo escolhida, o somatório dos erros quadráticos (SE), que tem, como principal vantagem, penalizar àquelas soluções que produzem grandes erros absolutos. A formulação de SE é dada por:

$$SE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^2 \sum_{w=1}^2 (y_{ijkw} - x_{ijkw})^2, \quad (1)$$

Em que y_{ijkw} é a velocidade média de viagem obtida na simulação, para o trecho filmado i , corrente de tráfego j , sentido de tráfego k (leste ou oeste) e tipo de veículo w (automóvel ou veículo pesado); x_{ijkw} é a velocidade média de viagem obtida em campo, para o trecho filmado i , corrente de tráfego j , sentido de tráfego k e tipo de veículo w ; a variável n representa a metade dos trechos filmados; e m significa o total de correntes de tráfego de 15 minutos do trecho i .

Se a máxima geração (30) não tiver sido atingida, os operadores genéticos são acionados para produzir uma nova geração da população. O tipo de seleção de dois indivíduos (pais) para realização de cruzamento (*crossover*) é baseado na técnica da roleta [21], em que a probabilidade de serem selecionados é função do seu grau de adaptação ao meio. Portanto, quanto menor for o SE do indivíduo, mais chance ele tem de ser selecionado para realização de cruzamento. O novo cromossomo de um indivíduo da geração seguinte possui genes (parâmetros de calibração) que são resultados da média aritmética dos genes dos seus pais.

A mutação é a seleção aleatória de genes (parâmetros) da população de modo que eles são substituídos por outros gerados aleatoriamente em função do seu respectivo espaço de busca. A predação significa selecionar os piores indivíduos da população (maiores valores de SE) e substituí-los por outros gerados aleatoriamente, também em função do espaço de busca dos parâmetros de calibração. A mutação e a predação, que possuem, respectivamente, taxas de 30% e 20%, são aplicadas a cada duas gerações, de modo que a diversidade genética inserida possa ser absorvida paulatinamente.

Com a aplicação do *crossover*, é possível que alguns genes dos indivíduos de uma nova geração da população tenham agressividades diferentes daquelas definidas no início do processo de calibração (baixo, médio ou alto). Nesses casos, cada gene deverá ser substituído por um outro produzido aleatoriamente com base no espaço de busca, de acordo com seu nível de agressividade. A esse processo foi denominado “alteração genética” [24].

A melhor resposta encontrada pelo AG forneceu os seguintes valores para os parâmetros de calibração: *LookAheadDistMax* igual a 419 m; *ObsrvdVehs* igual a 7 veículos; *W99cc1Distr* igual a 1; e *W99cc3* igual a -2,6 s. Usando-se os valores padrões dos parâmetros de calibração (Tabela 2), foi encontrado um valor de SE igual a 10.603. Com a aplicação da melhor solução encontrada com o AG, obteve-se um valor de SE de 9.528, que é 10% menor do que quando usado os valores padrões dos parâmetros. Foi realizado um processo de validação ao testar a melhor solução encontrada na etapa de calibração. Nesse caso, o valor de SE encontrado foi de 15.001, valor que é 4% menor que o encontrado a partir dos parâmetros padrões, que foi igual a 15.635.

A aplicação do AG apresentou uma leve melhora em relação à utilização dos parâmetros padrões. Isso pode ser justificado em função da quantidade pequena de parâmetros a serem calibrados. Além disso, o processo de ajuste dos parâmetros foi iniciado com a calibração dos modelos de desempenho dos veículos pesados e com a obtenção de dois parâmetros em campo: *LatDistDrivDef* e *SafDistFactLnChg*. Com relação aos resultados dos parâmetros calibrados pelo AG, todos os valores foram considerados mais agressivos dos que os valores padrões do VISSIM. A exceção ficou por conta do *W99cc1Distr*, que permaneceu com o mesmo valor padrão do VISSIM.

5. Método para avaliação do modelo de ultrapassagens do VISSIM

O método proposto para realizar uma análise exploratória do modelo de ultrapassagens do VISSIM na modelagem de rodovias de pista simples é baseado no trabalho de Moreno et al. (2018), realizado com o simulador TWOPAS. Consiste em simular um trecho hipotético de 10 km de extensão, em relevo plano, variando-se as porcentagens de zonas de ultrapassagens

proibidas (NPZ) em 0%, 50% e 100%, conforme a Figura 1, para 9 cenários. Os cenários modelados começam e terminam com uma zona de ultrapassagem proibida (exceto quando NPZ = 0%). A velocidade desejada média escolhidas para os automóveis foi de 100 km/h, enquanto, para os veículos pesados, foi de 70 km/h. A divisão direcional utilizada é de 50/50.

Para cada um dos 9 cenários, foram simuladas as seguintes condições de tráfego:

- Volumes bidirecionais (q_{bid}) entre 400 veic/h e 3200 veic/h, em passos de 400 veic/h;
- Porcentagem de veículos pesados (P_{hv}) de 0%, 20%, 40% e 60%; as proporções das classes leves, médios, pesados e extrapesados, respectivamente, foram iguais a 26%, 40%, 28% e 6%, respectivamente, como observados em campo; e
- 10 replicações variando-se as sementes de números aleatórios, tendo sido calculados os valores médios dos resultados das replicações.

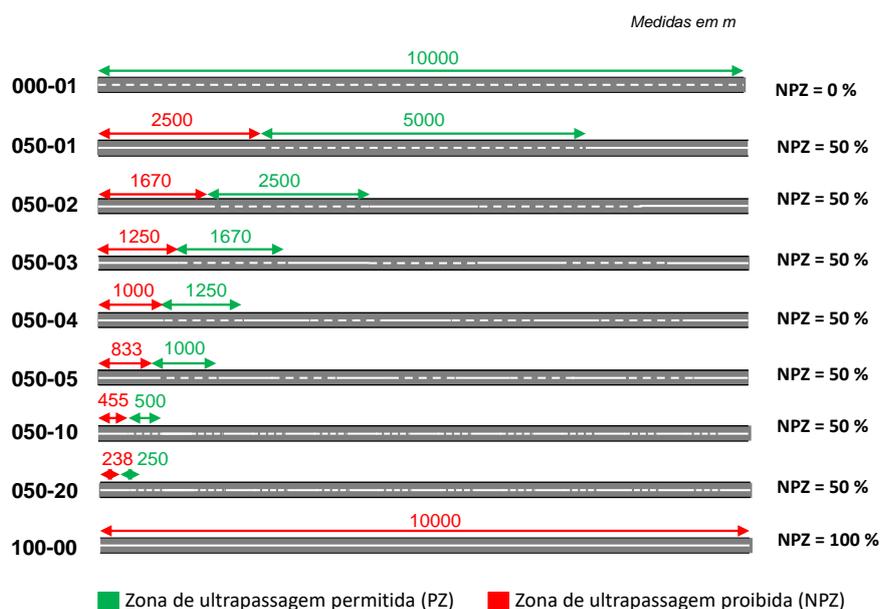


Figura 1 - Cenários simulados (Adaptado de Moreno *et al.*, 2018)

No total, foram realizadas 2.880 simulações, resultado da combinação de 9 valores de NPZ \times 8 q_{bid} \times 4 P_{hv} \times 10 replicações. Foi estabelecida uma atualização a cada décimo de segundo e um período de *warm-up* de 15 minutos, com um período de simulação de 1 hora.

Para comparar os resultados de diferentes condições de tráfego, foram avaliadas duas medidas de desempenho, por sentido de tráfego: a velocidade média de viagem (ATS_d) e o total de ultrapassagens (NU_d). Diferente de outros simuladores, como o TWOPAS e o CORSIM, o VISSIM ainda não fornece, como resultados da simulação, medidas de desempenho específicas para rodovias de pista simples, como a porcentagem de tempo viajando em pelotões, a porcentagem de veículos em pelotões e a densidade de veículos em pelotões.

6. Apresentação e análise dos resultados

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos com o VISSIM para a ATS_d . É notável o quanto há pouca variabilidade entre os 9 cenários com zonas de ultrapassagens proibidas, sobretudo quanto $P_{hv} = 0\%$. Para diferentes valores de P_{hv} , diferentes níveis de NPZ alteram os resultados de ATS_d somente quando o fluxo direcional (q_d) é de, no máximo, 800 veic/h. Quando q_d aumenta, praticamente não há alteração nos valores de ATS_d , algo que é esperado, pois as oportunidades de ultrapassagens diminuem. Tanto esse fenômeno quanto as pequenas variações nos valores de ATS_d

são corroborados, por exemplo, pelo HCM2010 (TRB, 2010). Percebe-se, também, que, à medida que P_{hv} aumenta, os valores de ATS_d diminuem.

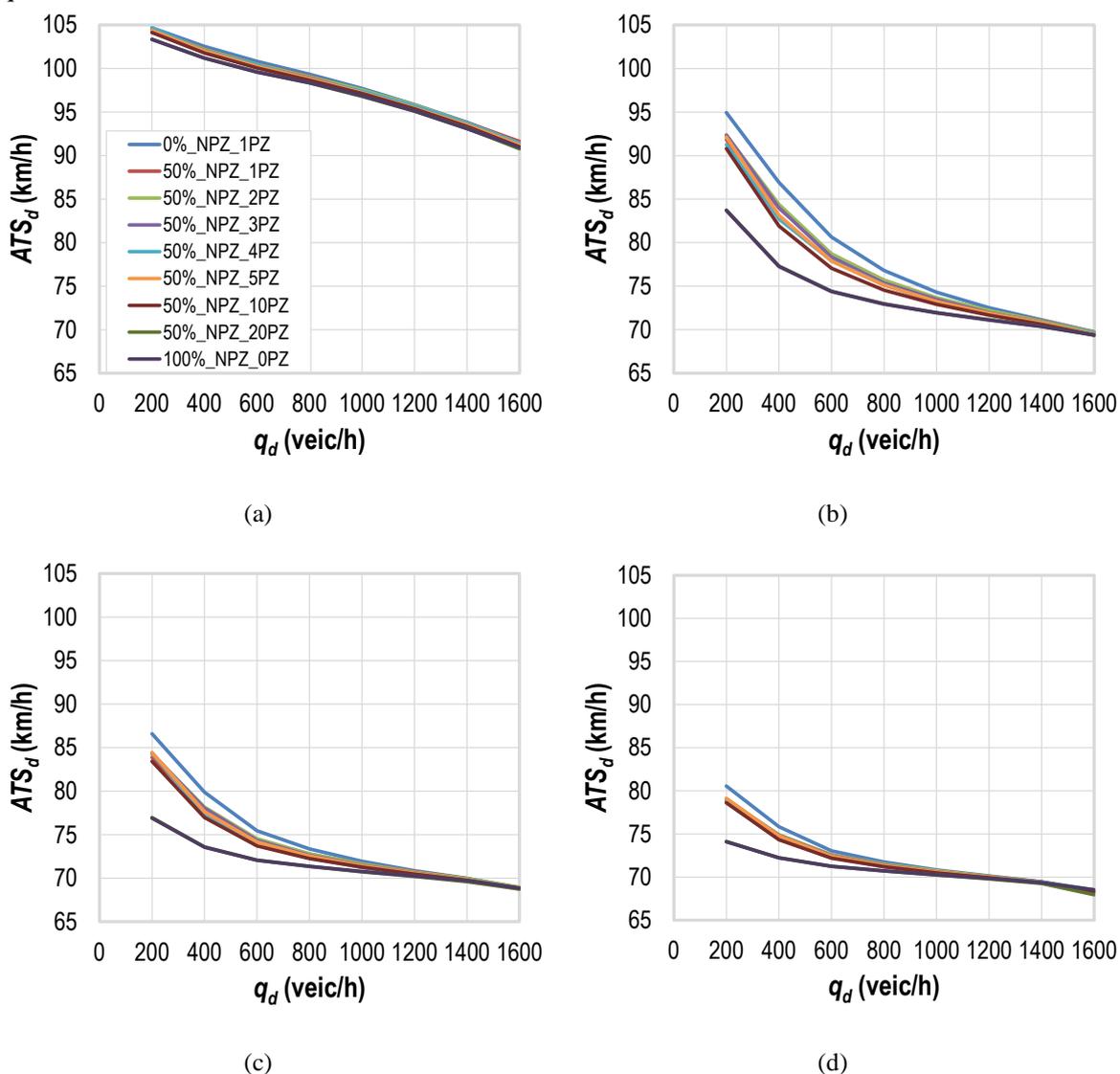


Figura 2 - Variação de ATS_d , com $P_{hv} = 0\%$ (a), 20% (b), 40% (c) e 60% (d)

Na Figura 3, é possível identificar os valores de NU_d quando as condições de tráfego e de NPZ mudam. Diferente do que se observa com a ATS_d , a quantidade de manobras varia bastante de acordo com a configuração das zonas de ultrapassagens proibidas, e aumenta quando $NPZ = 0\%$. Quando $P_{hv} = 0\%$, os valores de NU_d são baixos, pois há menos conflitos de velocidades desejadas por não ter presença de veículos pesados. No entanto, valores maiores de NU_d ocorreram não com o valor máximo de P_{hv} , mas quando era de 20% . Isso ocorre, provavelmente, porque, a partir de um determinado de P_{hv} , as oportunidades de ultrapassagens começam a cair em decorrência da maior dificuldade em se ultrapassar veículos longos.

Para todos os cenários de NPZ e quando os valores de P_{hv} são maiores que 0% , os valores de NU_d atingem um pico quando q_d tem um valor intermediário, em torno de 800 veic/h. Esse resultado também é considerado razoável, pois as oportunidades de ultrapassagens começam a diminuir à medida que o fluxo de tráfego aumenta, em ambos os sentidos, mas principalmente para o sentido de tráfego analisado. Vale lembrar que a quantidade de ultrapassagens está diretamente relacionada com a qualidade de serviço percebida pelos usuários de rodovias de pista simples [25].

Na tentativa de identificar as maiores variações em relação às condições básicas (quando

(NPZ = 0% e $P_{hv} = 0\%$), foram calculadas as diferenças de ATS_d e NU_d para condições não básicas. A Tabela 3 apresenta essas diferenças para essas medidas de desempenho obtidas. Dois resultados sistemáticos podem ser observados da Tabela 1: i) as maiores diferenças, em relação às condições básicas, tanto para ATS_d quanto para NU_d , ocorrem quando as zonas de ultrapassagens proibidas aumentam e são mais restritivas; ii) as maiores diferenças também ocorrem quando $P_{hv} = 40\%$.

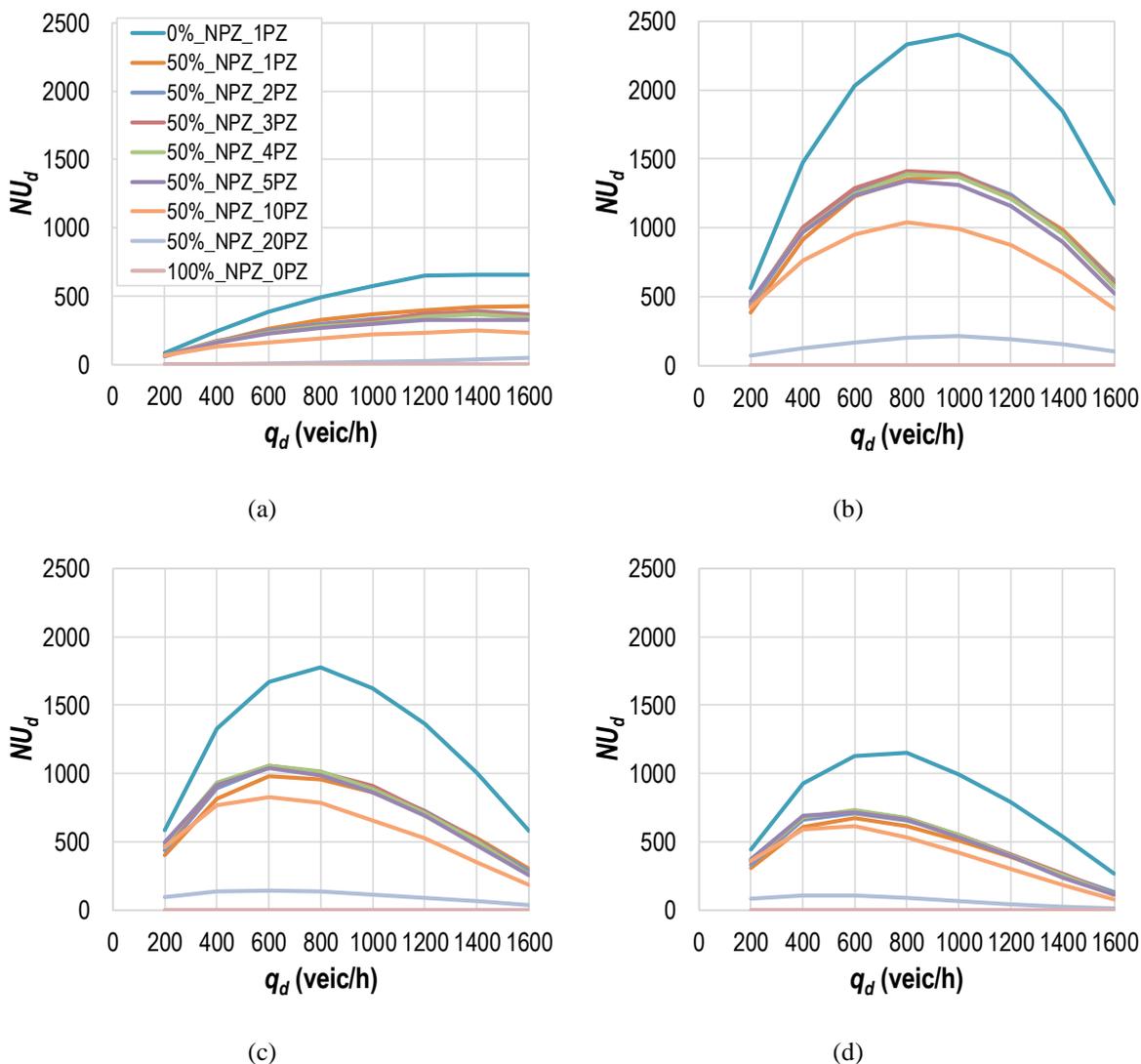


Figura 3 - Variação de NU_d , com $P_{hv} = 0\%$ (a), 20% (b), 40% (c) e 60% (d)

7. Conclusões e recomendações para trabalhos futuros

Este artigo teve, como meta, analisar o comportamento da modelagem de rodovias de pista simples para um simulador de tráfego, o VISSIM. Foram analisadas as variações de duas medidas de desempenho, ATS_d e NU_d , de acordo com a variação das zonas de ultrapassagens proibidas (NPZ), da porcentagem de veículos pesados (P_{hv}) e do fluxo de tráfego unidirecional (q_d). Os resultados encontrados permitiram verificar que ATS_d é pouco sensível à variação dos valores de NPZ, embora tenham tido alguma alteração quando P_{hv} aumenta. Para NU_d , os resultados variaram mais em relação aos valores de NPZ, tendo sido encontrado um pico para valores intermediários de q_d e P_{hv} .

A calibração e a validação do VISSIM foram realizadas com base em um Algoritmo Genético (AG), mas somente após estimar outros parâmetros fundamentais do simulador, como aqueles ligados ao desempenho de veículos pesados. Para trabalhos futuros, recomenda-se obter

parâmetros de calibração diretamente dos dados de campo, sem usar uma metaheurística de busca e otimização (como um AG), a fim de ter uma maior confiabilidade nos valores obtidos.

O método de análise proposto neste artigo pode ser utilizado para outros simuladores que modelam rodovias de pista simples, como o AIMSUN, o CORSIM e o TransModeler. Com isso, pode-se analisar as diferenças entre os simuladores, com foco nos submodelos de cada software. Recomenda-se, ainda, obter novos dados de tráfego, com uma maior diversidade em termos de geometria viária, fluxo de tráfego e composição viária.

Tabela 3 - Diferenças de ATS_d e de NU_d obtidas com o VISSIM em relação às condições básicas

q_d (veic/h)	50%_NPZ_1PZ						50%_NPZ_2PZ						50%_NPZ_3PZ					
	Phv						Phv						Phv					
	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60
	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d
200	0,22	24	3,11	173	2,72	181	0,23	21	2,61	128	2,31	142	0,36	17	2,57	110	2,29	115
400	0,31	75	2,93	562	2,08	511	0,35	78	2,52	499	1,73	434	0,45	72	2,89	476	1,84	416
600	0,31	122	1,97	802	1,04	692	0,34	139	1,93	765	0,92	625	0,50	148	2,30	744	1,11	612
800	0,26	168	1,13	979	0,58	816	0,30	194	1,13	943	0,55	763	0,45	208	1,44	918	0,73	763
1000	0,23	203	0,68	1027	0,34	764	0,17	242	0,62	1015	0,32	736	0,45	249	0,82	1008	0,47	715
1200	0,18	257	0,36	1031	0,12	650	0,05	294	0,32	1008	0,15	639	0,32	281	0,55	1027	0,25	644
1400	0,05	238	0,10	865	0,02	480	0,09	266	0,16	887	0,01	493	0,23	275	0,29	889	0,16	490
1600	0,13	230	0,05	566	0,07	277	0,10	287	0,07	571	0,06	297	0,30	292	0,28	588	0,06	319
q_d (veic/h)	50%_NPZ_4PZ						50%_NPZ_5PZ						50%_NPZ_10PZ					
	Phv						Phv						Phv					
	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60
	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d
200	0,00	16	3,67	98	2,21	102	0,31	15	2,81	94	2,14	85	0,55	19	4,14	139	3,17	124
400	0,49	80	4,20	504	2,61	397	0,53	81	3,79	508	2,26	415	0,75	115	5,01	713	2,91	561
600	0,36	155	2,71	784	1,26	616	0,58	157	2,75	797	1,31	633	0,76	222	3,58	1083	1,74	846
800	0,63	213	1,68	944	0,99	757	0,53	227	1,70	989	0,82	789	0,70	302	2,27	1295	1,11	987
1000	0,34	266	1,14	1030	0,71	738	0,51	274	1,07	1089	0,53	764	0,60	350	1,39	1406	0,69	972
1200	0,18	301	0,66	1035	0,38	658	0,43	326	0,62	1088	0,29	677	0,51	421	0,84	1377	0,40	843
1400	0,08	293	0,34	894	0,20	504	0,31	330	0,35	952	0,18	532	0,48	410	0,53	1180	0,22	654
1600	0,08	314	0,15	612	0,08	321	0,27	329	0,28	659	0,17	325	0,49	422	0,37	770	0,08	400
q_d (veic/h)	50%_NPZ_20PZ						100%_NPZ_0PZ											
	Phv						Phv											
	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60						
	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d	ATS_d	NU_d						
200	1,33	82	11,20	486	9,63	489	1,34	83	11,24	559	9,70	583						

400	1,35	242	9,61	1353	6,29	1189	1,34	243	9,65	1477	6,32	1328
600	1,20	378	6,24	1865	3,37	1526	1,22	384	6,27	2032	3,38	1671
800	1,00	480	3,83	2129	2,00	1637	0,99	492	3,88	2332	2,00	1775
1000	0,92	553	2,37	2190	1,22	1511	0,83	571	2,33	2400	1,19	1626
1200	0,77	624	1,37	2056	0,66	1279	0,75	650	1,41	2248	0,62	1366
1400	0,70	619	0,77	1695	0,38	942	0,74	657	0,76	1850	0,25	1005
1600	0,71	606	0,38	1079	0,15	543	0,54	654	0,35	1177	0,07	581

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG, pelo apoio financeiro sob número de processo TEC-APQ-03818-18, e ao CNPq, pelo apoio financeiro sob os números de processo 312651/2018-0 e 439250/2018-8. Agradecem à CAPES, pelo suporte à pesquisa, e à Concessionária Via040 e à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) pelo apoio à pesquisa e pelos recursos financeiros disponibilizados para o desenvolvimento do trabalho.

Referências

- [1] Transportation Research Board (TRB), Highway Capacity Manual 2010, 2010.
- [2] C. J. Hoban, R. J. Shepherd, G. J. Fawcett, G. K. Robinson. A model for simulating traffic on two-lane rural roads – User guide and manual for TRARR Version 3.2, Victoria, Australia, AARB, 1991.
- [3] L. Leiman, A. D. May. User-Friendly interface for rural highway computer simulation models with emphasis on the incorporation of the TWOPAS model, In: Report N° FHWA/CA/TO-96/25, NTIS-National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce. University of California, Berkeley ,CA, 1996.
- [4] Transportation Research Board (TRB), Highway Capacity Manual 2000, 2000.
- [5] McTrans, CORSIM – User’s Guide. TSIS Version 6.2, McTrans, University of Florida, 2010.
- [6] Planung Transport Verkehr (PTV), VISSIM 10 User Manual, 2018.
- [7] TSS. Aimsun Next Manual, 2018.
- [8] S. Washburn, J. Li. Development of a Simulation Program for Two-Lane Highway Analysis. Center for Multimodal Solutions for Congestion Mitigation (CMS), CMS Project Number: 2008-002, 2010.
- [9] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2001.
- [10] C. M. Lima, L. V. Fleury, F. A. E. Silva, J. E. Bessa Jr., A. L. Costa, D. M. C. Velho, A. F. Andalício. Caracterização da frota de caminhões da rodovia BR-040 para fins de simulação microscópica com o VISSIM, In: Anais do XXXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 4-7 de novembro, Gramado, Brasil, 2018.
- [11] F. A. Silva, J. E. Bessa Jr., A. L. Costa, A. L. Cunha, A. F. Andalício, D. M. C. Velho, V. S. Nazareth. Avaliação do efeito de faixas adicionais de subida em segmentos de rodovias de pista simples: Transportes, 29 (2021) 1-16.
- [12] F. A. Silva, J. E. Bessa, A. L. Costa, A. L. Cunha, D. M. C. Velho. Analysis of no-passing zones to assess the level of service on two-lane rural highways in Brazil: Case Stud. Transp. Policy, 10 (2022), 248-256.
- [13] M. T. Haq, A. Farid, K. Ksaibati. Estimating passing sight distances for overtaking truck platoons – Calibration and validation using VISSIM: Int. J. Transp. Sci. Technol., 11 (2022), 255-267.
- [14] T. Ren, Y. Xie, L. Jiang. New England merge: a novel cooperative merge control method for improving highway work zone mobility and safety: J. Intell. Transp. Syst., 25 (2021) 107-121.

- [15] DJI, Mavic Pro: User manual, 2017.
- [16] Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94, 2017.
- [17] A. L. B. N. Cunha. Sistema automático para obtenção de parâmetros do tráfego veicular a partir de imagens de vídeo usando OpenCV. Tese de Ph.D., USP, São Paulo, SP, 2013.
- [18] V. M. Lacerda. Estimção da velocidade média em vias urbanas com o uso do microssimulador VISSIM. Dissertação de M.Sc., UFC, Ceará, CE, 2016.
- [19] S. Chiappone, O. Giuffrè, A. Grannà, R. Mauro, A. R. Sferlazza. Traffic simulation models calibration using speed–density relationship: An automated procedure based on genetic algorithm: *Expert Syst. Appl.*, 44 (2016) 147-155.
- [20] A. T. Moreno, C. Llorca, S. Washburn, J. E. Bessa Jr. Operational Considerations of Passing Zones for Two-lane Highways: Spanish Case Study: *Promet - Traffic & Transportation*, 30 (2018) 601-612.
- [21] D. E. Goldberg. *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989.
- [22] J. E. Bessa Jr., J. R. Setti, S. S. Washburn. Evaluation of models to estimate percent time spent following on two-lane highways: *J. Transp. Eng., Part A: Systems*, 5 (2017) 1-9.
- [23] J. E. Bessa Jr., J. R. Setti. Evaluating measures of effectiveness for quality of service estimation on two-lane rural highways: *J. Transp. Eng., Part A: Systems*, 9 (2018) 1-10.
- [24] J. Bean. Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization: *ORSA Journal of Computing*, 6 (1994) 154-160.
- [25] J. F. Morral, A. Werner. Measuring level of service of two-lane highways by overtakings. *Transportation Research Record (1287)*, TRB, 1990.

ORCID

F.A. Silva	0000-0001-9925-282X	(https://orcid.org/0000-0001-9925-282X)
J.E. Bessa Júnior	0000-0002-1958-8794	(https://orcid.org/0000-0002-1958-8794)
A.L. Costa	0000-0002-6560-6615	(https://orcid.org/0000-0002-6560-6615)
A.L.B.N. Cunha	0000-0002-0520-0621	(https://orcid.org/0000-0002-0520-0621)
D.M.C. Velho	0000-0001-6561-7819	(https://orcid.org/0000-0001-6561-7819)
A.F. Andalício	0000-0002-0062-6455	(https://orcid.org/0000-0002-0062-6455)

Obtaining characteristics of alternatives from Revealed Preference data using the CART algorithm

Obtenção de características das alternativas a partir de dados de Preferência Revelada e algoritmo CART

V. A. Gomes^a, C. S. Pitombo^{a†}, L. Assirati^a, C. F. Cerveira^a

^a *University of São Paulo, São Carlos School of Engineering, Transportation Engineering Department São Carlos, São Paulo, Brazil*

[†] *Associate Professor, corresponding author: cirapitombo@usp.br*

ABSTRACT

In general terms, discrete choice models are calibrated using data obtained from Revealed Preference (RP) and Stated Preference (SP) surveys. In transportation planning, one of the main sources of data is the Origin/Destination (O/D) Survey, which is an RP survey and describes the actual choices and behaviors of individuals. However, it is not possible, through this source, to characterize the alternatives not chosen. This study has two related aims: (1) to propose a criterion to characterize the travel mode alternatives using RP data, and (2) to test the improvement of travel mode choice estimates based on including characteristics of alternatives. First, the CART (Classification and Regression Tree) algorithm was used to characterize the travel times of the travel modes available in the study area (city of São Paulo, Brazil). The trips were classified according to independent variables selected by the algorithm, and average travel time values were obtained for five travel mode alternatives – information not previously available in the RP survey. Finally, the improvement of discrete choice modeling, based on including average travel times, was tested using a validation sample and performance metrics, such as Hit rates and LogLikelihood values. An increase in estimates was observed from including travel duration, and the proposed method is an academic contribution to the modeling based on RP data.

RESUMO

Em termos gerais, a calibração do modelo de escolha discreta se dá através de dados obtidos por pesquisas de Preferência Revelada (PR) e Declarada (PD). No planejamento de transportes, uma das principais fontes de dados é a Pesquisa O/D, que é uma pesquisa de PR e descreve as escolhas e comportamentos reais dos indivíduos. Entretanto, não é possível, através desta fonte, caracterizar as alternativas não escolhidas. Este trabalho possui dois objetivos associados: (1) propor um critério para caracterizar, de forma agregada, as alternativas modais, utilizando dados de PR e (2) testar o aprimoramento de estimativas de escolha modal a partir da inclusão das características agregadas das alternativas. Primeiramente, foi utilizado o algoritmo CART (*Classification And Regression Tree*) para caracterizar os tempos de viagem dos modos de transporte disponíveis na área de estudo (Cidade de São Paulo, Brasil). As viagens foram agrupadas, segundo variáveis independentes selecionadas pelo algoritmo, e foram obtidos valores médios de tempos de viagens para cinco alternativas modais – informação anteriormente não disponível na pesquisa de PR. Finalmente, o aprimoramento da modelagem de escolha discreta, a partir da inclusão dos tempos de viagens médios, é testado através de uma amostra de validação e métricas de desempenho, tais

Keywords:

Travel time; Travel mode choice; RP data; Decision Tree

Palavras-chave:

Tempo de viagem; Escolha do modo de viagem; Dados de PR; Árvores de Decisão.

como Percentual de Acertos e Valor do log da Verossimilhança. Observou-se um incremento das estimativas a partir da inclusão das durações de viagens, sendo o método proposto uma contribuição acadêmica para a modelagem a partir de dados de PR.

1. Discrete choice models and revealed and stated preference Surveys

Discrete choice models were developed to characterize consumer behavior and choices [1,2]. However, the application of these models has been extended to several areas of knowledge, as they combine the economic theory of behavior with an econometric method of dispersion analysis at the individual level.

According to [3], a consumer who is in the process of choosing to purchase a product or service analyzes the available alternatives and chooses the one that provides the greatest satisfaction. The process can be characterized by a system formed by the following elements: (1) decision maker; (2) alternatives; (3) attributes of alternatives; (4) decision rule. The present study focuses on characterizing the attributes of the alternatives, more specifically an attribute of the alternatives of the travel modes available in the study area, the travel time.

Discrete choice model applications provide a good degree of predictability of user behavior and, therefore, have been widely used in the area of transport demand for decades [4,5,6,7,8,9,10,11]. These models make use of data obtained from Revealed Preference (RP) and Stated Preference (SP) techniques, in which the RP data represent choices effectively made by individuals and the SP data refer to choices considering a set of options in which hypothetical scenarios are presented to the consumer for him/her to indicate his/her option [12,13].

For decades, many authors have developed studies combining the two types of surveys [4,14,15,16,17]. However, by using only RP data, individuals and not the alternatives can be characterized, possibly affecting discrete choice modeling.

1.1. Characterization of alternatives from RP data

Origin-Destination (OD) household surveys are important sources of data for studies in the field of transportation engineering and allow future projections of a community's travel needs to be established. For years, these surveys have provided information to urban and transport planning in many cities.

OD surveys, as a Revealed Preference (RP) database, describe the real choices and behaviors of individuals, they have a wide spatial coverage and a large number of interviews. However, the data portray the information of the trips actually made by the interviewee, not presenting, however, information about the other possible alternatives.

To improve discrete choice modeling, it is important to have variables that describe the possible alternatives in the choice set. Some studies have proposed different methods to estimate aggregate characteristics of alternatives, based on Revealed Survey data [18,19,20].

What can be observed is that in these studies, only the time and cost of the trip were used, and the grouping criteria were defined subjectively. In the present article, a set of variables associated with trips is used and a clustering tool is applied with dependency relationships and criteria based on the homogeneity of the groups to estimate, in an aggregated way, the travel time of all alternatives available in the study area.

In this context, this study has two objectives: (1) to propose a criterion to characterize the travel mode alternatives, using RP data and (2) to test the improvement of travel mode choice estimates from the inclusion of aggregate characteristics of the alternatives. First, the CART (Classification and Regression Tree) algorithm was used to characterize the travel times of the travel modes available in the study area (City of São Paulo, Brazil – OD Survey 2007). Then, the Multinomial Logit Model (MNL) was carried out, initially with socioeconomic variables. Finally, utility functions were calibrated including travel times of all travel mode alternatives, previously estimated by the CART algorithms.

Recently, an amount of travel data could be obtained using cellular networks and app data. Some authors have tried to get trip information using these tools [21,22]. This information

could be important to complete RP surveys for example. However, the location data available could be very sparse on cellular networks. Additionally, some important information regarding trip purpose were always missing on apps collection. Thus, there were some important discussions considering how these data can be processed in order to efficiently be used for travel behavior modeling. Finally, despite of all the possibilities of getting travel information, this study purposes a procedure to get travel data easely, associated to importante information such as trip purposes, travel mode use, etc.

2. Description of the tools used

2.1. CART (Classification and Regression Tree)

The CART algorithm successively performs binary partitions of the database, based on inductive rules of the “If...then...” type, to obtain increasingly homogeneous subsets according to dependent variable values. Its structure resembles a tree. The total dataset (root node) is separated by sequential divisions (child nodes). These divisions continue until the terminal nodes (or leaves), when it is no longer possible to obtain any subgroup, considering the stopping rules adopted. For the construction of the tree, three parameters must be defined: a set of rules delimiting data division; a criterion to evaluate the best division to produce the child nodes; and a rule that determines the limit of subdivisions (stop-splitting rule) [23].

For the numerical dependent variable case, as in the work carried out by Pianucci and Pitombo [24], the splitting criterion is called a reduction in variance [25,26] which represents the reduction in variance of the dependent variable within each node. The reduction in variance, which represents the impurity function, is presented in Equation

$$I_v(N) = \frac{1}{|S|^2} \sum_{i \in S} \sum_{j \in S} \frac{1}{2} (x_i - x_j)^2 - \left(\frac{1}{|S_t|^2} \sum_{i \in S_t} \sum_{j \in S_t} \frac{1}{2} (x_i - x_j)^2 + \frac{1}{|S_f|^2} \sum_{i \in S_f} \sum_{j \in S_f} \frac{1}{2} (x_i - x_j)^2 \right) \quad (1)$$

Where:

$I_v(N)$ = a reduction in variance at node N; S = test sample set; S_t = test sample set for which the explanatory variable value is true; S_f = test sample set for which the explanatory variable value is false; x_i = dependent variable value of the test sample; x_j = dependent variable value of the sample that comprises node N.

It should be mentioned that the main result, in this case, would be the set of observations of each terminal node, associated with the average dependent variable value. In the case of this study, each set of trips, which comprises each of the obtained terminal nodes, is associated with average values of travel times.

2.2. Discrete choice models

Discrete choice models are based on the microeconomic theory of the consumer, which provides a basis for identifying individual preferences [3]. The principle of discrete choice models is to estimate utility functions. These functions measure the preference for alternatives and are based on a combination of coefficients and variables, which characterize the alternatives and the individuals [1].

In the Multinomial Logit model (MNL), used in this study, utility is treated as a random variable, formed by a component called deterministic or systematic, and another random component, which reflects the “irrationalities” of the individual choice [1]. Thus, the utility for an alternative i for an individual n (U_{in}) can be expressed through Equation 2.

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (2)$$

Where U_{in} is the global utility of an alternative i for an individual n , V_{in} is the systematic component of the utility of an alternative i for an individual n and ε_{in} , the random component (which can be a function), represents an unknown portion of the utility function that captures the dispersion of choices and factors not controllable or unknown. The error function is a random deviate, which contains all the unobserved determinants of the utility. One important assumption

of MNL model is the independence of the errors. The logit model is obtained by assuming that each ε_{in} is independently, identically distributed extreme value. The distribution is also called Gumbel and type I extreme value [2]. The most common way of representing the systematic components is linear (Equation 3).

$$V_{in} = \beta_0 + \beta_1 x_{in1} + \beta_2 x_{in2} + \beta_3 x_{in3} + \dots + \beta_k x_{ink} \quad (3)$$

Where:

k : number of attributes of alternative i for individual n

β_0 :: Constant

β_k : Relative weight of the x_{ink} attribute in the composition of the utility function.

Finally, the probability of choosing an alternative can be calculated by Equation 4.

$$Pr(i/C_n) = Pr\{U_{in} \geq U_{jn} \forall j \in C_n\} = Pr\{U_{in} = \max_{j \in C_n} U_{jn}\} \quad (4)$$

Where C_n corresponds to the set of choices of n individuals.

The Multinomial Logit model is estimated by the maximum likelihood (Equation 5). The maximization of the function is obtained by maximizing the productivity of the probabilities of the alternatives actually chosen by each individual.

$$LL = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} P_{ni}^{y_{in}} \quad (5)$$

3. Materials and Methods

3.1. Materials

This study used data from the Origin-Destination Survey (OD), carried out in São Paulo Metropolitan Area (SPMA), Brazil in 2007, in which information was collected from 30,000 randomly chosen households. In these households, distributed in the 460 Traffic Analysis Zones (TAZs), approximately 120 thousand people were interviewed. In this study, only the interviews carried out in the city of São Paulo were used (Figure 1).

The latest database available in the period related to this analysis was from 2007 OD survey.

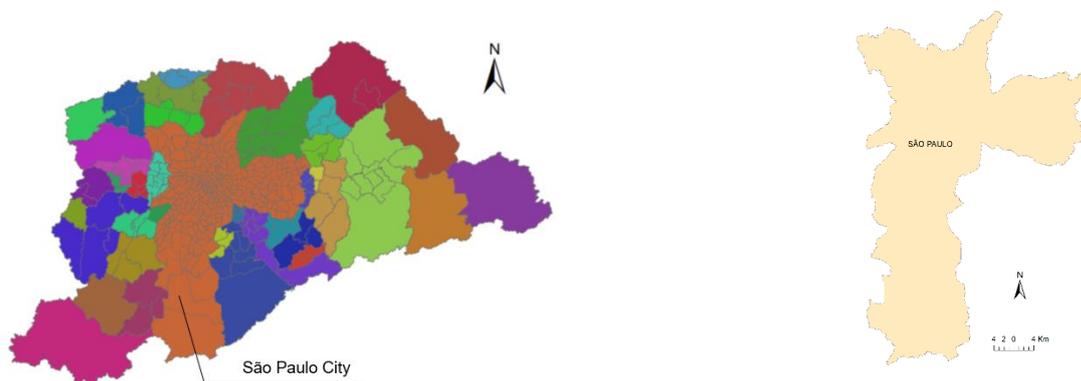


Figure 1 - Origin Destination Survey – SPMA 2007. Source: Metrô (2008)

The survey comprises four databases: aggregated Traffic Analysis Zones; disaggregated trips; disaggregated households; and disaggregated individuals. In this study, disaggregated trip data were used, associated with the individual's identifier, as well as their characteristics and the household variables. Table 1 describes the variables used in this study. The variable “departure trip time” was grouped into six categories, depending on the peak and between peak periods. The table also describes the methodological step in which each of the variables was used.

Table 1 – Sample Variables.

Variables	Nature		Methodological Step	
Level of Education	Ordinal Qualitative			Logit
Number of cars	Quantitative	Discrete		Logit
Family income	Quantitative	Continuous		Logit
Gender	Nominal Qualitative			Logit
Age	Ordinal Qualitative			Logit
Origin trip purpose	Nominal Qualitative		CART	
Destination trip purpose	Nominal Qualitative		CART	
Departure trip time	Nominal Qualitative		CART	
Time walking at the origin	Quantitative	Continuous	CART	
Time walking at the destination	Quantitative	Continuous	CART	
Travel time for used travel mode	Quantitative	Continuous	CART	
Main travel mode	Nominal Qualitative		CART	Logit
Trip Distance	Quantitative	Continuous	CART	

3.2. Method

The proposed method comprises the application of two tools: (1) the CART algorithm, to obtain the travel times, aggregated by groups, of all travel modes available in the study area and (2) the modeling through the Multinomial Logit model in two different steps. The first considering only the socioeconomic characteristics of the interviewees (Model 1) and a second modeling (Model 2) in which the estimated travel times of all travel modes available in the study area were included. Figure 2 illustrates the sequence of the methodological procedure, and the next subsections describe the illustrated steps.

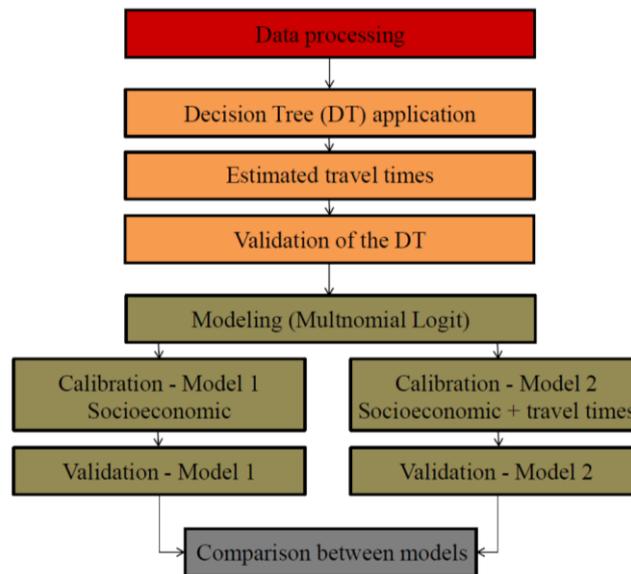


Figure 2 – Methodological sequence

Data processing: Initially, the database was analyzed and the disaggregated final sample (by trips) was obtained with socioeconomic data on the interviewee, household and travel data. The final sample is characterized by the trip carried out, associated with the individual identifier. The data are presented in Table 1.

CART algorithm application and estimation of aggregate travel times: In this step, the CART algorithm was applied to estimate the travel times of all available travel modes. The independent variables used were: trip distance, departure trip time clusters, origin trip purpose, destination trip purpose. The main travel modes were grouped into five categories: private motorized travel mode (1), bus (2), subway or train (3), bicycle (4) and walking (5). This procedure was previously proposed by Gomes *et al.* [27].

Validation of travel time estimates using Decision Tree (DT): In order to validate this step of the method, statistical tests were performed, comparing the estimated travel times (by the travel mode actually used) with the travel duration values actually performed by the interviewee. The sample was randomly split and training (70%) and test (30%) samples were obtained. The error measures were then calculated with the test sample: Mean Square Error, Root Mean Square Error, Mean Absolute Error and Pearson's Correlation.

Multinomial Logit Modeling: In this methodological step, the utility functions of the Multinomial Logit models were defined. Part of the sample was randomly separated for calibration (70%) and validation (30%). In this step, the Biogeme software [28] was used. The first model (Model 1) contained only socioeconomic variables, while the second model (Model 2) incorporated the aggregate variables of travel times.

Model 1: In Model 1, the socioeconomic characteristics of the individuals were considered as independent variables, namely: "level of education", "age", "gender", "number of cars" and "family income". The dependent variable was the main travel mode (with five categories). Equations 6, 7, 8, 9 and 10 represent utility functions in their literal form. The authors chose to cancel one of the utility functions to reduce the number of parameters to be estimated. The choice of utility 2 as a reference ($V_2 = 0$) occurred, considering the smallest number of observations for category 2 (bus). This modeling structure was proposed to minimize the number of non-significant parameters of the model. Additionally, the authors carried out diverse tests varying the reference utility function. The best model global performance was described as equations 6,7,8,9 and 10.

$$V_1 = ASC_1 + B_1_GENDER*GENDER + B_1_AGE*AGE + B_1_LEVEL\ OF\ EDUCATION*LEVEL\ OF\ EDUCATION + B_1_FAMILY\ INCOME*FAMILY\ INCOME + B_1_N\ OF\ CARS*N\ OF\ CARS \quad (6)$$

$$V_2 = 0 \quad (7)$$

$$V_3 = ASC_3 + B_3_GENDER*GENDER + B_3_AGE*AGE + B_3_LEVEL\ OF\ EDUCATION*LEVEL\ OF\ EDUCATION + B_3_FAMILY\ INCOME*FAMILY\ INCOME + B_3_N\ OF\ CARS*N\ OF\ CARS \quad (8)$$

$$V_4 = ASC_4 + B_4_GENDER*GENDER + B_4_AGE*AGE + B_4_LEVEL\ OF\ EDUCATION*LEVEL\ OF\ EDUCATION + B_4_FAMILY\ INCOME*FAMILY\ INCOME + B_4_N\ OF\ CARS*N\ OF\ CARS \quad (9)$$

$$V_5 = ASC_5 + B_5_GENDER*GENDER + B_5_AGE*AGE + B_5_LEVEL\ OF\ EDUCATION*LEVEL\ OF\ EDUCATION + B_5_FAMILY\ INCOME*FAMILY\ INCOME + B_5_N\ OF\ CARS*N\ OF\ CARS \quad (10)$$

ASC_i: alternative specific constant of alternative i.

Model 2: In Model 2, in addition to the variables listed in Model 1, the travel times estimated in the previous step were considered as independent variables. At this stage, to define if the model was generic or specific, a simple test (likelihood ratio test) was performed to corroborate the null hypothesis that the coefficients are significantly similar. The null hypothesis is rejected for the following case:

$$-2(L_R - L_u) > \chi^2_{((1-\alpha),gl)} \quad (11)$$

$L_R - L_u$ = difference between the Likelihood of the restricted (generic) and unrestricted model (specific coefficients); $\chi^2_{((1-\alpha),gl)}$ = Chi-Square distribution with for the level of significance and degrees of freedom – gl – equivalent to the difference of parameters estimated by the model with specific coefficients and generic model.

After deciding between calibrating the generic or specific model, its accuracy is evaluated through the adjusted Rho-square, Likelihood value, Loglikelihood and Akaike information criterion. The adjusted rho-squared metric is defined by Equation (12):

$$\rho_*^2 = 1 - \frac{L^* - K}{L_0} \quad (12)$$

L_0 is the likelihood value obtained by assuming all model parameters as zero and L^* is the maximum likelihood value obtained when the parameters correspond to the estimated values. Thus, an ideal model tends to the unit because the ratio L^* (case where the parameters have their optimal values) by L_0 (the case where the parameters are all null), tends to zero because L^* is much smaller than L_0 . K is the number of estimated parameters.

The Akaike criterion is defined by Equation 13. The values of K and L^* are similar to the previous ones. Established by subtracting the K number of parameters and the logarithm of the maximum likelihood L^* value, the Akaike formulation makes the criterion penalize overfitting (the act of adding too many variables to the equations in order to obtain better adjustments, lacking criteria for such addition) and it is for this reason that lower values for this criterion are sought.

$$A = 2K - 2\ln L^* \quad (13)$$

Validation, comparison between the validation models and results: The validation and comparison between models were performed with part of the sample, selected at random, and the goodness of fit of models 1 and 2 was measured. The hit rates and Likelihood values were used as parameters for measuring the quality of both models.

4. Results and Discussion

This section presents the results obtained in the aggregate characterization of the alternatives using the CART algorithm (objective 1) and in the modeling stage (objective 2), as well as the comparison of models and evaluation of the tools, using the validation samples.

4.1. The characterization of alternatives using the CART algorithm

For binary partitioning of the data, through the CART algorithm, the stopping criterion was used: minimum of observations in the terminal node = 30 observations. As a result, a total of 57 nodes were obtained, of which 29 were terminal nodes and a depth equal to 5. Each terminal node is characterized according to the cut-off conditions of the independent variables used and the average travel time associated with each travel mode, as shown in Table 2.

Table 2: Cut-off conditions at terminal nodes and travel times for the 5 travel modes.

Node	Cut-off conditions	ATT (min.)				
		Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
16	$235 < D \leq 512$	10.75	26.2	30.45	10.43	12.11
20	$1350 < D \leq 2445$ e Op = 3,2,6,9	23.2	40.66	35.21	20.71	30.25
30	$D > 30578$	22.19	47.42	48.33	22.5	21.7
31	$D \leq 76$	16.95	36.67	-	-	5.67
32	$76 < D \leq 235$	10.25	24.67	10	10.5	9.1
33	$512 < D \leq 921$ e Dp = 2,4,10,5	11.26	21.3	32.52	14.73	15.38
34	$512 < D \leq 921$ e Dp = 3,8,7,6,1,9	13.82	26.67	32.14	11.8	17.48
35	$D > 921$ e Dp = 4,7,10,5	12.88	24.69	24.32	17.78	20.95
36	$D > 921$ e Dp = 3,8,2,6,1,9	16.46	29.48	27.72	18.7	22.5
37	$1350 < D \leq 2445$; Op = 8,4,7,10,5,1 e Dp = 4,7,10	16.94	30.28	28.77	18.47	23.87

38	1350 < D <= 2445; Op = 8,4,7,10,5,1 e Dp = 3,8,2,5,6,1,9	19.2	33.11	31.66	22.62	26.84
39	2445 < D <= 3682; Op = 8,4,7,10,5 e Dp = 4,7,10,5	21.98	34.89	29.93	27.86	25.01
40	2445 < D <= 3682; Op = 8,4,7,10,5 e Dp = 3,8,2,6,1,9	24.81	39.07	34.12	29.77	25.55
41	2445 < D <= 3682; Op = 3,2,6,1,9 e Ch_s <= 5	29.74	47.13	40.19	32	34.68
42	2445 < D <= 3682; Op = 3,2,6,1,9 e Ch_s > 5	24.03	38.39	34.4	28	26.88
43	3682 < D <= 5281; Op = 8,4,7,10,5 e Ch_s <= 5	31.81	46.18	40.2	24.75	31.16
44	3682 < D <= 5281; Op = 8,4,7,10,5 e Ch_s > 5	25.69	39.87	36.32	30	30
45	3682 < D <= 5281; Op = 3,2,6,1,9 e Dp = 3,2,7,10,5	33.22	45.73	40.21	30	20
46	3682 < D <= 5281; Op = 3,2,6,1,9 e Dp = 8,4,6,1	38.15	55.86	48.16	28	44.55
47	5281 < D <= 7669; Op = 3,2,6,1 e Ch_s <= 5	46.04	69.95	56.5	41.25	17.73
48	5281 < D <= 7669; Op = 3,2,6,1 e Ch_s > 5	33.99	54	44.76	-	20
49	5281 < D <= 7669; Op = 8,4,7,10,5,9 e Dp = 3,2,7,6,1	38.14	61.36	49.24	39	12.45
50	5281 < D <= 7669; Op = 8,4,7,10,5,9 e Dp = 8,4,10,5,9	34.81	53.05	47.14	60	13.28
51	7669 < D <= 11134; Op = 8,4,7,10,5 e Ch_s <= 5	45.36	68.49	58.19	-	21
52	7669 < D <= 11134; Op = 8,4,7,10,5 e Ch_s > 5	33.53	65.4	57.07	30	15
53	7669 < D <= 11134; Op = 3,2,6,1,9 e Dp = 8,4,5,6	53.71	80.66	67.77	45	29.55
54	7669 < D <= 11134; Op = 3,2,6,1,9 e Dp = 3,2,7,10,1	46.01	69.4	57.93	-	10.5
55	11134 < D <= 30578 e Op = 4,7,10,5	44.75	77.16	77.21	-	23.73
56	11134 < D <= 30578 e Op = 8,3,2,6,1,9	56.03	93.03	82.22	-	19.59

ATT: Average Travel Time; D: distance (in meters); Op: Origin trip purpose (1, 2, 3 – Work in industry, commerce and services, respectively; 4 – School; 5 – Shopping; 6 – Health, 7 – Leisure; 8 – Household; 9 – Look for employment; 10 – Personal purpose); Dp: Destination trip purpose; Ch_s: cluster departure trip time (1: 6 to 9am; 2: 9 am to 12; 3: 12 to 2pm; 4: 2pm to 4pm; 5: 4pm to 8pm; 6: 8pm to 6am). Mode 1: Private Motorized; Mode 2: Bus; Mode 3: Subway and Train; Mode 4: Bicycle; Mode 5: Walking).

Figure 3 illustrates the tree map obtained for the training sample. The 57 nodes obtained are illustrated, as well as the 29 terminal nodes described in Table 2.

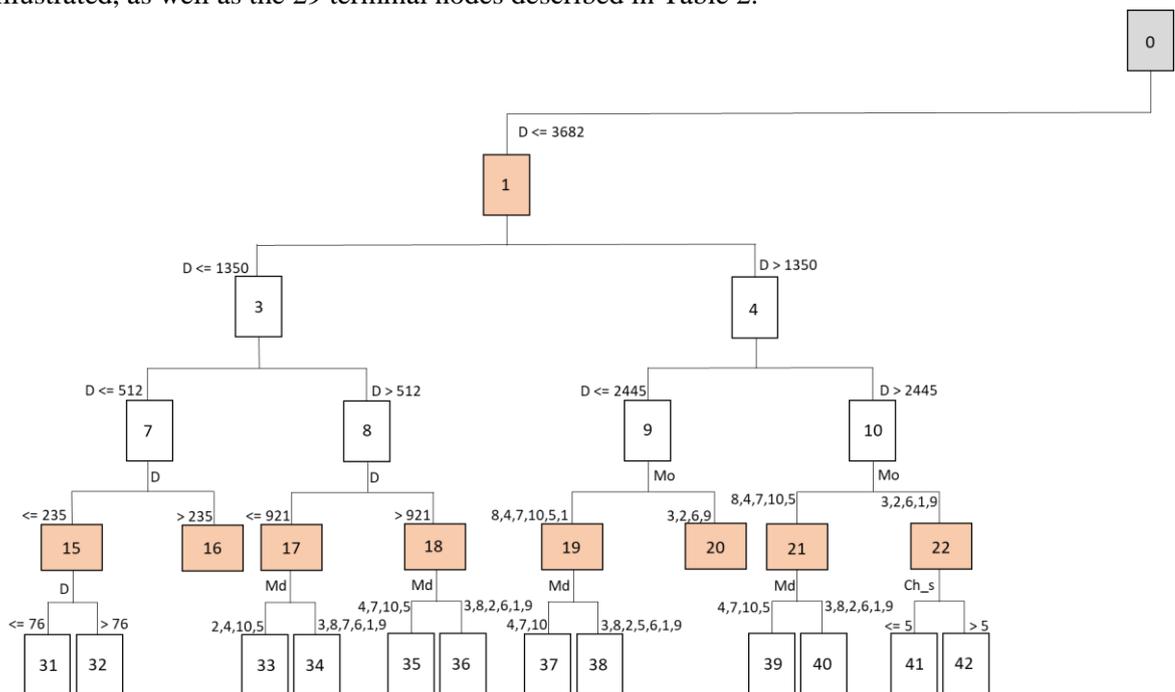


Figure 3 (a) - Map of the CART Algorithm - Branch 1

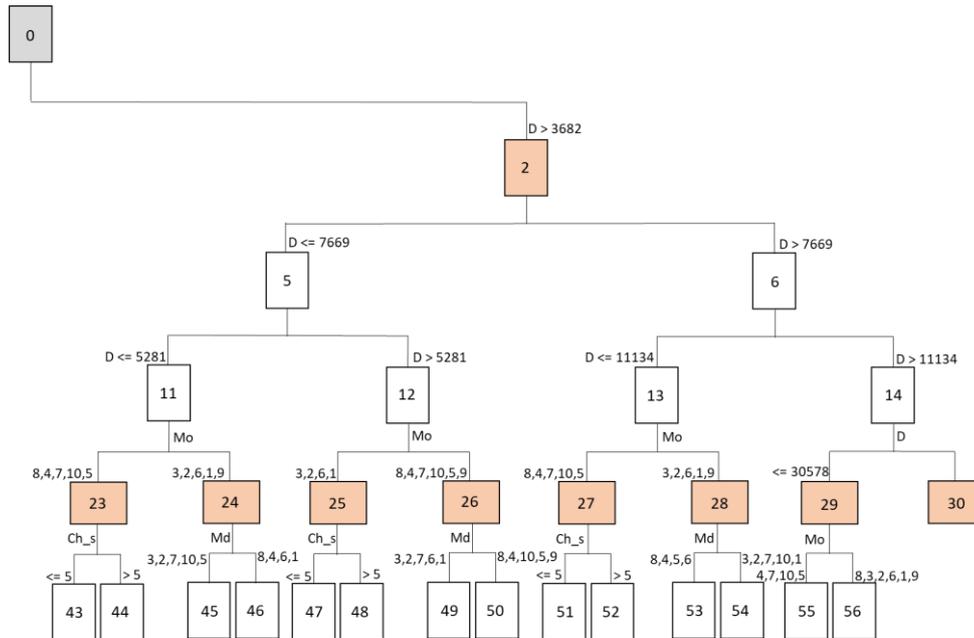


Figure 3(b) - Map of the CART Algorithm - Branch 2

In this tree, the important independent variables were: “D: trip distance”, “Ch_s: cluster trip departure time”, “Op: Origin trip purpose” and “Dp: Destination trip purpose”. Travel times, for all travel mode alternatives, were associated with the terminal nodes obtained at the fourth and fifth levels of the tree. Once the tree was generated, filters were made and the travel times for all five travel modes were identified at each terminal node (1: Private Motorized; 2: Bus; 3: Subway and Train; 4: Bicycle; 5: Walking).

In the validation, the following error measures were obtained: 378.677 for Mean Square Error, 19.46 for Root Mean Square Error, -0.065 for Mean Absolute Error and Pearson's Correlation was 0.638. The calculation of the measurements was performed considering observed and estimated values of travel times of the travel modes actually used from the test sample.

4.2. Modeling the alternatives

4.2.1 Model 1

For the Model 1 calibration sample, the following results were obtained: Rho-square adjusted equal to 0.326 and Akaike Information Criterion of 8.33×10^4 . With the validation sample, the following measures were calculated: Hit rates of 60.00%, likelihood value $L = 1.47 \times 10^{-42}$ and $\log(L) = -96.32$.

For disaggregated models for travel mode choice, values and Rho-squared adjusted around 0.20 and 0.40 are the most commonly found in the literature [29,4,30].

Equations 14, 15, 16, 17 and 18 are the calibrated utility functions of the travel modes: (1) private motorized mode, (2) bus, (3) subway or train, (4) bicycle and (5) walking, with the estimated parameters that were significant at a 95% confidence level.

$$V_1 = -1,36 - 0,390 \cdot \text{GENDER} + 0,194 \cdot \text{AGE} + 0,262 \cdot \text{LEVEL OF EDUCATION} + 0,0000706 \cdot \text{FAMILY INCOME} + 0,994 \cdot \text{N_OF CARS} \tag{14}$$

$$V_2 = 0 \tag{15}$$

$$V_3 = -2,01 - 0,350 \cdot \text{GENDER} + 0,145 \cdot \text{AGE} + 0,372 \cdot \text{LEVEL OF EDUCATION} + 0,000017 \cdot \text{FAMILY INCOME} + 0,117 \cdot \text{N_OF CARS} \tag{16}$$

$$V_4 = -2,35 * \text{GENDER} - 0,11 * \text{LEVEL OF EDUCATION} \quad (17)$$

$$V_5 = 1,09 - 0,115 * \text{GENDER} - 0,0598 * \text{AGE} - 0,0582 * \text{LEVEL OF EDUCATION} \quad (18)$$

The analysis of Model 1 brings results already proven in the literature on relationships between socioeconomic variables and travel mode choice [31,32,33]. The modeling shows a greater propensity to use the car (V1) for the male gender (Variable “gender = 0, Men; gender = 1, Women), as well as for older people, higher education level, higher family income and higher number of cars in the household (all parameters associated with such variables are positive). For the use of the subway or train (V3), relationships similar to those found for the use of the car are observed, however such relationships are demonstrably weaker, considering the intensity (in module) of the values of the estimated parameters, except for the case of variable “level of education”. The independent term for the utility of the subway also proves a lesser utility of this mode, to the detriment of the automobile. Bicycle use (V4) is associated with males and a lower level of education. In the case of the utility of the walking mode (V5), it presents relationships similar to those found for the use of the bicycle, including the negative influence of the variable “Age”.

4.2.2 Model 2

For the modeling that included travel times for the five travel mode options (Model 2), the likelihood ratio test was performed. The null hypothesis of similarity of coefficients (specific/unrestricted and generic/restricted) was refuted and then, a model with specific coefficients was chosen, associated with travel times for each alternative (unrestricted model). The statistically significant parameters, for a confidence level of 95%, are those presented in Equations 19, 21, 22 and 23. In this second model, the adjusted Rho-square equal to 0.454 and the Akaike Information Criterion of 6.17×10^4 were obtained. Concerning the validation sample, the following measures were calculated: Hit rates of 67.47%, with likelihood value $L = 6.51 \times 10^{-37}$ and $\log(L) = -83.32$. The global improvement of the modeling can be verified, in the calibration stage, by the increase of the adjusted Rho-square metrics and the decrease of the Akaike value. In the validation stage, the improvement of the estimates can be verified through the increase of L and decrease (in module) of $\log(L)$, as well as by the increase in correct answers.

$$V_1 = -1,51 - 0,402 * \text{GENDER} + 0,234 * \text{AGE} + 0,262 * \text{LEVEL OF EDUCATION} + 0,0000713 * \text{FAMILY INCOME} + 1,04 * \text{N OF CARS} \quad (19)$$

$$V_2 = 0 \quad (20)$$

$$V_3 = -4,05 - 0,270 * \text{GENDER} + 0,159 * \text{AGE} + 0,316 * \text{LEVEL OF EDUCATION} + 0,0000286 * \text{FAMILY INCOME} + 0,126 * \text{N OF CARS} + 0,0464 * \text{TRAIN TRAVEL TIME} \quad (21)$$

$$V_4 = 1,87 - 2,55 * \text{GENDER} - 0,0809 * \text{BIKE TRAVEL TIME} \quad (22)$$

$$V_5 = 5,68 - 0,209 * \text{GENDER} + 0,031 * \text{LEVEL OF EDUCATION} - 0,224 * \text{WALKING TRAVEL TIME} \quad (23)$$

Regarding socioeconomic variables, the same relationships between them and the utility of using a particular travel mode (V1; V3; V4 and V5) were found as in the previous modeling (Model 1). All these relationships have been previously proven in the literature. Regarding travel time, it is expected that the increase in travel time of a given travel mode alternative will negatively contribute to its usefulness [4]. This fact is proven in the calibrated equations for bicycle (V4) and walking (V5) modes. For the subway or train (V3), however, a coefficient with low and positive value is found, associated with the duration of the trip by subway/train. This result can be explained by the fact that, as in São Paulo, the fare is fixed (regardless of the travel distance), for very long trips, users opt for public transport, even if they have a car at home.

5. CONCLUSIONS

The present paper aimed to verify the improvement of the travel mode choice estimates, from the inclusion of variables related to the alternatives, obtained through CART algorithms and RP data. Initially, a modeling was performed with socioeconomic variables and Multinomial Logit Model, and later, utility functions were calibrated with the inclusion of travel times of all mode alternatives, previously estimated.

The data showed an improvement in the model from the inclusion of travel times. The CART algorithm, used in this study to estimate travel times, is based on the formation of homogeneous groups, according to the dependent variable, and cluster optimization taking into account the choice of independent variables (as well as cut-off values) that make class divisions meaningful. The procedure makes important contributions taking into account the following factors:

- The OD Survey is traditionally used in many countries. However, it only brings characteristics of the trips actually used, making the proper use of discrete choice modeling unfeasible, due to the lack of data related to unused alternatives.
- Some studies, previously found in the literature, proposed the aggregate characterization of the alternatives based on empirical criteria, according to the choice of variables, as well as cut-off values.
- To characterize the alternatives, through RP, the present article proposed a criterion, based on a non-parametric algorithm, for grouping trips and obtaining average values of variables that characterize alternatives (determined by the terminal nodes).
- The technique is easy to apply, without restrictions related to types of variables or population distributions.
- The same algorithm presented good results according to proposed validations.
- The method can be replicated in the future for any other variable that characterizes the mode alternatives, such as travel cost, for example.
- The modeling increment, through the inclusion of the variable that characterizes the alternative, is observed.
- The methodological sequence proposed here (CART application followed by Multinomial Logit model calibration) can be replicated for other engineering applications that consider choices between alternatives.

Acknowledgments

The authors would like to thank CNPq (304345/2019-9) and CAPES and the Companhia do Metropolitano de São Paulo.

References

- [1] M. Ben-Akiva, M. Bierlaire. Discrete choice models with applications to departure time and route choice, In: R.W. Hall (Ed.), *Handbook of Transportation Science*, second edition, Kluwer Academic, 2003, pp. 7-38.
- [2] D. L. McFadden. The Measurement of Urban Travel Demand. *J. Public Econ.*, 4 (1974) 303-328.
- [3] M. Ben-Akiva, S. Lerman. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge MA, USA, 1985, pp. 59-99.
- [4] M. Ben-Akiva, T. Morikawa. Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions. *Transp. Res.*, 24 (1990) 485-495.
- [5] G. Antonini, M. Bierlaire, M. Weber. Discrete choice models of pedestrian walking behavior. *Transportation Research Part B*, 40 (2006) 667-687. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2005.09.006>.
- [6] E. Frejinger. Route choice analysis: data, models, algorithms and applications. Ph.D. Dissertation. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, France, 2008.

- [7] M. Ruiz-Pérez, J.M. Seguí-Pons. Transport Mode Choice for Residents in a Tourist Destination: The Long Road to Sustainability (the Case of Mallorca, Spain): *Sustainability*, 22 (2020) 9480. <https://doi.org/10.3390/su12229480>.
- [8] M. U. C. Caldas, C. S. Pitombo, I. Assirati. Strategy to reduce the number of parameters to be estimated in discrete choice models: an approach to large choice sets. *Travel Behav. Soc.*, 25 (2021) 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.05.001>.
- [9] W.Q. Al-Salih, D. Esztergár-Kiss. Linking Mode Choice with Travel Behavior by Using Logit Model Based on Utility Function: *Sustainability*, 13 (2021). <https://doi.org/10.3390/su13084332>.
- [10] C.S. Costa, C.S. Pitombo, F.L.U. Souza. Travel behavior before and during the COVID-19 pandemic in Brazil: mobility changes and transport policies for a sustainable transportation system in the post-pandemic period: *Sustainability*, 14 (2022) 4573. <https://doi.org/10.3390/su14084573>.
- [11] A. Mahdi, J. Hamadneh, D. Esztergár-Kiss. Modeling of Travel Behavior in Budapest: Leisure Travelers. *Transp. Res. Proc.*, 62 (2022) 310-317. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.039>.
- [12] A.A. Ahern, N. Tapley. The use of stated preference techniques to model modal choices on interurban trips in Ireland. *Transp. Res. A.*, 42 (2008) 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.06.005>.
- [13] J.J. Louviere, R.T. Carson, L. Burgess, D. Street, A. Marley. Sequential preference questions factors influencing completion rates and response times using an online panel: *J. Choice Model.*, 8 (2013) 1-18.
- [14] D. Hensher, J. Louviere, J. Swait. Combining sources of preference data. *J. Econom.*, 89 (1999) 197-221.
- [15] C. Bhat, S. Castelar. A unified mixed logit framework for modeling revealed and stated preferences: formulation and application to congestion pricing analysis in the San Francisco bay area: *Transp. Res. B*, 36 (2002), 577-669.
- [16] K. Train, W.W. Wilson. Estimation on stated-preference experiments constructed from revealed-preference choices: *Transp. Res. B*, 42 (2008) 191-203.
- [17] Y. Qiao, Y. Huang, F. Yang, M. Zhang, L. Chen. Empirical study of travel mode forecasting improvement for the combined revealed preference/stated preference data-based discrete choice model. *Adv. Mech. Eng.*, 8 (2016). <https://doi.org/10.1177/168781401562483>.
- [18] H.H.H. Souza, F.F.L.M. Sousa, F.M. Oliveira Neto, R.M.C. Freire, C.F.G Loureiro. Estimaco do valor do tempo com base em pesquisas domiciliares de origem e destino: desafios teóricos e dificuldades práticas. In: *Anais do XXXI Congresso da ANPET, Recife, Brasil, 2017*.
- [19] C. Fezzi, S. Ferrini, I.J. Bateman. Using revealed preferences to estimate the value of travel time to recreation sites: *J. Environ. Econ. Manage.*, 67 (2014) 58-70. [doi:10.1016/j.jeem.2013.10.003](https://doi.org/10.1016/j.jeem.2013.10.003).
- [20] H. Kato, T. Oda, A. Sakashita. Valuation of travel time saving with revealed preference data in Japan: Further Analysis. In: *13th WCT, CPAPER, Rio de Janeiro, Brasil, 2013*.
- [21] M. Diao, Y. Zhu, J. Ferreira, C. Ratti. Inferring individual daily activities from mobile phone traces: a Boston example: *Environ. Plan. B Plan. Des.*, 43 (2016) 920-940. <https://doi.org/10.1177/0265813515600896>.
- [22] A. Dypvik Landmark, P. Arnesen, C.-J. Sodersten, O.A. Hjelkrem. Mobile phone data in transportation research: methods for benchmarking against other data sources: *Transportation*, 48 (2021) 2883-2905. <https://doi.org/10.1007/s11116-020-10151-7>.
- [23] L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen, C.J. Stone. *Classification and Regression Trees*, Wadsworth International Group, Belmont, CA, 1984.
- [24] M.N. Pianucci, C.S. Pitombo. Uso de rvore de decisão para previsão de gerao de viagens como alternativa ao método de classificao cruzada. *Engenharia Civil UM*, 56 (2019) 5-13.
- [25] P. Geurts. Discretization variance in decision tree induction. Technical report, University of Lige, Dept. of Electrical and Computer Engineering, 2000.
- [26] R.L. De Mantaras. A distance-based attribute selection measure for decision tree induction: *Machine Learning*, 6 (1991) 81-92. <https://doi.org/10.1023/A:1022694001379>.

- [27] V. A. Gomes, M. U. C. Caldas, C. S. Pitombo. An investigation of trip-chaining behaviour based on activity participation, socioeconomic variables and aggregated characteristics of modal alternatives: *Transportes* (Rio de Janeiro), 29 (2021) 173-193.
- [28] M. Bierlaire. A short introduction to PandasBiogeme. Technical report TRANSP-OR 200605. Transport and Mobility Laboratory, ENAC, EPFL, 2020.
- [29] F. Southworth. Calibration of multinomial logit models of mode and destination choice. *Transp. Res. A*, 15 (1981) 315-325. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(81\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0191-2607(81)90013-3).
- [30] S. Bekhor, Y. Shiftan. Specification and Estimation of Mode Choice Model Capturing Similarity between Mixed Auto and Transit Alternatives: *J. Choice Model.*, 3 (2010) 29-49.
- [31] D.T. Hartgen. Attitudinal and situational variables influencing urban mode choice: Some empirical findings: *Transportation*, 3 (1974). <https://doi.org/10.1007/BF00167967>
- [32] K. Train, D. McFadden. The Goods/Leisure Tradeoff and Disaggregate Work Trip Mode Choice Models: *Transp. Res.*, 12 (1978) 349-353.
- [33] R. Barff, D. Mackay, R.W. Olshavsky. A Selective Review of Travel-Mode Choice Models: *J. Consum. Res.*, 8 (1982) 370–380. <https://doi.org/10.1086/208877>.
- [34] Companhia de Trem Metropolitano de São Paulo. Resultados da Pesquisa Origem-Destino 2007, http://www.metro.sp.gov.br/pesquisa-od/arquivos/OD_2007_Sumario_de_Dados.pdf, 2008. (acesso em 19 junho 2019).

ORCID

- V. A. Gomes 0000-0001-7776-7902 (<https://orcid.org/0000-0001-7776-7902>)
- C. S. Pitombo 0000-0001-9864-3175 (<https://orcid.org/0000-0001-9864-3175>)
- L. Assirati 0000-0002-0118-2665 (<https://orcid.org/0000-0002-0118-2665>)

Diretrizes para gestão de suprimentos: análise do panorama da função compras na construção civil de uma capital Amazônica

Guidelines for supply management: Purchasing function analysis for civil and construction engineering in an amazonian capital city

C.A. Farias Júnior^{a†}, R.M. Neves^a, A.A.A.M. Duarte^a, B.M.O. Nascimento^a

Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP: 66075-110 Belém, Pará, Brasil

[†] Autor correspondente: claudionorfj@gmail.com

ABSTRACT

Este artigo tem como objetivo a apresentação de um conjunto de diretrizes relacionadas ao panorama da gestão da cadeia de suprimentos (SCM), com ênfase à função compras, em pequenas, médias e grandes empresas da indústria da construção civil na cidade de Belém, localizada na Amazônia Brasileira. Para tanto, adotou conceitos teóricos relacionados à estrutura da área, seus processos, desempenho e tendências. A realização da investigação, tem como referência metodológica central um relevante estudo nacional em gestão de suprimentos, utilizando-se como ferramenta para coleta de dados um questionário fechado, em formato eletrônico, tipo survey. Constatou-se que quase a metade das empresas (44%) sequer utilizam-se da SCM em suas compras, que mais de 1/3 (36%) sofrem com atrasos muito significativos nas entregas e que a grande maioria busca a diversificação de fornecedores (92%), melhoria nas relações com eles (80%) e nos seus sistemas de Tecnologia de Informação - TI (76%). A partir destes e dos demais resultados alcançados são ressaltadas diretrizes, dentre as quais destacam-se: (1) necessidade de formalização da utilização de Indicadores de Desempenho dos Fornecedores; (2) indicação do aumento do nível de envolvimento da área de compras em decisões abrangentes; (3) configuração de uma nova postura proativa da gestão de compras. O presente estudo de caso, em um segmento específico (habitacional) de um cidade de médio porte em um país em desenvolvimento, chega à conclusões que corroboram os conceitos e as teorias existentes na literatura de gestão da cadeia de suprimentos e estratégia organizacional, em especial no setor da construção civil, e seus resultados convergem com trabalhos desenvolvidos em outros países emergentes, o que pode contribuir para o avanço e maior utilização da SCM na região amazônica e, talvez, em outras que guardem características ou contextos similares, podendo, assim, haver importantes implicações gerenciais no setor.

RESUMO

This article aims to present a set of guidelines related to supply management, with emphasis to procurement, in small, medium and large companies in the construction industry, building subsector in the city of Belém, located in the Brazilian Amazon. Therefore, concepts were adopted relating theories to the structural area, processes, and performance trends. To perform the research, Having as central methodological reference a relevant national study in the management of supplies we opted for the survey method, using as a tool for collecting data a closed questionnaire, in electronic format. From the great diversity of results obtained, guidelines are highlighted, among which the following stand out: (1) the need to formalize the use of supplier performance indicators; (2) the increase in the shopping area of the level of involvement in comprehensive

Keywords:

Gestão da cadeia de suprimentos;
Compras, Diretrizes;
Construção civil.

Palavras-chave:

Supply chain management;
Purchasing function;
Guidelines;
Construction.

decisions; (3) setting up a new proactive approach of purchasing management. These results contribute to the management literature of supply chain and organizational strategy as well as provide important managerial implications, especially highlighting the most usual practices found in the amazon region.

1. Introdução

A Indústria da Construção Civil envolve elevado número de processos e produtos, representando um dos setores econômicos mais significativos para a maioria dos países, em especial para os países em desenvolvimento como o Brasil, apresentando um papel dualístico, sendo um setor positivo nos aspectos social, empregabilidade e econômico, mas negativo na esfera ambiental, que é caracterizada pela grande geração de perdas e pela persistência de altos índices de desperdícios [1]. Esse contexto histórico tem se mantido: Nos recentes anos de 2020-2021, mesmo com a questão da pandemia da COVID 19, a indústria da construção civil se posicionou como o terceiro maior mercado em termos globais [2], com faturamento entre US\$ 7,3 trilhões (2022) a € 8,8 trilhões [3], dos quais US\$ 1,8 trilhões, ou seja, aproximadamente 25% deste total estão concentrados nas 100 maiores empresas do segmento [4].

O Gerenciamento ou a Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management – SCM*) na construção civil é extremamente importante. Cardoso e Casarotto Filho [5] já afirmavam que possui diversos modelos conceituais e alcançara certo amadurecimento teórico, mas ainda hoje, passados quase 10 anos, ainda persiste grande dificuldade de aplicá-la, como externado por [6,7], que apontam distintas causas para referida dificuldade no setor, dentre elas, a necessidade de mais estudos quantitativos quanto aos efetivos ganhos, principalmente quando do uso das tecnologias digitais, assim como as singularidades do setor, como a maior recorrência de conflitos do que em outros setores industriais, aspectos legais, constantes mudanças no projeto e escopo originais e falhas de comunicação e diálogo entre os seus agentes.

Em essência, o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (SCM) integra a gestão da demanda e do suprimento dentro e através das empresas. É uma integração entre os principais processos de negócios que existem entre os elementos de uma cadeia logística, desde os fornecedores iniciais até os consumidores finais, em um modelo de negócio harmônico e de alto desempenho. Seu objetivo é agregar o maior valor possível ao consumidor (*Council of Supply Chain Management Professionals - [8]*). Alves e Tommelein [9] ressaltam, porém, que se torna difícil o alcance desses objetivos devido à complexidade das cadeias de suprimentos, aos interesses conflitantes de seus participantes e às interações entre os participantes da cadeia através dos fluxos de informação, dinheiro, produtos e serviços. Moreira [10] resalta que por muitas vezes os processos de compra são tratados apenas como procedimentos administrativos e não como ferramentas de gestão logística com potencial para propiciar vantagens competitivas às organizações.

Denicol [11] enfatiza que os suprimentos representam um percentual significativo dos custos das construções, 60%, dado que demonstra o potencial de lucratividade passível de ser atingida pela organização, devendo-se evitar seleções baseadas unicamente no preço, uma vez que podem contribuir para queda do nível de desempenho, para a redução da eficiência global do projeto, somando-se, assim, ineficiências ao longo da cadeia. [12,13] estimam que a fragilidade ou pobreza na gestão de suprimentos podem produzir incremento nestes custos em torno 10%. Desta forma, [14] destacam que a função Compras deve ser vista pelas organizações bem-sucedidas como uma atividade de importância estratégica considerável. Nesse sentido, estabelecer parcerias entre a indústria da construção civil e a cadeia de fornecedores de materiais é fundamental para melhoria da qualidade e eficiência dos processos [15].

Assim, Kapisch [16] afirma que para o desempenho das empresas de uma forma geral é essencial estudar e analisar estrategicamente a gestão de compras conforme a necessidade do mercado. Azambuja e Formoso [17] advertem sobre a necessidade de novas pesquisas que abordem as cadeias de suprimentos da indústria da construção sob o enfoque da economia industrial, visando entender como a estrutura industrial de cada cadeia afeta o seu desempenho

em termos de custos, nível de serviço e qualidade do produto final. No setor da construção civil, como evidenciado por [18], esses estudos e análises estratégicas são ainda mais difíceis de serem realizados, fundamentalmente por causa de suas particularidades e desafios próprios, tais como a complexidade e diversidade das relações e o grande número de participantes que trabalham juntos, mas de maneira temporária e até mesmo intermitente.

Este trabalho tem como referencial metodológico central o Relatório de Pesquisa Panorama Logístico do Centro de Estudos Logísticos (CEL) do Instituto de Pesquisa e Pós-Graduação em Administração de Empresas (COPPEAD) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Gestão de Suprimentos nas Empresas Industriais Brasileiras: Práticas e Tendências em Compras – 2008, que foi desenvolvido com base nas respostas válidas de 105 empresas participantes, distribuídas em 12 setores da economia.

Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo geral a apresentação de um conjunto de diretrizes baseadas no panorama das práticas de gestão de suprimentos, especificamente da função compras, realizando um estudo de caso na indústria da construção civil, subsetor edificações, na cidade de Belém, localizada na Amazônia Brasileira. Entende-se que as diretrizes gerais, resultado da presente pesquisa, poderão contribuir para a otimização da função compras, focalizando em ações e práticas administrativas que resultem em melhoria da produtividade e competitividade do setor tanto na região de estudo quanto em outras em que existam certas similaridades com ela, como o grau de desenvolvimento econômico, o estágio tecnológico e as práticas comerciais e relacionais dos stakeholders.

2. Método

O presente estudo tem objetivo de elaborar um conjunto de diretrizes para o setor de suprimentos na cidade de Belém, Estado do Pará, Amazônia Brasileira, a partir do mapeamento das práticas e ferramentas utilizadas no setor. Além disso, apresentar um panorama com as tendências latentes no contexto da gestão de compras das empresas atuantes no segmento investigado, de forma a fundamentar a construção do conjunto de diretrizes.

Foram consideradas três fases distintas no encaminhamento metodológico, conforme disposto no Quadro 1.

Quadro 1 – Fases do processo metodológico

Primeira Fase	Aborda a revisão bibliográfica, a elaboração do questionário piloto e a seleção das empresas participantes da pesquisa. A ferramenta adotada para a coleta de dados no levantamento foi o questionário fechado tipo <i>survey</i> , em formato eletrônico, aplicado às empresas selecionadas, a partir dos construtos teóricos relacionados ao problema de pesquisa proposto, enfatizando-se a estrutura da área, seus processos, desempenho e tendências, conforme o Relatório de Pesquisa do CEL/COPPEAD/UFRJ [19]. A partir da delimitação deste estudo, a identificação das empresas participantes baseou-se em alguns critérios tais como a consulta à relação de empresas associadas ao Sindicato da Indústria da Construção do Estado do Pará - SINDUSCON-PA, que disponibilizou dados como: razão social, endereço, telefone e e-mail. Em seguida, buscou-se identificar as empresas de maior representatividade no mercado, procurando-se então identificar as empresas com um número acima de vinte 20 funcionários. Sabe-se das limitações que este critério de classificação apresenta por não contemplar outros fatores tais como o faturamento, porém, esse foi o critério passível de utilização para classificação de porte da amostra em função da dificuldade de obtenção de informações preliminares tidas por algumas empresas como confidenciais.
Segunda Fase	Nessa fase foi efetuada a validação do questionário eletrônico e a aplicação do questionário definitivo foi direcionada a profissionais responsáveis pela gestão de compras de cada uma das empresas investigadas.

	Considerando-se o universo de construtoras paraenses atuantes no subsetor edificações residenciais multifamiliares e comerciais, foram contatadas 33 empresas no total, obtendo-se 32 respostas favoráveis à participação no estudo. A amostra definitiva foi composta por 25 unidades, determinada pelo número de empresas que efetivamente acessaram e concluíram a pesquisa no <i>web site</i> privativo do estudo, garantindo-se uma relevante representatividade do universo investigado.
Terceira Fase	A última fase do encaminhamento metodológico referiu-se ao tratamento dos dados coletados com a subsequente elaboração do panorama. Dividiu-se em quatro etapas, sendo: (1) a organização dos dados; (2) a avaliação dos resultados com base na metodologia proposta pelo Panorama Logístico da COOPEAD/UFRJ; (3) a apresentação do panorama por meio da contextualização do setor; e, finalmente, (4) a elaboração de diretrizes que possibilitem a melhoria de desempenho da Indústria da Construção civil do Estado do Pará, subsetor edificações.
Terceira Fase	A consolidação dos dados coletados, através dos questionários respondidos eletronicamente, foi realizada a partir dos relatórios gerados pelo próprio sistema operacional da pesquisa, tendo sido transferidos para o ambiente do <i>MS EXCEL</i> para que fossem tabulados, considerando-se como referência o modelo de gráficos e tabelas apresentados na metodologia proposta pelo Centro de Estudos em Logística [19], de forma a facilitar a analogia perante os resultados apresentados por ambos os estudos.

Fonte: Adaptado de Panorama Logístico da COOPEAD/UFRJ (2008)

3. Análise dos resultados obtidos

Considerando-se o volume de dados coletados, justifica-se a apresentação de alguns resultados por meio de tabelas e gráficos que possibilitem a leitura das variáveis através de procedimentos estatísticos. Dessa forma, com base na estrutura do questionário disponibilizado às empresas, a apresentação dos resultados obtidos está segmentada de acordo com as seguintes categorias: (3.1) organização e porte da área de compras; (3.2) gestão do fornecimento; (3.3) nível de sofisticação; (3.4) performance e (3.5) tendências.

3.1. Organização e porte da área de Compras/Suprimentos

Para a análise da Organização e Porte da Área de Compras/Suprimentos das empresas participantes da pesquisa, foram considerados como referência alguns critérios prioritários, conforme exposição dos resultados a seguir.

No que se refere ao “quadro funcional da área de compras”, os resultados obtidos configuraram que 56% das empresas participantes da pesquisa possuem até 3 funcionários envolvidos na função, registrando-se significativamente também a incidência de 36% das empresas contidas na faixa correspondente ao total de 4 a 8 funcionários.

Os dados da pesquisa apresentam uma significativa incidência (36%) de empresas que possuem acima de 200 “fornecedores ativos”, fato que inevitavelmente contextualiza a relevância da existência de várias alternativas de abastecimento por meio de um número significativo de fornecedores.

Na análise dos resultados correspondentes ao critério “percentual de fornecedores que representam 80% do valor anual comprado”, foi constatada a incidência de uma leve distribuição dos dados apresentados, não possibilitando a configuração de uma faixa determinante, conforme apresentado na Figura 1.

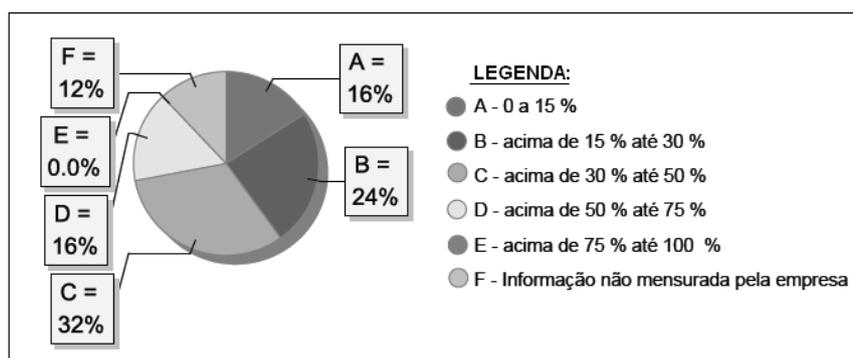


Figura 1 - Percentual de fornecedores que representam 80 % do valor anual comprado

Nota-se que a faixa C – acima de 30% até 50% – apresenta-se como a mais representativa (32%) dentre as demais. Perante o potencial a ser explorado a partir da identificação pontual dos fornecedores que representam 80 % do valor anual comprado, não passa despercebido o percentual (12%) atribuído à faixa F (informação não mensurada pela empresa), sobretudo quando considerado o caráter básico da informação em pauta.

Ressalta-se que algumas empresas recorrem ainda a consultores para auxiliarem no aprimoramento dos processos de compras. Percebe-se que 8% os contratam com alta frequência, 4% contratam com média frequência e 24% contratam com baixa frequência. No entanto, observa-se o fato de 20% das empresas não contratarem e sequer pensarem na possibilidade de contratação.

3.2. Gestão do Fornecimento

A abordagem correspondente à gestão do fornecimento engloba atividades de planejamento e acompanhamento do processo de suprimento. Dentre as diversas “iniciativas realizadas na gestão de fornecedores ativos”, destacam-se a busca pela redução da complexidade do processo de compras (56% das empresas realizam com alta frequência) e a busca pelo desenvolvimento de novos fornecedores (52% das empresas realizam com alta frequência). Dentre as principais vantagens adquiridas ressaltam-se a facilitação da colocação de pedidos e a agilização dos processos internos.

No intuito de se obter o aperfeiçoamento do processo de suprimentos, torna-se necessário avaliar os “critérios adotados para seleção de fornecedores” pelas empresas. Neste sentido, foram apresentados, ao setor pesquisado, treze critérios a serem considerados na análise.

Registrou-se que os pontos mais importantes na tomada de decisão sobre a escolha de fornecedores são: desempenho na entrega (76% das empresas), qualidade de produtos (72% das empresas) e preço (68% das empresas). Merece destaque também (com 60% das empresas) a variável correspondente ao custo total. Diante da interpretação dos dados apresentados, ressaltam-se, de forma surpreendente, o fato de o critério responsabilidade social ser o único fator a pontuar (20% das empresas) com o grau de importância muito baixo, visto que todos os demais não apresentaram nenhuma indicação neste sentido, conforme disposto na Tabela 1.

No que tange à “formalização do relacionamento entre compradores e fornecedores”, a metodologia adotada expõe que os executivos brasileiros responsáveis por suprimentos apontam que existe um elevado nível de informalidade, verificando-se que é comum a realização de acordos verbais em detrimento dos contratos formalizados por escrito.

O contexto da amostra investigada ratifica a referida informação ao indicar que apenas 32% das empresas adotam a utilização de contratos formais em mais de 70% de suas compras. Percebe-se uma maior concentração (44% das empresas) na adoção de contratos formais na faixa compreendida entre 5% e 40% do valor comprado.

Tabela 1 – Grau de atribuição de importância para diferentes critérios de seleção de novos fornecedores

Atribuição	Grau de importância				
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
Responsabilidade Social	8%	24%	32%	16%	20%
Custo Total	60%	28%	8%	4%	0%
Organização e Gerenciamento	28%	56%	8%	8%	0%
Localização Geográfica	4%	36%	60%	0%	0%
Referências	28%	64%	8%	0%	0%
Desempenho na Entrega Prometido	76%	16%	8%	0%	0%
Situação Financeira	28%	28%	36%	8%	0%
Capacidade Tecnológica	36%	44%	20%	0%	0%
Qualidade de Produtos	72%	20%	8%	0%	0%
Preço	68%	24%	4%	4%	0%
Diversidade de Produtos	12%	40%	32%	16%	0%
Instalações e Capacidade	20%	40%	32%	8%	0%
Certificações de Qualidade	20%	32%	48%	0%	0%

Fonte: Dados da pesquisa

3.3. Nível de Sofisticação

Propõe-se a medição da sofisticação da área de compras/suprimentos de uma empresa com base em quatro fatores, sendo: (3.3.1) nível de envolvimento da área de compras/suprimentos em decisões estratégicas e abrangentes; (3.3.2) adoção de melhores práticas de gestão; (3.3.3) amplitude de emprego de ferramentas e tecnologias; e (3.3.4) utilização de indicadores para a avaliação de desempenho.

3.3.1 Envolvimento da área de Compras/Suprimentos em decisões abrangentes da empresa

Para este critério, de acordo com o Centro e Estudos Logísticos [19], a área de compras será mais desenvolvida se mantiver um maior envolvimento em decisões que afetam a organização como um todo. Nesse sentido, na análise dos dados pertinentes a esta variável, constata-se que apenas 36% das empresas promovem o muito ou total envolvimento do setor de compras no planejamento estratégico corporativo. Para uma análise detalhada, sugere-se consultar os dados completos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Nível de envolvimento da área de compras/suprimentos em decisões estratégicas

Decisões estratégicas e abrangentes	Nível de envolvimento		
	Muito ou total envolvimento	Envolvimento parcial	Pouco ou sem envolvimento
Determinação da política de compras	60%	40%	0%
Elaboração da estratégia de suprimentos	52%	48%	0%

Realização do orçamento anual de despesas e investimentos da Área de Compras/Suprimentos	40%	44%	16%
Planejamento Estratégico Corporativo	36%	44%	20%
Decisões de fazer ou comprar	44%	48%	8%
Terceirizações	20%	64%	16%
Projeto/especificações dos produtos	32%	48%	20%
Gerenciamento e controle de níveis de inventário	24%	52%	24%
Realização do MRP (<i>Material Requirement Planning</i>)	36%	36%	28%
Transporte de Suprimentos	60%	28%	12%
Transporte de Transferência/Entrega	60%	20%	20%

Fonte: Dados da pesquisa

Dentre os critérios que configuram uma participação mais marcante da área de compras, destacam-se, com a indicação de 60% das empresas, a determinação da política de compras, a tomada de decisão sobre transportes de suprimentos, a tomada de decisões de transportes de transferência e entregas, além da participação na elaboração da estratégia de suprimentos (52% das empresas).

3.3.2 Adoção de melhores práticas de gestão

Sobre as atividades específicas da área de compras/suprimentos das empresas pesquisadas, quando considerada a adoção de “práticas de gestão”, com base no nível de formalização total ou parcial, destacam-se a previsão de preços e a análise de composição de custos dos itens comprados, com os indicativos de, respectivamente, 52% e 48% das empresas. Quando considerado o nível de formalização ainda em fase inicial de estruturação, percebe-se que predominam as práticas de coleta de informações do mercado fornecedor e o *benchmarking* externo, ambos com 48 % de empresas indicativas.

Para o acompanhamento das respostas na íntegra, sugere-se a verificação das informações contidas na Tabela 3.

Tabela 3 – Adoção de melhores práticas de Gestão

Práticas de Gestão	Nível de formalização			
	Realiza com formalização parcial ou total	Realiza, mas ainda está começando a	Não realiza, mas está pensando em realizar formalmente	Não realiza e nem pensa em realizar
Previsão de preços dos produtos comprados	52%	36%	12%	0%
Planejamento de longo prazo para as compras	44%	32%	24%	0%
Análise de composição de custos dos itens comprados	48%	24%	28%	0%
Ações de desenvolvimento de eficiência interna	24%	44%	32%	0%
<i>BENCHMARKING</i> EXTERNO buscando soluções utilizadas por outras empresas	20%	48%	28%	4%
Coleta de informações do mercado fornecedor	44%	48%	8%	0%
Prática de <i>STRATEGIC SOURCING</i>	24%	32%	36%	8%
Desenvolvimento de relações otimizadas e colaboração com os fornecedores e/ou soluções de problemas em conjunto	36%	32%	32%	0%
EQUIPES MULTIFUNCIONAIS	28%	28%	44%	0%
Monitoramento da satisfação do Cliente Interno	36%	28%	32%	4%
TCO - <i>TOTAL COST OF OWNERSHIP</i>	24%	16%	40%	20%

CPFR – COLLABORATIVE PLANNING FORECASTING AND REPLENISHMENT	12%	20%	48%	20%
Consórcio de Compras	8%	24%	36%	32%

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o Centro de Estudos Logísticos [19], o que realmente diferencia as empresas com maior nível de desenvolvimento, especificamente no que diz respeito à adoção de práticas gerenciais, é a utilização formal da metodologia de *Strategic sourcing*. E considerando a importância da referida prática, encontra-se a seguinte realidade no contexto investigado: 24% das empresas realizam com formalização parcial ou total, 32% realizam de forma embrionária, 36% não realizam mas pensam em realizar de maneira formal, e apenas 8% não realizam e nem pensam em realizar no futuro.

3.3.3. Emprego de ferramentas e tecnologia

O aumento da percepção sobre a importância das atividades de compras nas organizações desencadeou o desenvolvimento de uma série de ferramentas e tecnologias que visam facilitar a realização das aquisições, o monitoramento de pedidos, a seleção de fornecedores, entre outras atividades relacionadas ao processo de suprimentos [19]. Assim, de acordo com os diferentes níveis de utilização, quando considerada a alternativa “utiliza para a maior parte das compras”, sobressai-se com absoluta predominância a adoção de Solicitação de Proposta/Solicitação de Cotação - RFP/RFQ (Request for Proposal/Request for Quotation), com o indicativo de 52% das empresas participantes.

Em termos de “utilização para cerca de 50 % das compras”, destaca-se a adoção de catálogo eletrônico, com 36% das empresas avaliadas. Em contrapartida, analisando-se as respostas classificadas como “não utiliza e nem pensa em utilizar, obtiveram destaque, também absoluto, a utilização de VMI (Vendor Managed Inventory) com 72% das empresas, a utilização de EDI (Electronic Data Interchange) com 68% das empresas e a utilização de Leilão Eletrônico (com 60% das companhias).

3.3.4. Utilização de indicadores de desempenho dos fornecedores

Segundo a metodologia adotada, as indústrias mais desenvolvidas costumam monitorar periodicamente um grupo de índices de desempenho, que podem ser utilizados para a realização de melhorias contínuas e ajustes nos processos. Diante deste enfoque, os resultados proporcionados pelo presente estudo configuram a predominância de critérios com conotação operacional.

Dentre os nove critérios apresentados às empresas, sobressaem-se a qualidade dos produtos (68% das empresas), entrega no prazo e redução de custos (ambos com 64% das empresas). Ressalta-se, na Tabela 4, a possibilidade de uma análise mais apurada no que tange aos resultados obtidos em relação ao presente critério.

Tabela 4 – Utilização de indicadores de desempenho de maneira formal

Indicadores de desempenho	Nível de formalização			
	Utiliza com formalização total ou parcial	Utiliza, mas ainda está começando a estruturar	Não utiliza, mas está pensando em utilizar de	Não utiliza e nem pensa em utilizar
Inovação do fornecedor	20%	40%	28%	12%
Agilidade de resposta do fornecedor / Flexibilidade	36%	40%	16%	8%

Processo de gestão da qualidade realizado pelo fornecedor	28%	24%	40%	8%
Redução do custo	64%	12%	20%	4%
Desempenho em relação às expectativas/Exigências	48%	24%	20%	8%
Risco do fornecedor	28%	36%	32%	4%
Ações do fornecedor na remediação de falhas	48%	28%	24%	0%
Entrega no prazo	64%	20%	16%	0%
Qualidade de produtos	68%	16%	16%	0%

Fonte: Dados da pesquisa

Também merece destaque o fator correspondente à agilidade de resposta do fornecedor, sendo o mesmo utilizado de maneira formal – total ou parcial – por 36% das construtoras paraenses e em fase inicial de estruturação por 40% das empresas.

3.4 Performance

A performance da área de compras/suprimentos das indústrias pode ser medida em termos dos indicadores: (1) Eficiência em custo; e (2) Eficiência em serviço. O Centro de Estudos Logísticos [19] ressalta que, devido à forte inter-relação entre estes indicadores, os índices de desempenho em custos e serviço devem ser sempre analisados em conjunto, pois custos menores podem acarretar níveis de serviços piores, assim como uma melhor qualidade de serviço pode exigir um aumento nos custos.

3.4.1 Eficiência em custo

A eficiência em custos da área de compras/suprimentos pode ser medida através de alguns indicadores, que em geral estão relacionados ao custo operacional incorrido pela área e ao valor comprado anualmente por este departamento [19].

No contexto avaliado, 32% das empresas indicam a faixa compreendida entre 2,5% e 5% como média de “descontos percentuais obtidos nos preços dos itens comprados”, enquanto que 16% não possuem a informação mensurada pela empresa.

No que se refere ao índice correspondente ao “custo operacional em relação ao valor comprado anualmente”, destaque ao fato de 44% das construtoras paraenses não possuírem o referido indicador mensurado.

Para a análise do “percentual correspondente ao custo operacional da área de compras em relação ao faturamento”, sobressaem-se três respostas: 44% das empresas não possuem a informação mensurada, 16% não desejam informar, e outros 16% indicam o custo operacional limite de 0,1% do faturamento líquido. Os 24 pontos percentuais restantes ficaram quase que uniformemente distribuídos, conforme mostra a figura 2.

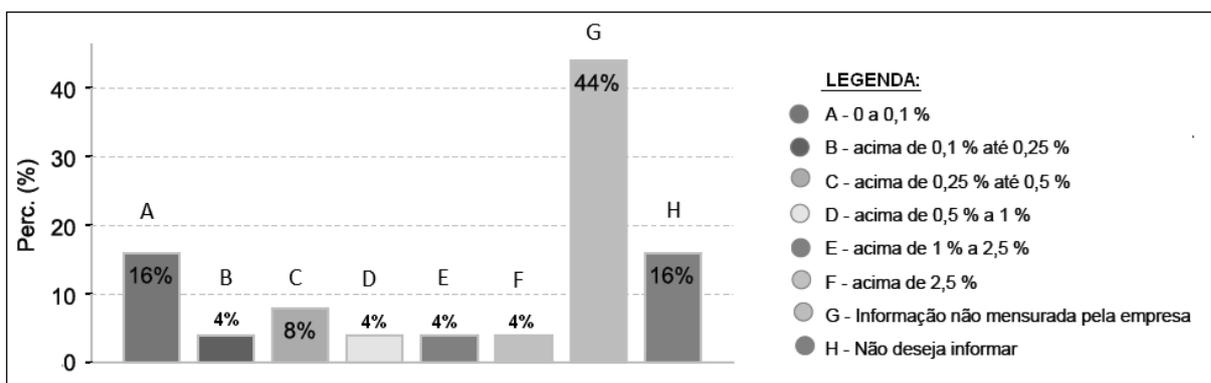


Figura 2 - Análise percentual do custo operacional m relação ao faturamento líquido

No que diz respeito ao índice correspondente ao “custo operacional em relação ao número de pedidos realizados anualmente”, mais uma vez ressaltam-se os altos percentuais referentes a não medição da referida informação pelas empresas (40%) e a não intenção em apresentar os dados internos (8%).

3.4.2 Eficiência em serviço

A metodologia base estabelece que a avaliação da performance em serviços esteja baseada em alguns indicadores de desempenho como os resultados referentes à avaliação do “tempo médio de efetivação de pedidos” configuraram a seguinte situação: 12% das empresas indicaram um período acima de sete dias; também 12% indicaram o período compreendido entre cinco e sete dias; 20% indicaram o período entre três e cinco dias; 40% das empresas indicaram o período entre um e três dias; e, finalmente, 12% indicaram o período inferior a um dia.

Outro indicador relevante corresponde à medição do “percentual de pedidos realizados de forma urgente, devido a falhas no fornecimento por culpa do fornecedor”. Destacadamente, 24% das empresas afirmam trabalhar com a faixa percentual superior a 10% de pedidos urgentes. Com a mesma relevância, 24% afirmam trabalhar com a incidência referente à faixa compreendida entre 2,5% e 5% de pedidos urgentes.

No que se refere ao percentual de “pedidos entregues fora do prazo acordado”, ressaltase a faixa de maior incidência, sendo a indicação de 36% das empresas para a taxa compreendida entre cinco e dez pontos percentuais de pedidos atrasados. Em seguida, com 28% de representatividade, encontra-se a faixa indicando a incidência de atrasos entre 10% e 25% dos pedidos entregues. As demais indicações podem ser constatadas na figura 3.

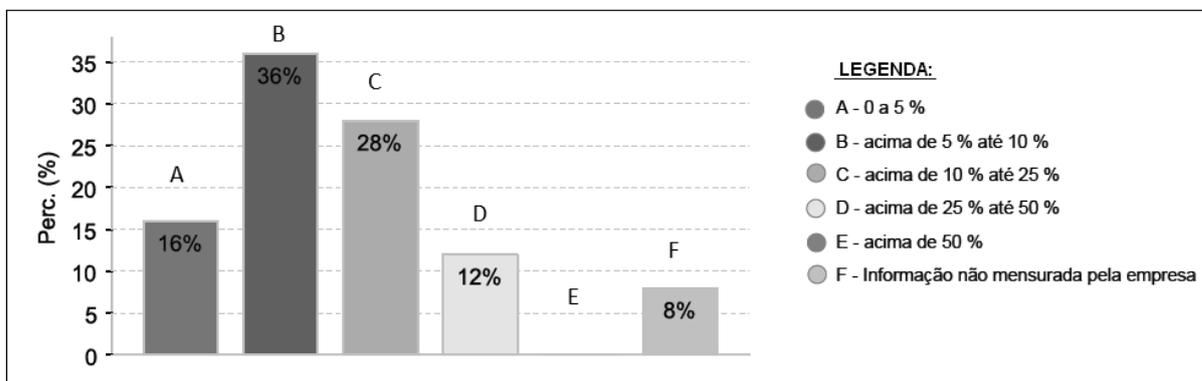


Figura 3 - Análise percentual de pedidos entregues fora do prazo acordado.

3.5 Tendências

Finalizando-se a seção referente aos resultados obtidos, a presente pesquisa buscou caracterizar as prioridades da área de compras/suprimentos para o futuro. Desta forma, conforme ilustração da figura 4, nos próximos anos as construtoras paraenses apontam que as suas maiores prioridades envolvem o desenvolvimento de novos fornecedores (92%), o estreitamento de relacionamento com fornecedores existentes (80%) e a melhoria dos sistemas de TI (76%).

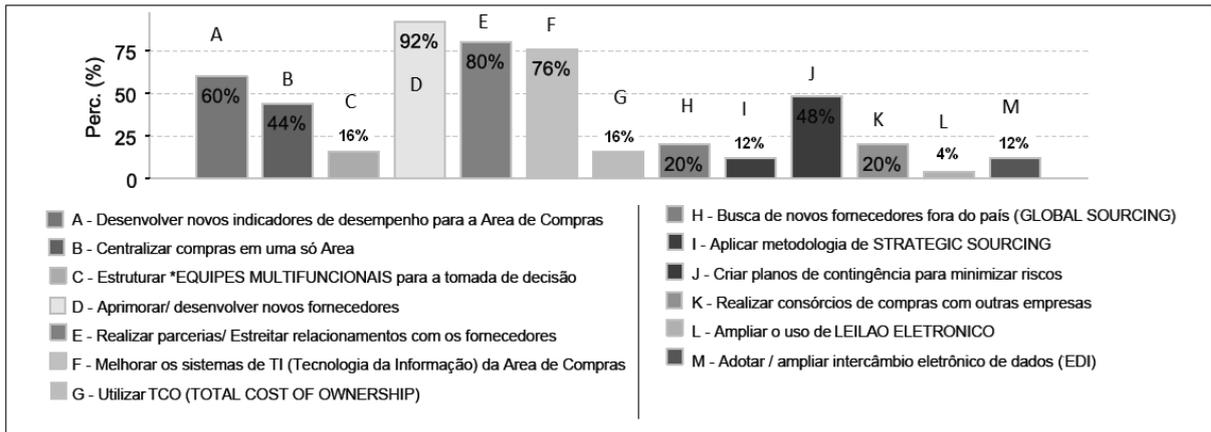


Figura 4 – Tendências da área de compras/suprimentos

Também com relevância expressiva, identifica-se a o desenvolvimento de novos indicadores de desempenho para a área de compras por 60% das empresas consultadas,. Para o futuro, 48% dos respondentes consideram a criação de planos de contingência para a minimização de riscos, e a centralização de compras em uma só área (44% das empresas avaliadas) como algumas de suas maiores prioridades.

4. Conclusão

4.1 Diretrizes para o setor: melhores práticas em compras

Com base na verificação do então estágio de evolução da Gestão de Suprimentos, especificamente a função compras tendo-se como referência a capital localizada na Amazônia Brasileira, constatou-se o potencial de incorporação de algumas ações e práticas administrativas que atendam as oportunidades de melhorias caracterizadas no setor. Nesse contexto, entende-se que o conjunto de diretrizes apresentado no Quadro 2 poderá contribuir no direcionamento de adequação do panorama regional às práticas de gestão das empresas mais sofisticadas do país, quando consideradas as operações de compras/suprimentos.

Quadro 2 - Diretrizes para melhores práticas em compras

Gestão da Cadeia de Suprimentos como modelo gerencial	A contemporaneidade, abrangência e expansão dos conceitos inerentes à GCS destacam-na como modelo competitivo e gerencial, caracterizando uma série de oportunidades e desafios às empresas industriais no geral. Em termos práticos, principalmente quando considerado o contexto da indústria da construção civil, esses desafios geralmente significam promover mudanças nos procedimentos e regras vigentes em todos os níveis da empresa, sobretudo enfatizando-se ações estratégicas relacionadas ao fortalecimento das parceiras existentes ao longo de toda a cadeia de suprimentos, focando a geração de valor ao cliente final.
Reorganização da Área de Compras	Diante da perspectiva estratégica da função compras; a nova proposta organizacional deve configurar-se direcionada à processos, em detrimento de tarefas. Assim, são requeridas estruturas mais centralizadas, de forma que o departamento de compras seja responsável por um percentual elevado de todas as aquisições de insumos realizadas pela empresa. Neste sentido, torna-se fundamental a participação de um executivo de elevado nível hierárquico no gerenciamento do setor de compras/suprimentos.
Balanceamento e Formalização da Gestão do Fornecimento	No que se refere à gestão do fornecimento, alerta-se para a necessidade de cada empresa definir sua estratégia em termos de balanceamento de suas exigências, buscando minimizar os custos sem comprometer o desempenho de serviço estabelecido. Diante da constatação do alto índice de informalidade no processo de aquisição, enfatiza-se a relevância da formalização de contratos e acordos de nível de

	serviço entre clientes e fornecedores, ressaltando-se ainda a obtenção de potenciais benefícios através de relacionamentos mais duradouros.
Aumento do nível de envolvimento da área de compras em decisões abrangentes	Considerando-se a projeção da função compras com enfoque estratégico, torna-se imperativo que profissionais responsáveis pela área passem a ter um entendimento global da organização. Diante do atual contexto caracterizado no setor, ressalta-se a importância da ampliação do nível de envolvimento da área de compras/suprimentos em decisões abrangentes, tais como no próprio planejamento estratégico corporativo.
Proatividade em compras	A obtenção de êxito na implantação da compra proativa está atrelada a uma significativa mudança na forma de percepção da referida função, ampliando o seu envolvimento no que se refere à concepção dos projetos, no planejamento e no orçamento do empreendimento.
Avaliação das possibilidades de emprego de Ferramentas Tecnológicas	Para esta abordagem, torna-se necessária uma análise criteriosa sobre a relação custo-benefício correspondente à proposta de utilização das diversas ferramentas tecnológicas citadas neste estudo. Destaca-se, que o aumento da percepção sobre a relevância da função compras proporcionou o desenvolvimento de diversos recursos tecnológicos que possibilitam a otimização do monitoramento de pedidos, a realização das aquisições, a seleção de fornecedores, dentre outras inúmeras atividades relacionadas à gestão de suprimentos.
Formalização da utilização de Práticas de Gestão	Diante das diversas práticas de gestão, além da importância comprovada de iniciativas tais como a previsão de preços dos produtos comprados, o planejamento de longo prazo para as compras e a análise de composição de custos dos produtos comprados, merecem destaque duas técnicas imprescindíveis de serem adotadas formalmente pelas organizações: o <i>strategic sourcing</i> e o <i>benchmarking</i> . Ressalta-se o potencial do <i>strategic sourcing</i> em gerar ganhos significativos às empresas através da adoção de políticas de suprimentos distintas para as diferentes categorias de materiais ou serviços adquiridos. No que se refere ao <i>benchmarking</i> , destacam-se os possíveis benefícios a serem alcançados através de comparações das operações de um setor ou de uma organização em relação aos setores ou concorrentes diretos ou indiretos, objetivando-se a melhoria de desempenho com base nas melhores práticas.
Medição da Performance de compras através de Indicadores de Eficiência em Custo e Eficiência em Serviço	Para efeito de avaliação da eficiência dos fornecedores, destaca-se a importância da utilização, de maneira formal, dos diversos indicadores de desempenho, tais como a agilidade de resposta, a redução do custo, a qualidade de produtos, a entrega no prazo, entre outras. Neste enfoque, enfatiza-se a possibilidade de monitoramento contínuo das diversas fontes de suprimentos, estabelecendo-se parâmetros a serem consultados como referências aos eventuais ajustes necessários, assim como à própria melhoria contínua dos fornecedores. A presente pesquisa apresenta vários tipos de indicadores, porém adverte-se que mais importante que a geração de um indicador é a efetivação de sua análise. Em seguida, ressalta-se o uso potencial de indicadores padrão, em termos referenciais, para o estabelecimento de metas a serem alcançadas.

Fonte: Os autores

4.2 Considerações Finais

Diante da inequívoca importância do gerenciamento de suprimentos (SCM) na construção civil, conforme revisão bibliográfica desta pesquisa, torna-se inevitável ressaltar o fato do referido campo ainda ser pouco explorado academicamente, como constatado por [6], que enfatiza, inclusive, que são necessários mais estudos quantitativos para se enfrentar os desafios presentes e futuros da SCM na indústria da construção e fazer deste segmento econômico, tão importante para a economia global, regional e local, algo sustentável. O presente artigo busca contribuir para minimizar essa necessidade, sobretudo quando trata a questão em uma região muito pouco estudada, e seus resultados possam ser ponderados às peculiaridades dos diferentes cenários regionais, sejam em cenários com semelhanças no estágio de desenvolvimento ou porte ao local do estudo ou em condições distintas, desde que adequando-os às dessemelhanças.

Dentre as principais conclusões alcançadas, destaca-se a evidência de oportunidades de melhorias latentes para que as empresas atuantes na Indústria da Construção Civil, subsetor edificações, no Estado do Pará, não subutilizem os principais conceitos inerentes à gestão da cadeia de suprimentos em suas operações.

Ratificando-se o significativo distanciamento das construtoras paraenses em relação às melhores práticas de gestão e organização da área de compras/suprimentos existentes, reitera-se a necessidade de um despertar do setor para as potencialidades inerentes ao tema, considerando-se imprescindível a atualização do conhecimento, sobretudo devido à extensão e à contemporaneidade dos conceitos correspondentes ao referido campo da ciência. Esta conclusão corrobora o trabalho de [20], que, ao desenvolverem uma pesquisa de *frameworks* para gerenciamento de cadeias de suprimentos de construção em uma única empresa, embora outro segmento desta indústria (infraestrutura – projetos de túneis, terraplenagem e obras viárias), constataram que havia um desconhecimento sobre a existência do interfaces e fluxos das cadeias de suprimentos, da mesma forma como respondido por cerca de 44% das empresas no presente estudo.

Enfim, ressalta-se o conjunto de diretrizes apresentadas neste artigo possa servir como um referencial e os resultados alcançados possam ser utilizados para subsidiar outros trabalhos que tratem desta temática, na busca do desenvolvimento setorial, através do autoconhecimento, da autoavaliação, almejando-se a adequação às melhores práticas relacionadas à gestão de suprimentos na construção civil.

O presente estudo se desenvolveu no segmento habitacional da indústria da construção civil em uma cidade da Amazônia Brasileira, isto é, em uma parte do setor e em uma região tida como periférica de um país em desenvolvimento. Sua abordagem conceitual e seus resultados, por isso, devam ser compreendidos e interpretados nestes limites regionais e contextuais. Mas, mesmo assim, verifica-se que há significativas convergências com outros trabalhos desenvolvidos em outros países também em desenvolvimento ou emergentes dentro desta mesma temática, como: a) [2], estudando o mercado na Índia pós-COVID 19, coloca a necessidade de maior utilização de modernas tecnologias de integração de projetos, inclusive BIM, e evidencia a pouca comunicabilidade ou escassa fluência na comunicação tanto interna, entre os colaboradores das empresas (o time de cada uma), quanto externa, na relação com os inúmeros fornecedores; b) [7], ao realizar estudo estatístico dos obstáculos para implantação da SCM na indústria de construção civil na Jordânia, país em que este setor tem uma importância relativa um pouco menor em relação ao todo da economia nacional do que se observa no mundo em geral e em outros países emergentes, identifica que o maior dificuldade é a falta de profissionais com expertise na área, mas também há muitos problemas pela má organização estrutural das empresas, falta de clareza nos projetos e escopo, dificuldade e ruídos nas relações dos stakeholders; c) [21], analisando a questão do uso da SCM em 50 empresas do setor no Chile há quase 20 anos já constaram a grande falta de integração entre os agentes do time e dos outros stakeholders, inclusive fornecedores, além dessas mesmas recorrentes dificuldades evidenciadas nos trabalhos mais atuais, ora referenciados, e a presente pesquisa.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. O primeiro autor é Bolsista da CAPES no Programa de Doutorado Sanduiche no Exterior - PDSE/Processo nº 88881.189867/2018-01.

Referências

- [1] S. L. B. França, U. Rohan. Análise das tendências da indústria da construção civil frente à sustentabilidade nos negócios, 2013, Rio de Janeiro. In: IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 20-22 de junho, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- [2] H.A. Rani, A.M. Farouk, K.S. Anandh, S. Almutairi, R.A. Rahman. Impact of COVID-19 on Construction Projects: The Case of India: Buildings, 12 (2022) 762. <https://doi.org/10.3390/buildings12060762>.

- [3] CRESME - Ceramic World Web, World construction set to see strong growth through to 2025. <https://ceramicworldweb.com/en/economics-and-markets/world-construction-set-see-strong-growth-through-2025>, 2022 (acessado em outubro 2022).
- [4] Deloitte, GPoC 2021 Global Powers of Construction July 2022. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/energy-resources/Deloitte-Global-Powers-of-Construction-2021.pdf> (acesso em outubro 2022).
- [5] J. F. Cardoso, N. Casarotto Filho. Gestão da Cadeia de Suprimentos: contribuições para a construção de um conceito: *Produção em Foco*, 4(2014) 1-25.
- [6] R. Cigolini, J. Gosling, A. Iyer, O. Senicheva To. Supply chain management in construction and engineer-to-order industrie: *Prod. Plan. Control*, 33 (2022) 9-10, 803-810. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1837981>.
- [7] S. A.W. AL-Smadi, R. Al Mnaseer, A. H. Y. Alhndawi, A. S. M. Husienat. Obstacles of Applying Supply Chain Management Concepts (SCM) in the Jordanian Construction Sector: *International Journal of Advanced Research*, 5 (2022), 1-9. <https://doi.org/10.37284/ijar.5.1.533>.
- [8] Council of Supply Chain Management Professionals, Supply Chain Management Terms and Glossary – 2015. <https://scm.ncsu.edu/scm-articles/scm-terms> (acesso em abril 2015).
- [9] T. C. L. Alves, I. D. Tommelein. Cadeias de suprimento na construção civil: análise e simulação computacional: *Revista Ambiente Construído*, 7 (2007) 31-44.
- [10] S. M. R. Moreira. Definição de estratégias para a gestão de compras – estudo de caso, Dissertação de M.Sc., Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2013.
- [11] J. Denicol. Sistemática para seleção de fornecedores na indústria da construção civil. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2014.
- [12] S. Chopra, P. Meindl. *Chain Management: Strategy, Supply Planning, and Operations*, second edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2004.
- [13] N.U. Handayani, M.A. Wibowo, D.I. Rinati, T. Gabriella. Drivers and barriers in the adoption of green supply chain management in construction projects: A case of Indonesia: *Int. J. Constr. Supplly Chain Manag.*, 11 (2021) 89-106. [10.14424/ijcscm110221-89-106](https://doi.org/10.14424/ijcscm110221-89-106)
- [14] P. Baily, D. Farmer, D. Jessop, D. Jones. *Compras: Princípios e Administração*, Atlas, 8º edição, 2000.
- [15] M. Venselaar, V. Gruis, F. Verhoeven. Implementing supply chain partnering in the construction industry : Work floor experiences within a Dutch housing association: *J. Purch. Supply Manag.*, 21 (2015) 1–8.
- [16] L.M.S. Kapisch. Melhoria na Gestão de Compras em uma Indústria do Pólo Industrial de Manaus (PIM), Dissertação de M.Sc., Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2015.
- [17] M. M. B. Azambuja, C. T. Formoso. Diretrizes para a melhoria dos processos de projeto, aquisição e instalação de elevadores utilizando conceitos de gestão da cadeia de suprimentos: *Revista Ambiente Construído*, 3 (2003) 77-94.
- [18] S. Kanchana, P. Sneha. A study on supply chain management in construction projects: *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 05 (2018) 993 – 996.
- [19] Centro de Estudos em Logística (CEL). *Panorama Logístico – Gestão de Suprimentos nas Empresas Industriais Brasileiras: Práticas e Tendências em Compras – 2008*. Centro de Estudos em Logística – COPPEAD / UFRJ, 2008.
- [20] D.V.S. De Souza, L. Koskela, Interfaces, flows, and problems of construction supply chains – a case study in Brazil, In: *Proceedings IGLC-22*, Oslo, Norway, 2014.
- [21] A. Serpell, B. Heredia. Supply chain management in construction: diagnosis and application issues, In: *International Symposium on Globalisation and Construction*, Bangkok, Thailand, January, 2004.

ORCID

C.A. Farias Júnior	0000-0001-8582-6191 (https://orcid.org/0000-0001-8582-6191)
R.M. Neves	0000-0003-1268-7324 (https://orcid.org/0000-0003-1268-7324)
A.A.A.M. Duarte	0000-0003-4586-1587 (https://orcid.org/0000-0003-4586-1587)
B.M.O. Nascimento	0000-0002-1161-3991 (https://orcid.org/0000-0002-1161-3991)

Impacto da mudança em Geometria de Vias urbanas e em Tempos Semafóricos em uma Simulação de Emissão de Poluentes

Impact of Change in Urban Road Geometry and Semaphoric Times in a Pollutant Emission Simulation

R. S. Ribeiro^{a†}, P. C. Pinto^{b†}

^a *Instituto Federal Sul-Riograndense, Departamento de Engenharia Civil, Passo Fundo/RS, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: eng.ruyribeiro@gmail.com*

^b *Universidade do Conestado, Programa de Mestrado em Engenharia, Concórdia/SC, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: eng.paulop@gmail.com*

RESUMO

A manutenção da mobilidade urbana é uma importante maneira de garantir o desenvolvimento dos centros urbanos, já que estes estão em constante mudança. A particularidade de cada caso, torna o planejamento complexo, em virtude dos impactos que as mudanças propostas podem ocasionar. Desta forma, estudos a respeito desse tema e dos diversos parâmetros que o envolvem se mostram fundamentais, com a intenção de quantificar esses impactos e tomar as decisões menos invasivas para a sociedade. Dentre esses parâmetros, se destaca a densidade, a qual está intimamente ligada à emissão de poluentes e velocidade de tráfego. Nesse sentido a Avenida Brasil na cidade de Passo Fundo, Brasil, se resalta como principal via de acesso centro-bairro e para saída do município; apresentando exaustão na sua capacidade de tráfego, ocasionando congestionamentos, bloqueamento das interseções e uma maior emissão de poluentes; tudo isso devido ao sistema subdimensionado para o volume de tráfego atual. Neste contexto, o objetivo dessa pesquisa é analisar os impactos que mudanças na geometria e na programação dos semáforos da Avenida Brasil causarão nos indicativos de mobilidade urbana, e consequentemente, na eficiência da via, a partir do microssimulador de tráfego Aimsun®, observando os dados de densidade e emissão de poluentes.

ABSTRACT

The maintenance of urban mobility is an important way to ensure the development of urban centers, as they are constantly changing. The singularity of each case, makes planning complex, due to the impacts that the proposed changes can cause. This way, studies about this matter and the various parameters that involve it are fundamental, with the intention of quantifying these impacts and making the least invasive decisions for society. Between these parameters, density stands out, which is closely linked to pollutant emissions and traffic speed. In that sense, the Brasil Avenue in the city of Passo Fundo, Brazil, is defined as the main access to downtown-suburb as well as to the exit of the municipality, presenting exhaustion in its traffic capacity, that leads to traffic jams, blocked intersections, and a higher pollutant emission; all due to under dimensioned roadway system to the current traffic. In this context, the objective of this research is to analyse the impacts that changes in road geometry and semaphoric times of Brasil Avenue

Palavras-chave:

Mobilidade Urbana;
Poluição Atmosférica;
Densidade;
Microssimulador de
Tráfego;

Keywords:

Urban Mobility; air
pollution; Density; Traffic
Microsimulator.

will cause in the indicatives of urban mobility, and consequently, in the traffic efficiency of the road, from the Aimsun® traffic microsimulator, observing the density and emission data of pollutants.

1. Introdução

A manutenção da mobilidade urbana se configura como um dos principais desafios para os centros urbanos, desde aqueles de médio porte emergentes até de regiões metropolitanas consolidadas. Somado a isso tem-se a preocupação dos impactos que a ineficiência desse setor, gerido em sua maioria por órgãos públicos, causam na sociedade como um todo, nos índices de tempo de viagem, poluição atmosférica, custo social, segurança viária e qualidade de vida, como defende Noronha [1].

A mobilidade urbana se torna um problema quando acontece a saturação de todos os modos de transporte disponíveis que a malha oferece. No entanto, é preciso entender que a saturação será continuamente atingida, enquanto a população estiver em crescimento e em desenvolvimento econômico. Ou seja, o estudo sucessivo acerca desse campo é fundamental para acompanhar o desenvolvimento das outras áreas que envolvem a comunidade.

Por exemplo, o desenvolvimento de um bairro industrial afastado do centro da cidade está diretamente ligado à demanda necessária para o manter, juntamente com a disponibilidade viária seja ela para uso individual ou coletivo. Caso as vias e os modais oferecidos, pelo poder público ou pela iniciativa privada, não consigam suportar a demanda do bairro, o tempo de viagem se tornará um critério que implicará na escolha da oferta de trabalho, se irá compensar ou não, o qual irá afetar no progresso deste bairro.

Posto isso, ainda se tem a questão da emissão de poluentes que é outro fator relacionado à ineficiência da estrutura viária disponível, que por sua vez está associado aos índices de mobilidade urbana. Dessa forma, as taxas de densidade e tempo de viagem são constantes diretamente proporcionais à poluição emitida, visto que quanto maior a concentração de veículos em um determinado segmento maior a emissão de poluentes.

Assim, a cidade de Passo Fundo, localizada na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, se apresenta como cidade polo para as demais da região, isso por causa de seu destaque na área da saúde (com hospitais que possuem diversas especialidades), na área da educação (com escolas e faculdades) e pelo comércio, indústrias e logística em ascensão. O município possui 203.375 habitantes além de uma frota de 133.000 veículos, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [2], caracterizando 0,65 veículo para cada habitante. No entanto, a cidade fundada em 1857, muito antes da existência da Lei 10.257/01 [3] que garante a obrigatoriedade da existência de diretrizes de Planejamento Urbano nas cidades, vem de uma urbanização tardia, o que configurou suas vias centrais, como são conhecidas hoje, sem prever o potencial econômico e a expansão urbana que a cidade viveria futuramente.

Dentre os problemas que foram originados pela falta de um planejamento da estrutura viária, que previa o crescimento exponencial da população nos séculos posteriores, desde os primeiros assentamentos, pode-se citar a falta de rotas alternativas que confluem o tráfego proveniente dos bairros nas duas principais avenidas: a Avenida Presidente Vargas e a Avenida Brasil. Além disso, há também a falta de espaços públicos para a construção de terminais de ônibus coletivos, que por sua vez sobrecarregam os pontos centrais e lotam os passeios públicos e suas marquises.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar os impactos acarretados por mudanças na geometria da via e na programação dos tempos semafóricos da Avenida Brasil nos índices de mobilidade como tempo de viagem, número de paradas, tempo de atraso e emissão de poluentes por ação veicular. Para tanto, foi utilizado o simulador computacional Aimsun® (versão 8.4.1), desenvolvido pela empresa TSS (Transport Simulation System) o qual viabiliza a modelagem de sistemas de tráfego, como malhas urbanas, rodovias, vias arteriais e combinações destas; permitindo, assim, comparar inclusive de maneira visual, os impactos causados por mudanças em

2.2. Programação Semafórica

A semaforização de vias com grande quantidade de veículos representa a solução economicamente viável mais atrativa quando o objetivo é aumentar a segurança das interseções. Nesse sentido, o grande desafio é programá-lo de forma eficiente e que reproduza o mínimo de impacto nos veículos automotores, nos ciclistas e também nos pedestres. Além disso, Joner e Volpi [6] explicam que a semaforização e sincronização dos cruzamentos de centros urbanos emergentes, como o caso de Passo Fundo/RS, é uma medida inevitável, já que sua aplicabilidade se mostra eficaz em outras localidades, a exemplo das vias de Curitiba, e outras capitais.

Entretanto, Araújo e Oliveira [7] expõem que quando os semáforos são instalados sem estudos e indicações técnicas acarretam no aumento da demora e do número de paradas, na redução da capacidade das vias, no aumento da frequência de acidentes, no aumento das violações das regras de trânsito, e na utilização de rotas alternativas para evitar os semáforos, gerando problemas para ruas de características locais. Ainda, quando a implantação desses equipamentos acontece com o projeto adequado a partir de estudos prévios trazem os seguintes resultados: redução da demora e do número de paradas, aumento da capacidade, redução do tamanho das filas, redução da frequência de acidentes, redução da emissão de poluentes e do consumo de combustível pelos veículos que por ali trafegam.

Nesse contexto, a programação semafórica atual do trecho central da avenida Brasil, onde se encontra o segmento mais crítico, conta com uma sequência de semáforos que prioriza o volume de veículos que se integram na avenida, como está exposto no Plano Diretor de Mobilidade Urbana [4]. Ou seja, os semáforos adiante abrem antes para esvaziar as quadras posteriores, antes do fluxo principal se aproximar. Dessa forma, a via principal opera no sistema “para e anda”, o qual com o aumento do número de veículos no horário de pico, gera congestionamentos, interrupções nos cruzamentos e com isso, a redução do nível de serviço.

Isso exposto, apresenta-se a progressão em onda verde, como solução para o caso apresentado. A programação desse tipo de solução, consiste em sequenciar a abertura dos semáforos de acordo com o volume de tráfego, a velocidade e a distância entre os equipamentos. Em resumo, os semáforos abrem um após o outro, possibilitando passar por todo o segmento sem pegar semáforo em estágio vermelho (parada). Além disso, Pietrantonio [8] explica que a coordenação de semáforos com até 800 metros de distâncias entre eles, tem sempre resultado positivo na prática, diminuindo o número de filas, o tempo de espera, a melhora no nível de serviço e com isso, a diminuição da emissão de poluentes.

Nesse contexto, a coordenação dos semáforos tornou-se simplificada pelo fato de todos os cruzamentos já possuírem apenas dois estágios de interrupção de fluxo. O primeiro, que se interrompe o fluxo da via secundária e o segundo que interrompe o fluxo da via principal. Além disso, a restrição das conversões à esquerda também foi outro fator que facilitou a implementação da progressão, já que a aplicação dela se torna limitada com a existência de um terceiro estágio que protege a conversão à esquerda.

No entanto, existem dois cruzamentos onde a conversão à esquerda é permitida, sendo eles na interseção com a rua Teixeira Soares (Figura 2) com a rua Bento Gonçalves (Figura 3), que foi implementada sem a adoção do terceiro estágio, utilizando apenas um rearranjo das faixas de rolamento. A conversão à esquerda da avenida para a rua Teixeira Soares, descreve a última possível antes do centro, tornando esse cruzamento, fundamental na redistribuição do tráfego na cidade. Já conversão à esquerda da avenida para a rua Bento Gonçalves configura o principal movimento das linhas de ônibus que se destinam ao ponto da Praça Marechal Floriano com direção à zona sul.

Para a coordenação em onda verde do caso apresentado, foi utilizado o método empírico, baseado no estudo de Bezerra [9], que compreende estabelecer um mesmo ciclo em todos os equipamentos do trecho, calculado a partir da divisão do comprimento da via pela velocidade de tráfego livre, estabelecida em 45 km/h.

Posteriormente, o método consiste em desenhar em escala o comprimento da via, respeitando as distâncias entre os cruzamentos semaforizados, assim como o tempo de ciclo calculado anteriormente. Depois disso, é traçada a diagonal que representa a banda verde, a qual a partir dela, será determinado os tempos de verde e vermelho dos semáforos da via principal. A

banda verde é o tempo total em que se é possível ultrapassar toda a sequência de semáforos sem parar, a partir do momento em que o primeiro semáforo é aberto. Dessa forma, conforme Pietrantonio [8], com a utilização de simuladores de tráfego, mesmo que a função estabelecida seja complexa, fica mais fácil encontrar a melhor alternativa de solução.

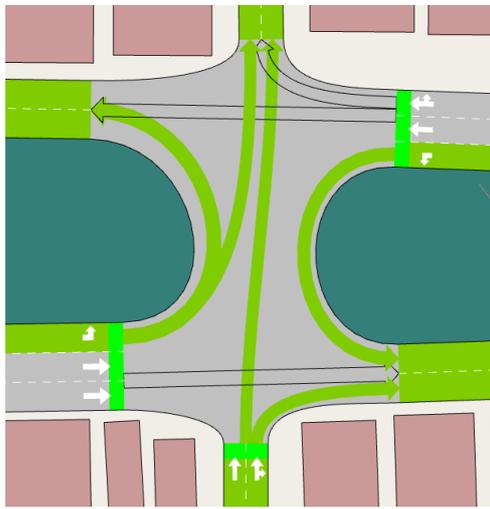


Figura 2 – Cruzamento com a Rua Teixeira Soares.

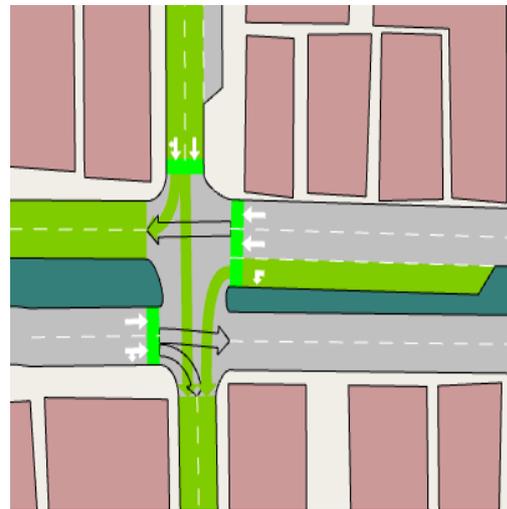


Figura 3 – Cruzamento com a Rua Bento Gonçalves.

Nesta etapa, foi utilizado o software AutoCAD® para o processo de obtenção dos tempos de verde e vermelho de cada semáforo. A Figura 4 demonstra um exemplo genérico de representação gráfica para a onda verde, onde os cruzamentos estão dispostos no eixo x e os tempos de verde, vermelho e do ciclo, o qual é a soma de verde e vermelho, no eixo y.

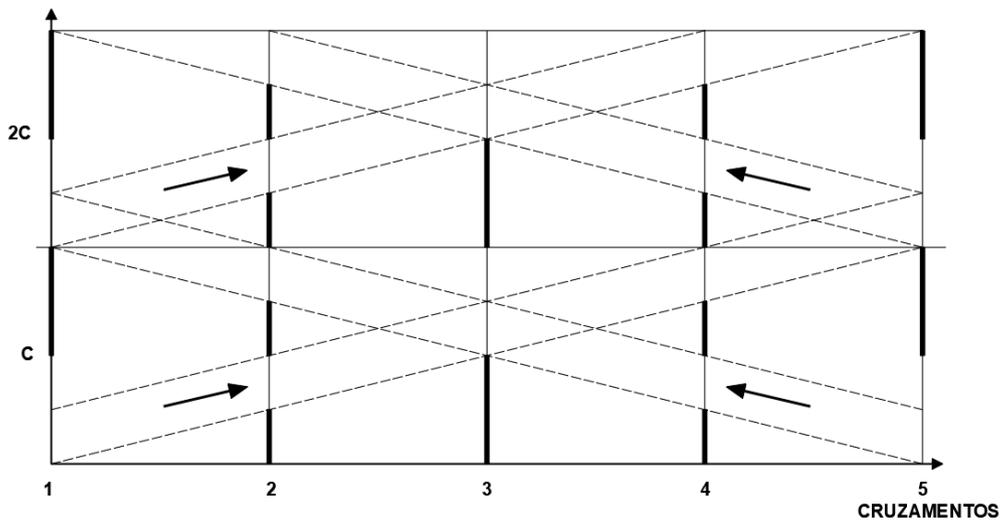


Figura 4 – Representação gráfica da onda verde.

2.3. Transporte Público

O transporte coletivo é um importante serviço moderador da democratização da mobilidade urbana, além de constituir um modal de transporte insubstituível nos grandes centros, pois ajuda na redução dos congestionamentos, na redução dos níveis de poluição, e da necessidade de ampliação de vias e estacionamentos. Segundo Brinco [10], além disso, a constatação de que os automóveis utilitários são os principais causadores de engarrafamentos nos centros das cidades, corroboram com o investimento nos modais de transporte coletivo, uma vez que o volume ocupado por esses veículos e a quantidade de passageiros que conseguem transportar são

inversamente proporcionais

O transporte público de Passo Fundo/RS, constitui-se majoritariamente pelas linhas de ônibus coletivos. A Codepas, administrada pela Prefeitura Municipal, compõe 30% das linhas, a Coleurb empresa privada, compõe 60% e a Transpasso, também da iniciativa privada, compõe 10%, segundo o Plano Diretor de Mobilidade Urbana [4]. Para a modelagem no software, foi utilizado apenas os dados de rota e horários de parada das empresas Codepas e Coleurb, visto que essas já representam um número expressivo da composição das linhas e também porque não foi possível obter as rotas da empresa Transpasso. A Tabela 1 mostra a distribuição quantitativa dos serviços entre as empresas operadoras no município e mostra que das 37 linhas oferecidas pela Coleurb e pela Codepas, 31 foram ingressados no software, visto que as outras 6 possuíam uma rota que não era congruente com a Avenida Brasil.

Tabela 1 – Distribuição quantitativa dos serviços entre as empresas operadoras.

Empresa	Frota	Linhas	Viagens	km/mês	Passageiro/mês
Coleurb	107 (70,4%)	25 (61%)	995 (70,6%)	467.557 (68,6%)	1.141.540 (71,2%)
Codepas	32 (21,1%)	12 (29,3%)	299 (21,2%)	158.209 (23,2%)	357.259 (22,3%)
Transpasso	13 (8,3%)	4 (9,8%)	116 (8,2%)	56.178 (8,2%)	104.695 (6,5%)
Total	152	41	1.410	681.945	1.603.494

2.4. Composição dos Veículos e Rotas

Os estudos de tráfego, representam uma importante metodologia de obtenção de dados que servem a Engenharia de Tráfego e suas finalidades, definidas como o planejamento de vias e da circulação dos veículos nas mesmas. Ainda, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [11] em conjunto com essas pesquisas, que fornecem os dados sobre o tráfego atual, e através do conhecimento da forma de geração e distribuição desse tráfego obtém-se o prognóstico das necessidades de circulação no futuro, dado essencial para o planejamento da rede.

Dessa forma, as pesquisas responsáveis por compor as matrizes origem e destino, são capazes de descrever e quantificar os movimentos dos veículos presentes em um determinado segmento de via, respeitando todas as possibilidades de rotas. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [11] esses tipos de pesquisa possibilitam, ainda, conforme a amplitude do estudo que se tem em vista, a obtenção de informações de diversas outras características dessas viagens, tais como: tipo, valor e peso da carga transportada, números de passageiros, motivos das viagens, horários, frequência, quilometragens percorridas por ano, etc.

Para este estudo necessitou-se elaborar uma matriz origem e destino, pois não existe nenhuma outra pesquisa que quantificou e categorizou o movimento dos veículos no centro de Passo Fundo/RS, além de que esse é o principal dado para a representação do tráfego no simulador. Seguindo o Highway Capacity Manual [12] e o Manual de Estudos de Tráfego [11] a pesquisa partiu-se da metodologia de entrevistas na via, pela facilidade em se obter os dados sem equipamentos, como é o caso do método de identificação de placas, que necessitaria realizar a gravação dos veículos passantes por todos os pontos de forma simultânea para, posteriormente, analisar as quantidades de entrada e saída.

Por conseguinte, determinou-se nos cruzamentos os pontos que originam fluxo na avenida Brasil, observando o sentido das ruas, onde nesses mesmos pontos eram realizadas as contagens volumétricas e as entrevistas de destino, durante a hora de pico, compreendida das 18h às 19h. Em um primeiro momento realizava-se uma contagem volumétrica durante dez minutos, e extrapolava-se o valor obtido para 1h. Depois disso, calculava-se o tamanho da amostra necessária para garantir um nível de confiança de 90% e margem de erro de 5%, estipulados como critério

de análise. Como cada rua apresenta um volume horário típico, determinou-se um número de amostra diferente para cada uma. A escolha por trabalhar com uma amostra reduzida deve-se ao fato da impossibilidade de se entrevistar todos os carros que passavam pelo ponto no intervalo de 1h, visto que a grande maioria passava enquanto o semáforo ainda estava verde.

Posteriormente, iniciava-se as entrevistas, questionando veículo por veículo qual rua destino o levaria para fora do centro, e então anotava-se a resposta em uma planilha com todas as opções possíveis. Em seguida, era realizada a contagem das respostas e montava-se a matriz a partir do número de amostras. Contudo, pelo fato de ser uma quantidade reduzida, precisava-se então efetuar as parcelas de destino correspondente às origens e montava-se uma segunda matriz com base nos percentuais de destino.

Finalmente, multiplicava-se o percentual pelo volume de carros que passavam pela rua no horário de pico, obtido pela contagem volumétrica durante a primeira etapa e formava-se então uma terceira matriz, com as quantidades totais que futuramente seriam ingressadas no software. A montagem da matriz só levou em conta os automóveis utilitários, uma vez que se obteve uma mesma matriz para caminhões, a partir desta que representava 0,5% da quantidade de carros.

2.5. Cenários de Simulação e Análise

Neste estudo, foram modelados 4 cenários de simulação que envolvem a combinação de uma terceira faixa e da progressão semaforica, sendo: duas faixas por sentido, tempos semaforicos atuais; duas faixas por sentido e progressão semaforica em onda verde; três faixas por sentido e tempos semaforicos atuais; três faixas por sentido e progressão semaforica em onda verde.

Como dados de entrada, foram ingressados não só a parte da infraestrutura viária, representando a geometria da pista, a programação semaforica atual e a proposta, a velocidade máxima permitida na via, as rotas de ônibus e os horários de paradas em cada ponto e a matriz de origem e destino quantitativa de veículos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Programação Semaforica

Representa-se, por meio da Figura 5, a solução gráfica com os tempos de verde e vermelho para ocorrer a progressão em onda verde na avenida Brasil. O eixo x corresponde os cruzamentos semaforizados com as ruas Teixeira Soares, Sete de Setembro, Coronel Chicuta, Bento Gonçalves, Capitão Eleutério, Fagundes dos Reis e Benjamin Constant, respectivamente numerados de 1 a 7. Já o eixo y corresponde aos ciclos e aos tempos de verde, barra fina, e vermelho, barra espessa, para os semáforos da avenida Brasil.

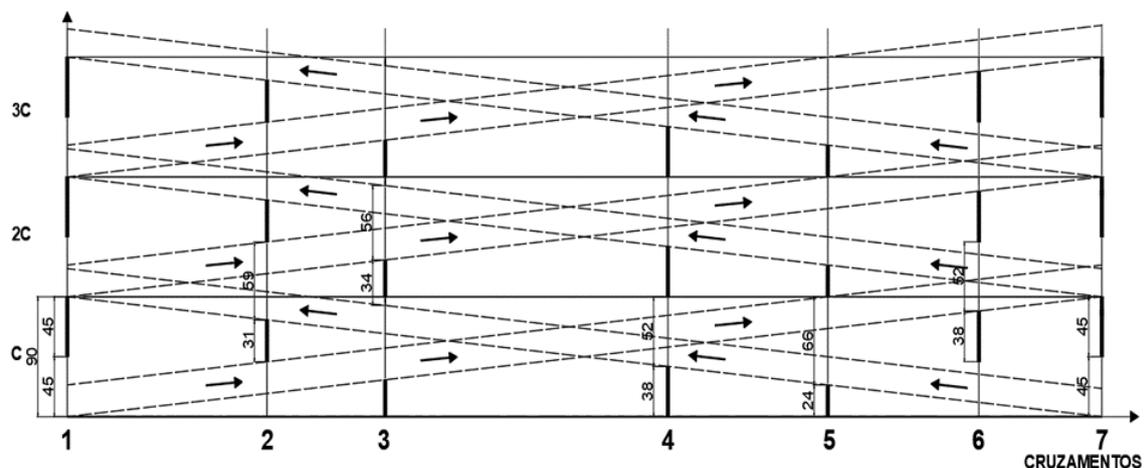


Figura 5 – Rsolução para Onda Verde (avenida Brasil).

O ciclo dos 7 semáforos presentes no segmento foi calculado em 90 segundos, ficando

abaixo do ciclo atual na maioria dos equipamentos. Dessa forma, os estágios verde e vermelho também são valores próximos aos atuais, o que não mudará o tempo de espera na percepção do motorista. Além disso, a banda verde ficou compreendida de 23 segundos para a pista de sentido leste e de 21 segundos para a pista de sentido oeste, ou seja, garantindo 23 ou 21 segundos desde a abertura do primeiro semáforo, dependendo do sentido, para conseguir a onda verde. Apresenta-se, por meio da Tabela 2, os valores (em segundos) dos tempos atuais e do cenário da progressão.

A partir da apresentação desses dados, é possível analisar comparativamente os dois cenários, onde a progressão causou um ciclo menor nos equipamentos e também diminuiu o tempo dos vermelhos em 18%. Ademais, configurou um tempo de verde maior em cruzamentos de menor importância, como com a rua Capitão Eleutério, e equilibrou nas vias de maior importância, como na avenida Sete de Setembro e na rua Coronel Chicuta resultando em um tempo de espera menor para o fluxo proveniente delas.

Tabela 2 – Dtempos dos estágios atuais e da progressão.

Via	Vermelho Atual	Vermelho Progressão	Verde Atual	Verde Progressão
Teixeira	45	45	45	45
Setembro	43	31	73	59
Chicuta	34	34	62	56
Bento	49	38	48	52
Eleutério	50	24	50	66
Fagundes	48	38	48	52
Benjamin	46	45	48	45

3.2. Composição dos Veículos e Rotas

A Tabela 3 mostra o total de amostras e entrevistas coletadas em cada origem – coluna 1. Observe o número diferente de amostras para cada rua, pelo fato de cada uma possuir um volume de carros típico. As células que possuem um traço, são rotas que não são possíveis percorrer, respeitando o sentido das ruas.

Tabela 3 – Distribuição quantitativa de amostras.

Via	Boq	Tei	NovN	NovS	Set	Chi	Gen	Ben	Ele	Fag	Benj	Pet	Total
(1) Brasil Boqueirão	2	52	6	3	38	-	2	12	-	14	-	39	168
(2) Teixeira	2	82	7	2	9	-	2	0	-	4	-	12	120
(3) Setembro	14	3	7	1	121	-	6	6	-	8	-	8	174
(4) Chicuta	31	17	11	0	3	65	3	8	-	1	-	8	147
(5) Gen. Neto	-	-	-	-	-	-	8	31	-	11	-	37	87
(6) Bento	11	1	1	2	1	7	8	110	-	-	-	-	141
(7) Eleutério	6	5	0	0	0	1	0	2	106	17	-	4	141
(8) Fagundes	7	0	1	0	0	1	0	0	11	87	-	16	123
(9) Benjamin	8	2	1	3	1	2	1	5	1	-	135	7	159
(10) Brasil Petrópolis	129	4	1	1	9	6	2	7	1	-	5	-	165
Total	210	166	35	12	182	82	32	181	119	142	140	131	1432

À luz do exposto, pode-se observar que os dois pontos onde necessitou realizar mais entrevistas foi justamente na avenida Brasil que vem do bairro Boqueirão e a avenida Brasil que vem do bairro Petrópolis, onde foram entrevistados 168 e 165 carros respectivamente. No total, 1.432 carros utilitários responderam a pesquisa. A Tabela 4 mostra o percentual correspondente

às opções de escolha de destino com base na tabela anterior.

Percebe-se que a maior parte dos fluxos provenientes das ruas que cruzam a avenida Brasil, não entram na avenida, ou seja, passam direto, como é o caso da avenida Sete de Setembro e da rua Benjamin Constant, onde 69,5% e 84,3%, nessa ordem, seguem adiante. Ainda assim, a avenida Sete de Setembro, juntamente com a rua Coronel Chicuta são as vias que mais contribuem com o trânsito na avenida Brasil, pois despejam, respectivamente, 30,5% e 55,8% de seu fluxo, visto que são as principais rotas que conectam os bairros da zona norte e sul ao centro da cidade.

Tabela 4 – Distribuição percentual das escolhas de destino.

Via	Boq	Tei	NovN	NovS	Set	Chi	Gen	Ben	Ele	Fag	Benj	Pet
Boq	1,2%	31,0%	3,6%	1,8%	22,6%	-	1,2%	7,1%	-	8,3%	-	23,2%
Teix	1,7%	68,3%	5,8%	1,7%	7,5%	-	1,7%	0,0%	-	3,3%	-	10,0%
Set	8,0%	1,7%	4,0%	0,6%	69,5%	-	3,4%	3,4%	-	4,6%	-	4,6%
Chic	21,1%	11,6%	7,5%	0,0%	2,0%	44,2%	2,0%	5,4%	-	0,7%	-	5,4%
Gen	-	-	-	-	-	-	8,8%	36,0%	-	12,5%	-	42,6%
Bem	7,8%	0,7%	0,7%	1,4%	0,7%	5,0%	5,7%	78,0%	-	-	-	-
Ele	4,3%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	1,4%	75,2%	12,1%	-	2,8%
Fag	5,7%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	8,9%	70,7%	-	13,0%
Ben	5,0%	0,4%	0,5%	0,3%	0,3%	1,3%	0,3%	3,3%	0,1%	-	84,3%	4,3%
Pet	79,1%	2,4%	0,5%	0,3%	5,2%	3,7%	1,2%	4,0%	0,6%	-	2,8%	-

Apresenta-se, pela Tabela 5, as preferências de destinos dos carros que ingressam no trecho central da avenida Brasil no horário de pico, onde as quantidades foram extrapoladas a partir da Tabela 2 e da contagem volumétrica que compreende o total de carros passantes (coluna 1 representa as origens, enquanto a linha 1 representa os destinos).

Tabela 5 – Distribuição quantitativa de veículos.

Via	Boq	Tei	NovN	NovS	Set	Chi	Gen	Ben	Ele	Fag	Ben	Pet	Tot
Br-Boq..	13	340	39	20	248	-	13	78	-	92	-	255	1.098
Teixeira	8	340	29	8	37	-	8	0	-	17	-	50	498
Setembro	95	20	48	7	822	-	41	41	-	54	-	54	1.182
Chicuta	157	86	56	0	15	329	15	40	-	5	-	40	744
Gen.	-	-	-	-	-	-	12	49	-	17	-	58	136
Neto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bento	43	4	4	8	4	27	31	431	-	-	-	-	552
Eleutério	22	18	0	0	0	4	0	7	388	62	-	15	516
Fagundes	67	0	10	0	0	10	0	0	105	832	-	153	1.176
Benjamin	50	4	5	3	3	13	3	33	1	-	850	43	1.008
Br-Pet	922	28	6	4	61	43	14	47	7	-	33	-	1.165
Total	1.377	841	196	50	1.191	426	138	727	501	1.079	883	668	8.075

Grande parte dos carros se concentram nas ruas de maior capacidade de tráfego, sendo elas na avenida Sete de Setembro e nas ruas Fagundes dos Reis e Benjamin Constant, onde possuem 3 faixas de rolamento. No entanto, quando se compara o volume de carros provenientes da rua Coronel Chicuta, com o da avenida Brasil que vem do bairro Petrópolis, observa-se que há uma maior capacidade horária na avenida Brasil, mesmo possuindo menos faixas que a Coronel Chicuta. Analisando as filas que se formavam em ambos cruzamentos, nota-se que o tamanho era semelhante, mas a quantidade de carros que conseguiram passar pelo verde era maior na avenida Brasil, que possui 48 segundos, enquanto que na Coronel Chicuta é de apenas 30 segundos, provando que a capacidade não está apenas ligada à ampliação física.

Essas quantidades também foram utilizadas para compor a matriz no software, onde ao

todo, 8.075 carros utilitários foram simulados no modelo.

3.3. Cenários de Simulação e Análise

No que diz respeito à densidade do tráfego atuante, mostram-se, respectivamente, por meio das Figuras 6, 7, 8, e 9, os quatro cenários de simulação, elucidando graficamente os segmentos de vias que possuem maior densidade. As Figuras 6 e 7 demonstram a eficiência da programação semafórica mantendo a geometria atual das pistas da avenida Brasil, ou seja, com apenas 2 faixas. Já as Figuras 8 e 9 demonstram a eficiência da programação semafórica com as pistas da avenida possuindo 3 faixas em cada sentido. As cores simbolizam a densidade e vão de verde, menos denso, à preto, mais denso.



Figura 6 – Densidade Simulada duas faixas Programação Atual.



Figura 7 – Densidade Simulada duas faixas Progressão em onda verde.



Figura 8 – Densidade Simulada três faixas Programação Atual.

Durante as simulações, constatou-se que o cenário que obteve o melhor desempenho com relação a densidade foi o que combinou a terceira faixa com a progressão dos semáforos em onda verde, visto que o cenário atual possui uma densidade de 6,58 veículos por quilômetro, e este 4,71 veículos por quilômetro, o que garantiu uma redução de 28% nesse parâmetro.

Além disso, percebe-se que a melhora na eficiência não ocorreu apenas na avenida Brasil, mas também nas vias secundárias que compõe o sistema viário do centro de Passo Fundo/RS. Nesse sentido, ruas como a Benjamin Constant, Fagundes dos Reis, Coronel Chicuta e avenida Sete de Setembro, obtiveram uma redução de 36%, 26%, 21% e 30%, respectivamente, na



Figura 12 – Emissão de Poluentes três faixas (Programação atual).



Figura 13 – Emissão de Poluentes três faixas (Progressão em onda verde).

A Tabela 6 apresenta, ainda, outros parâmetros que comprovam a eficiência da onda verde, mesmo sem a implementação de uma terceira faixa, os dados contidos na tabela dizem respeito a todos os veículos contidos na simulação, sendo carro, ônibus e caminhão. Percebe-se uma expressiva diminuição do Tempo de Atraso e Tempo de Viagem Total somente com a implementação da onda verde, onde houve-se uma redução de 32% e 21%, respectivamente; também se observa uma baixa no número de paradas de todos os veículos do sistema simulado, compreendida em 15%. Além disso, verifica-se que a Velocidade Média de toda a simulação obteve um aumento em 18%, explicando o porquê da redução do Tempo Total de Viagem.

Tabela 6 – Resultados de parâmetros comparativos da simulação de cada cenário.

Séries Temporais	Atual 2 faixas	Progressão 2 Faixas	Atual 3 faixas	Progressão 3 faixas	Unidade
Tempo de Atraso	143,5	96,87	134,51	93,35	s/km
Tempo Total de Viagem	207,22	162,03	190,6	154,93	s
Número de Paradas Total	31.237,53	26.382,43	29386,52	25.499,07	
Velocidade Média	22,13	27,54	23,21	28,3	km/h

5. Conclusões

Á luz do exposto no presente estudo, conclui-se, portanto, que a maior parte do fluxo que trafega na avenida Brasil central, tem sua origem na própria avenida que vem dos bairros Boqueirão e Petrópolis, sendo que a maior parte desses veículos que entram, também se destinam a esses bairros, ou seja, os carros utilizam a avenida apenas como via de passagem por configurar a rota mais fácil e curta.

Além disso, poucos veículos provenientes das vias secundárias convergem à avenida Brasil e, quando o fazem, também se encaminham em direção ao Boqueirão ou ao Petrópolis, ou ainda realizam conversão na próxima rua. Dessa forma, os problemas de trânsito e de poluição atmosférica – emissão veicular de CO₂ – gerada na avenida, podem ser mitigados com intervenções no planejamento do seu fluxo original.

Do mesmo modo, a eficiência do sistema de transporte viário (em todos os parâmetros) já alcança resultados satisfatórios, dentre os cenários analisados, com a mudança da programação semafórica, para uma em que se aconteça a onda verde, onde o fluxo de veículos que se adentra à avenida já consiga atravessar todo o segmento central de uma vez, evitando o acúmulo de veículos em seus cruzamentos mais centrais.

Referências

- [1] H. D. B. Noronha, Estudo comparativo de dois simuladores de tráfego: AIMSUN e VISSIM, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2016.
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/passofundo/panorama>, 2020 (acesso em 6 março 2020).
- [3] Estatuto das Cidades, Lei nº 10.257, (2001).
- [4] Prefeitura Municipal de Passo Fundo (PMPF), Secretaria de Planejamento, Plano Diretor de Mobilidade Urbana de Passo Fundo – 2014, <http://www.pmpf.rs.gov.br/interna.php?t=6&p=770>, 2020 (acesso em 21 fevereiro 2020).
- [5] Código de Trânsito Brasileiro (CTB) – Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm, 2020 (acesso em 21 fevereiro 2020).
- [6] S. Joner, N. M. P. Volpi, Sincronização de semáforos: modelo matemático para uma aplicação ao tráfego de Curitiba, *Holos*, 2 (2015) 3–18.
- [7] M. R. M. Araújo, J. M. Oliveira, N. Sá, P. Santos, T. Lima, Transporte Público Coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida, *Revista Psicologia e Sociedade*. 23 (3) (2011) 574-582.
- [8] H. Pietrantonio, Controle de Tráfego em Fluxo Descontínuo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- [9] B. S. Bezerra, Semáforos: gestão técnica, percepção do desempenho e duração dos tempos, Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2007.
- [10] R. Brinco, Políticas de estacionamento e efeitos na mobilidade urbana, *Indicadores Econômicos FEE – Porto Alegre*, 44 (2) (2016) 109-124.
- [11] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Manual de Estudos de Tráfego, Rio de Janeiro (2006).
- [12] Highway Capacity Manual (HCM), Transportation Research Board (TRB), 2010.

ORCID

- R. S. Ribeiro 0000-0001-5270-2184 (<https://orcid.org/0000-0001-5270-2184>)
P. C. Pinto 0000-0003-2687-2803 (<https://orcid.org/0000-0003-2687-2803>)

Gerenciamento de equipes mecânicas na construção de aterro rodoviário: um estudo na rodovia BR 381/MG – Norte

Management of mechanical teams in the construction of landfill: a study on the BR 381/MG - North highway

F. Delmiro^a, J. Possato^a, R. Ferraz-Almeida^{a†}

^a *Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: rizely@gmail.com*

RESUMO

O transporte rodoviário responde pela maior parte dos serviços de transporte de cargas no Brasil. Esse modal também é o que mais recebe investimentos do governo federal em projetos, obras de manutenção, implantação e aumento de capacidade. Com a hipótese de que a hipótese que o gerenciamento de custo e tempo de serviços e equipamentos são ferramentas fundamentais para a construção de aterro em rodovia. O objetivo do estudo foi gerenciar o custo e tempo de equipes mecânicas de serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, conveniente umedecimento ou aeração e compactação dos materiais para a construção de um aterro na rodovia BR 381/MG – Norte. Um estudo foi realizado usando a base de dados do Manual de Custos Rodoviários do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e o Sistema de Custos Rodoviários, comparando cronograma e custo de duas equipes mecânicas: Equipe 1, grade de discos - GD; niveladora - MO; rolo compactador - RC; tanque caminhão - CT; trator agrícola - TA) e uma equipe alternativa (GD; RC; CT; TA e trator de esteira - TE). Os resultados mostram que o custo da equipe alternativa é 26% superior ao da equipe mecânica proposta da Equipe 1, mas sua produção horária foi 33% maior, situação que refletiu diretamente em um prazo menor, passando de 222 dias iniciais para 169, economia de 5% no custo final com a utilização de uma equipe alternativa. Concluindo que o conhecimento da área de gerenciamento de cronograma e as metodologias da atividade principal, baixas e aumento da eficiência na execução de um projeto são de grande valia na elaboração de soluções.

ABSTRACT

Road transport accounts for the majority of cargo transport services in Brazil. This modal is also the one that receives the most investments from the federal government in projects, maintenance works, implementation and capacity increase. With the hypothesis that the cost and time management of services and equipment are fundamental tools for the construction of embankments on highways. The objective of the study was to manage the cost and time of mechanical teams of services and equipment for spreading in planes, homogenization, convenient wetting or aeration and compaction of materials for the construction of an embankment on the BR 381/MG – North highway. A study was carried out using the Road Costs Manual database of the National Department of Transport Infrastructure and the Road Costs System, comparing schedule and cost of two mechanical teams: Team 1, disc harrow - GD; leveler - MO; road roller - RC; tank truck - CT; agricultural tractor - TA) and an alternative team (GD; RC; CT; TA and bulldozer - TE). The results show that the cost of the alternative team is 26% higher than that of the proposed mechanical team of Team 1, but its hourly

Palavras-chave:

Gerenciamento do cronograma; custos; obras rodoviárias; equipe mecânica.

Keywords:

Schedule management; costs; road works; mechanical team.

production was 33% higher, a situation that directly reflected in a shorter period, going from 222 initial days to 169, saving 5% no final cost with the use of an alternative team. Concluding that the knowledge of the area of schedule management and the methodologies of the main activity, lows and increase of efficiency in the execution of a project are of great value in the elaboration of solutions.

1. Introdução

O setor rodoviário brasileiro concentra 61 % do transporte de cargas com predominância desse setor em relação ao transporte do ferroviário 20 %, hidroviário 13 %, dutoviário 46 %, e aéreo 1 %, realidade influenciada pela política econômica no Brasil [1]. A mesma realidade é encontrada em países, como: Austrália e China que também possuem uma alta concentração transporte de cargas via rodoviário. No entanto, países como, Rússia, apresenta uma menor concentração no transporte de cargas rodoviário com maior concentração no sistema ferroviário [2].

No Brasil, o investimento total acumulado por modal é maior no modal rodoviário, seguido do ferroviário, aéreo e aquaviário. Existe uma proposta para reduzir a participação do transporte rodoviário e aumento de outros modais, como o aquaviário e ferroviário [3]. O modal rodoviário foi responsável por 63 % da tonelada quilômetro útil transportada no Brasil, que representa o total de carga movimentada pela distância percorrida [4]. Além disso, o modal rodoviário oferece serviços específicos de transporte e logística com uma alta geração de empregos em vagas formais com geração de renda de forma direta e indireta.

Diante essa importância, Programas de Aceleração do Crescimento e melhoria do sistema rodoviário brasileiro são necessários para melhorar a manutenção, expansão e segurança rodoviária, além de viabilizar estudos e projetos para implantação, melhorias, duplicação e aumento da capacidade. A expansão do sistema rodoviário precisa desenvolver obras em duplicação, pavimentação, acesso a portos, contornos e travessias urbanas, para a eliminação de pontos de estrangulamento em eixos estratégicos. Além disso, também é necessário o desenvolvimento de novas regiões, ampliação da integração física nacional aos países vizinhos e redução do custo do transporte. Essa expansão promover a melhoria da qualidade e tráfego nas rodovias, reduzindo o índice de acidentes.

Empreendimento rodoviários exigem um nível alto de planejamento e são também conhecidos por “planos viários”, já que, em sua maioria, são de longa duração e possuem diversas peculiaridades [5]. Portanto, são projetos que necessitam da aplicação das melhores práticas de Gerenciamento de Projetos [6]. Nesse sentido, o cronograma do projeto é uma ferramenta fundamental que a equipe do projeto (gerente e demais colaboradores) precisa familiarizar.

No Project Management Body of Knowledge (PMBOK) o gerenciamento do tempo (5ª Edição) ou gerenciamento do tempo para gerenciamento do cronograma (6ª Edição) são ferramentas utilizadas para assegurar à conclusão do projeto no prazo previsto. O gerenciamento do cronograma está ligado a todas as outras áreas de conhecimento no gerenciamento de projetos. Enquanto, o gerenciamento do cronograma do projeto vai desde a definição de atividades, sequenciamento, definição de recursos por atividade, estimativa de duração e montagem até controle do cronograma [7]. Segundo Ferreira [8] no gerenciamento de projetos, o cronograma do projeto é um documento que, se preparado adequadamente, é utilizável para planejamento, execução, monitoramento/controle e comunicação da entrega do escopo para as partes interessadas.

Esse estudo tem a hipótese que o gerenciamento de custo e tempo de serviços e equipamentos são ferramentas fundamentais para a construção de aterro em rodovia. O objetivo do estudo foi gerenciar o custo e tempo de equipes mecânicas de serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, conveniente umedecimento ou aeração e compactação dos materiais para a construção de um aterro na rodovia BR 381/MG – Norte.

2. Materiais e métodos

2.1. Caracterização da área em estudo

O estudo foi realizado através da metodologia de estudo de caso de uma obra, em uma rodovia de responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [DNIT], localizada nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo, no Brasil (Figura 1), durante 2020 e 2021.

O segmento em estudo está localizado na BR-381, no estado de Minas Gerais, entre os municípios de Jaguará e Antônio Dias. A obra tem início no km 288,4 da rodovia, localizada a 850 metros após o entroncamento com a rodovia MG-320, que dá acesso à Jaguará, e termina no km 317,0 com uma extensão de 28,6 quilômetros. A duplicação se desenvolve na direção nordeste para o sudoeste, no sentido a capital Belo Horizonte, transpondo uma região bastante homogênea e ondulada, constituída de terras de cerrado com baixadas em transição.

O volume médio diário de veículos que percorrem este trecho da rodovia segundo pesquisa realizada pelo DNIT [9] foi de 11.691, sendo que 42 % são veículos de carga, 48 % de carros de passeio, e 9 % entre coletivos e motos.

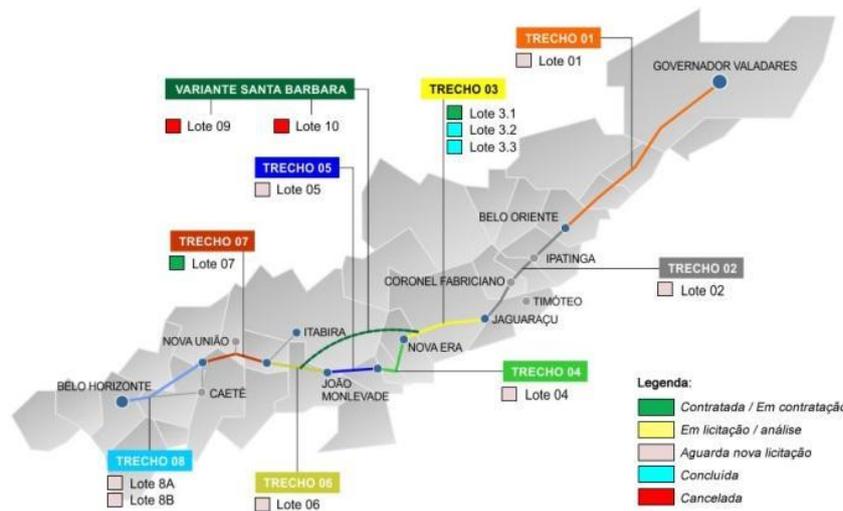


Figura 1 - Localização do estudo no estado de Minas Gerais, BR-381 Norte.

2.2. Caracterização do gerenciamento do tempo e custo

Esse estudo de gerenciamento de custo e tempo foi realizado na fase da execução de um corpo de aterro, localizado no segmento de implantação entre os km 312,04 a 312,30 (denominado no cronograma como aterro do km 312,13). O aterro possui um perímetro de 684 m, e volume de 620.000,00 m³, e será utilizado para a transposição de uma grota seca cruzada pelo traçado da rodovia (Figura 2).



Figura 2 - Grota seca a ser cruzada pelo traçado (A) e execução do corpo do aterro (B).

Na economia moderna não pode correr riscos na execução de obras, principalmente as rodoviárias. Ênfase especial deve ser dada ao planejamento como forma de orientar os gerentes envolvidos com a construção, seja o engenheiro residente, seja o pessoal do departamento de equipamentos e de pessoal, seja o pessoal da área financeira, ou de fornecimento de materiais. Isso não só facilitará um perfeito domínio das quantidades e custos envolvidos, mesmo que os preços sejam bons, podendo de fato levar bons resultados, com o planejamento se melhorará sensivelmente esse intuito [10].

O gerenciamento do tempo será contabilizado de acordo os serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, umedecimento e compactação dos materiais para a construção.

O gerenciamento de custos para a execução do aterro foi calculado de acordo o Manual de Custos Rodoviários, 1ª Edição [11] e o Sistema de Custos Rodoviários [12]. O Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes apresenta as metodologias, as premissas e as memórias adotadas para o cálculo dos custos de referência dos serviços necessários à execução de obras e suas estruturas auxiliares [11]. Enquanto, o Sistema de Custos Rodoviários é uma ferramenta criada e aperfeiçoada pelo DNIT para manter atualizada a definição de custos, apta para estabelecer os melhores parâmetros para referenciar a elaboração dos orçamentos de projetos rodoviários e licitação de obras [13-14].

2.3. Variáveis analisadas

O custo unitário de serviço para a compactação de aterros à 100 % do proctor normal corresponde aos serviços e equipamentos para o espalhamento em camadas, homogeneização, umedecimento e compactação dos materiais para a construção [12]. O custo unitário de serviço (R\$) é a somatória dos custos dos insumos (mão de obra, materiais e equipamentos), necessários à execução de uma unidade e o custo das atividades auxiliares. Para esse estudo os insumos presentes na composição do custo unitário de serviço do serviço de compactação de aterros à 100% do proctor normal, são mão de obra e equipamentos. A mão de obra consiste no conjunto de trabalhadores envolvidos diretamente na execução de determinado serviço ou na administração local. O custo desse insumo é obtido por meio do salário do trabalhador acrescido dos encargos inerentes a cada categoria profissional, expresso de forma horária ou mensal que nesta composição é o servente. Equipamentos consistem no conjunto de máquinas, instrumentos ou aparelhos necessários à produção de determinado bem ou à execução de determinado serviço.

O custo horário de um equipamento é definido por meio de seus custos horários de propriedade, manutenção e operação. Os equipamentos empregados para construção de aterros à 100% do proctor normal são: caminhão tanque com capacidade de 10.000l – 188kW; Grade de 24 discos rebocável de 24”; Motoniveladora – 83kW; Rolo compactador pé de carneiro vibratório autopropelido de 11,6 toneladas – 82kW, e Trator agrícola – 77kW (Tabela 1).

Cada equipamento tem seu ciclo operacional que juntos formam a equipe mecânica [15]. O tempo de ciclo de cada equipamento foi calculado de acordo o intervalo de tempo necessário para a execução de uma operação completa de uma série de operações repetitivas. O tempo de ciclo de um trator de lâmina que empurra uma certa quantidade de terra, corresponde ao intervalo de tempo que o mesmo consome em, iniciar o movimento de empurrar a terra, parar, voltar, parar de novo e iniciar o movimento de empurrar uma nova carga.

A quantificação do serviço realizado durante um ciclo e seu tempo total de duração é fundamental para se determinar a produção horária do equipamento, para se dimensionar e equilibrar o restante dos equipamentos que com ele formam patrulha, bem como se para calcular a produção da própria patrulha [12], descrito na Tabela 1.

O cálculo da produção das equipes mecânicas (grade de discos - GD; motoniveladora - MO; rolo compactador - RC; caminhão tanque - CT; e trator agrícola - TA) para a compactação de aterros à 100% do Proctor normal, foi realizado de acordo os dados de produção de cada equipamento descrito pelo DNIT [12], Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de referência para do gerenciamento do tempo da equipe mecânica (grade de discos - GD; motoniveladora - MO; rolo compactador - RC; caminhão tanque - CT; trator agrícola - TA; e trator esteira - TE) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal.

Variáveis	Unid.	GD	MO	RC	CT	TA	TE
Capacidade	l	-	-	-	10.000,00	-	-
Consumo	l/m ³	-	-	-	53,00	-	-
Distância	m	150,00	150,00	150,00	5.000,00	150,00	150
Espaçamento	m	-	-	-	-	-	-
Espessura	m	0,20	0,20	0,20	-	0,20	0,20
Fator Carga	-	-	-	-	-	-	-
Fator Conversão	-	-	-	-	-	-	-
Fator Eficiência	-	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Larg. Operação	m	-	3,66	2,13	-	-	3,27
Larg. Superposta	m	-	0,20	0,20	-	-	0,2
Largura Útil	m	2,45	3,46	1,93	-	2,45	3,07
Nº de passadas	un	6,00	6,00	8,00	-	6,00	2,00
Profundidade	m	-	-	-	-	-	-
Tempo fixo	min	-	-	-	40,00	-	-
Tempo ida	min	1,88	1,50	2,14	9,09	1,88	2,11
Tempo retorno	min	-	-	-	6,06	-	-
Tempo total ciclo	min	-	-	-	55,15	-	-
Vel. de ida	m/min	80,00	100,00	70,00	550,00	80,00	60,00
Vel. de retorno	m/min	-	-	-	825,00	-	-
Produção Horária	m ³	325,36 ¹	574,36 ¹	168,20 ¹	170,38 ¹	325,36 ¹	764,36 ¹
Nº de Unidades	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Util. Operativa	-	0,52	0,29	1,00	0,99	0,52	0,21
Util Improdutiva	-	0,48	0,71	0,00	0,01	0,48	0,79

As equipes mecânicas avaliadas foram: equipe proposta pelo DNIT (grade de discos - GD; motoniveladora - MO; rolo compactador - RC; caminhão tanque - CT; trator agrícola - TA) e uma equipe alternativa (GD; RC; CT; TA e trator esteira - TE), Tabela 1. As características de cada equipamento foram utilizadas para calcular a Produção Horária [PH1], usando a eq. (1).

$$PH1 = \frac{60 * f * i * m * t}{n} \quad (1)$$

onde, (f): é a espessura da área de trabalho, que é a altura das camadas no serviço de terraplenagem; (i) é o fator eficiência, relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento; (m) é a largura útil, espaço nominal definido pelos implementos dos equipamentos; (t) é a velocidade de ida, que consiste na velocidade média de um equipamento na operação de ida; e (n) é o número de passadas, repetição de passadas de um equipamento por uma mesma faixa de camada de material, visando atingir as condições previstas em projeto. Esta equação foi utilizada para o cálculo dos equipamentos GD, Motoniveladora, RC e TA.

A produção horária do caminhão tanque [PH2] apresenta como característica o transporte de material de um ponto a outro que pode ser fora da área de abrangência da tarefa a ser realizada. Na determinação do tempo de ciclo do caminhão tanque deve consideradas duas parcelas no tempo fixo: o tempo de carregamento e o tempo de retorno, diferente dos demais equipamentos, que seu percurso limitasse a área do serviço a ser executado.

A PH2 foi calculada de acordo a eq. (2), onde: (b) é a capacidade, que consiste no volume nominal de material transportado; (c) é o consumo, que é a quantidade de material aplicado pelo equipamento em uma unidade de medida do serviço executada; (s) é o tempo total de ciclo, que

consiste na soma dos tempos fixos, dos tempos de percurso e de retorno; e (i) é o fator eficiência, relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento.

$$PH2 = \frac{60 * b * i}{(c * s)} \quad (2)$$

onde: (b) é a capacidade, que consiste no volume nominal de material transportado; (c) é o consumo, que é a quantidade de material aplicado pelo equipamento em uma unidade de medida do serviço executada; (s) é o tempo total de ciclo, que consiste na soma dos tempos fixos, dos tempos de percurso e de retorno; e (i) é o fator eficiência, relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento.

O critério utilizado pelo DNIT para a determinação do líder da equipe mecânica foi o do equipamento que tem a menor produção horária, sendo ele o RC com o resultado de 168,20 m³ por hora. Limitando assim a produtividade dos demais equipamentos que forma a equipe mecânica, tendo a sua utilização operativa de 1,00. Desta forma a utilização operativa dos demais equipamentos será a razão da PH2 do RC pelo equipamento em questão, apresentadas na tabela 1.

2.4. Dados de referência para do gerenciamento do custo

O custo horário de cada equipamento participante neste estudo de caso foi um componente do custo do metro cúbico aterrado. Para o DNIT [11-12], o custo horário de um equipamento consiste na soma de todos os custos envolvidos em sua utilização, definidos em função das condições de trabalho, do tipo de equipamento, das características específicas do serviço e referenciadas em uma determinada unidade de tempo.

É assim necessário distinguir a hora produtiva da hora improdutivo. A hora produtiva de um equipamento é a hora de trabalho efetiva, em que o seu custo é dado pelas parcelas de custo de propriedade (depreciação e juros), custos de operação (pneus, combustível, lubrificantes, dependendo do método de análise o custo do operador) e custos de manutenção. A hora improdutivo corresponde à hora de trabalho em que o equipamento está disponível, mas não está a ser utilizado, tem em conta apenas o custo de propriedade e o custo do operador dependendo da situação [16].

O custo operacional de referência da equipe mecânica (GD; MO; RC; CT; e TA) foi calculado de acordo os dados disponibilizados pelo DNIT [13] e Ribeiro [16], e descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de referência para do gerenciamento do custo da equipe mecânica (grade de discos - GD; motoniveladora; rolo compactador – RC; caminhão tanque - CT; e trator agrícola - TA) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal (código 2-S-01-511-00).

Produção da Equipe (Valores em R\$) Minas Gerais – Julho/2018						
Equipamento	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
Grade de Discos	1	0,52	0,48	2,21	1,54	1,89
Trator Agrícola	1	0,52	0,48	80,73	30,75	56,74
Motoniveladora	1	0,29	0,71	178,95	78,34	107,52
Rolo Compactador	1	1,00	0,00	119,81	53,49	119,81
Caminhão Tanque	1	0,99	0,01	176,40	49,00	175,13
Custo Horário de Equipamentos						461,09
Produção da equipe: 168,20 m ³ hora ⁻¹						

O custo horário [CH] de cada equipamento foi calculado de acordo a eq. (3).

$$CH = (a * c) + (b * d) \quad (3)$$

Onde: (a) é a utilização operativa; (b) é a utilização improdutiva; (c) é o custo operativo; e (d) é o custo improdutivo.

Para a realização do serviço compactação de aterros à 100% do Proctor normal (código 2-S-01-511-00), que se resume em espalhamento, umedecimento e compactação do solo, cada equipamento da equipe mecânica tem uma função. O caminhão de tanque responsável pelo umedecimento do material; a motoniveladora pelo espalhamento e nivelamento das camadas; o trator agrícola e grade de disco juntos fazem o tratamento do solo, realizando a desagregação das camadas superficiais para posterior expurgo; o rolo compactador para a compactação do solo, juntos realizam o serviço de compactação de aterros à 100% do Proctor normal.

A partir dos dados de produção e custo do Sistema de Custos Rodoviários, foi montada, uma equipe mecânica, e o gerenciamento do cronograma e custo para a execução do aterro. Para quantificação da quantidade de equipamentos usou-se a seguinte metodologia, pega-se a o equipamento com a maior utilização operativa, que neste caso é o rolo compactador (líder da equipe mecânica). A utilização operativa do rolo compactador é de grau 1, sendo assim ao acrescentar outro equipamento ou demais serão de proporcionais a sua utilização. Por exemplo, para utilizar dois rolos compactadores não a necessidade de acrescentar outra GD ou TA, pois sua utilização operativa corresponde à metade do líder da equipe mecânica. No caso da motoniveladora também não há necessidade, pois corresponde a 30% da utilização operativa do líder. Já o caminhão tanque será acrescentado outro, pois sua utilização operativa e praticamente igual ao do líder.

Neste contexto, foi calculado o custo das equipes mecânicas propostas no estudo. A produtividade por hora da equipe (PHE) é o produto da quantidade de rolos compactador pela sua produção horária, 168,20 m³ por hora (Tabela 2), assim como demonstrado na eq. (2).

$$PHE = n * PH \quad (4)$$

Onde (n) é o número de equipamentos líderes que neste caso são 3; e (PH) sua produção horária de 168,20, chegando assim a uma produtividade de 540,6 m³ por hora, assim como demonstrado na eq. (4).

2.5. Cálculo do cronograma

O aterro a ser executado terá 620.000 m³, a equipe mecânica tem a capacidade de produzir 540,6 m³ por hora. O número de dias para execução deste serviço será 153 dias corridos. Onde: (T) é o tempo em dia; (d) é o volume de material; (PH1) é produção por hora da equipe executiva; e 08 as horas trabalhadas por dia, calculado de acordo com a eq. (5).

$$T = (d/PH1)/8 \quad (5)$$

3. Resultados

O custo horário da equipe mecânica formada por grade de discos, trator agrícola, motoniveladora, rolo compactador, caminhão tanque ficou em R\$ 1.194,08 para produzir 540,6 m³ por hora (Tabela 3).

O uso do caminhão tanque contribuiu com o maior aporte no custo horário na construção do aterro com uma utilização operacional de 0,99, e quase zero de improdutividade. O rolo compactador apresentou uma utilização operativa e improdutiva similar ao caminhão tanque, mas o custo horário foi R\$ 164,87 mais barato. O uso da grade de discos é o implemento que gera o menor impacto nos custos com um valor de R\$ 4,13 no custo horário (Tabela 3). A grade de disco gera o menor impacto no custo porque é o equipamento que apresenta o menor valor das despesas que são consideradas para o cálculo do custo horário do equipamento, que são: custo de propriedade, custo de manutenção e custo de operação.

Tabela 3 - Custo operacional da equipe mecânica (Grade de Discos; Trator Agrícola; Motoniveladora; Rolo Compactador; e Caminhão Tanque) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal de 620.000 m³ do aterro, km 312,13.

Produção da Equipe (Valores em R\$) Minas Gerais – Julho/2018						
Equipamento	Quant.	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário
		Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
Grade de Discos	2	0,78	0,22	2,21	1,54	4,13
Trator Agrícola	2	0,78	0,22	80,73	30,75	139,47
Motoniveladora	1	0,88	0,12	178,95	78,34	166,73
Rolo Compactador	3	1,00	0,00	119,81	53,49	359,44
Caminhão Tanque	3	0,99	0,01	176,40	49,00	524,31
Custo Horário de Equipamentos						1.194,08
Custo total						R\$1.467.166,69

Nota: O custo total foi calculado usando a composição da equipe mecânica do DNIT

Usando a equipe proposta pelo DNIT o custo total para executar a construção do aterro de 620.000 m³ foi de R\$ 1.467.166,69, com um cronograma de 222 dias de duração com início no dia 06 de agosto de 2018 a 19 de março de 2019. Esse valor foi considerado apropriado, desde que o executor das obras do empreendimento, tenha condições de seguir sem grandes desvios ou interferências externas, planejamento esse proposto pelo DNIT.

Tabela 4 - Extrato do Cronograma referente a compactação de aterros a 100% do Proctor normal do aterro do km 312,13.

Cronograma			
Nome da tarefa	Duração	Início Corrente	Término Corrente
Execução corpo de aterro	222	06/08/2018	15/03/2019

3.1. Gerenciamento do custo e tempo da equipe mecânica alternativa

A equipe mecânica apresentada pelo DNIT, ao dimensionar o conjunto, considerou uma condição ideal de execução de obras, porém não foi possível, devido a diversos fatores como: fragmentação das frentes de serviços devido a atraso nos processos de desapropriação, atraso na liberação das licenças ambientais e também no repasse de recursos financeiros para a execução das obras no empreendimento.

Como intuito de reduzir o prazo de execução e custo optou-se pela modificação da equipe mecânica proposta pelo DNIT. Para a execução da tarefa espalhamento do material, uma alternativa é a substituição da motoniveladora – 93kW, pelo trator de esteiras com lâmina - 112kW. Equipamento que com a lâmina de aço reta ou curva situada na frente do trator e perpendicular ao eixo da máquina, esse equipamento permite o deslocamento de materiais e a limpeza de áreas.

O custo horário desta equipe alternativa formada por grade de discos, trator agrícola, trator de esteira lâmina, rolo compactador e caminhão tanque ficou maior com um valor de R\$ 1.511,43 para produzir 672,8 m³ por hora, sendo utilizado 4 unidades de RC, o líder da equipe mecânica (Tabela 5).

O uso do caminhão tanque também contribuiu com o maior aporte no custo horário na construção do aterro com uma utilização operacional de 0,99, mas com uma improdutividade de 0,01; considerada a maior improdutividade da equipe. O uso da grade de discos também é o implemento que gera o menor impacto nos custos com um valor de R\$ 4,43 no custo horário (Tabela 5).

Tabela 5 - Custo operacional de referência equipe mecânica alternativa (Grade de Discos; Trator Agrícola; Trator Esteira Lâmina – TE Lâmina; Rolo Compactador - RC; e Caminhão Tanque - CT) para a compactação de aterros a 100% do Proctor normal de 620.000 m³ do aterro km 312,13.

Produção da Equipe (Valores em R\$) Minas Gerais – Julho/2018							
Equipamento	Prod. ⁽¹⁾ m ³	Qnt. ⁽²⁾	Utilização		Custo Operacional		CH ⁽³⁾
			Operativa	Improdutiva	Operativo	Improdutivo	
Grade de Discos	325,36	2	1,00	0,00	2,21	1,54	4,43
Trator Agrícola	325,36	2	1,00	0,00	80,73	30,74	164,46
TE Lâmina	784,84	1	0,86	0,14	182,74	73,92	167,20
RC	168,20	4	1,00	0,00	119,81	53,48	479,25
CT	170,38	4	0,99	0,01	176,40	49,00	699,08
Custo Horário de Equipamentos							1.511,43
Custo total							R\$ 1.392.811,51

O custo total foi calculado usando a composição alternativa da equipe mecânica

Nota: (1) Produção em metros cúbicos [Prod.m³]; (2) Quantidade [Qnt]; (3) Custo Horário [CH]

Usando a equipe alternativa em relação à equipe proposta pelo DNIT o custo total para executar a construção do aterro de 620.000 m³ foi de R\$ 1.392.811,51, promovendo uma redução de custo de R\$ 74.355,18, com um cronograma de úteis dias de duração com início no dia 06 de agosto de 2018 a 21 de janeiro de 2019, ou seja, uma redução de 53 dias na entrega (Tabela 6).

Tabela 6 - Extrato do Cronograma referente a compactação de aterros a 100% do Proctor normal do aterro do km 312,13.

Cronograma			
Nome da tarefa	Duração	Início Corrente	Término Corrente
Execução corpo de aterro	169	06/08/2018	21/01/2019

3.2. Comparativo de tempo e custo das equipes mecânicas

O equilíbrio de uma equipe mecânica consiste em selecionar seus componentes e dimensionar a quantidade de cada um, de forma que a harmonia desse conjunto resulte numa produção otimizada, com o melhor aproveitamento das capacidades individuais. O que propusermos foi substituir a Motoniveladora pelo Trator de Esteira, equipamento que tem características operacionais semelhantes, mas com uma utilização operativa menor, em torno de 24 %, que é dada a partir das relações entre a produção horária do líder da equipe mecânica, que neste caso é o Rolo Compactador com os demais equipamentos da patrulha.

Através dessa utilização operativa menor do Trator de Esteira, pode-se acrescentar 1 (um) Rolo Compactador a mais que proporcionou um aumento na produção horária da equipe alternativa, com a substituição por equipamento de custo horário semelhante ao inicial, mas com um rendimento acima. E sem a necessidade de se acrescentar outro equipamento, situação está não poderia ser concretizada com a Motoniveladora. Uma vez que, com a composição de uma patrulha com 4 (quatro) Rolos Compactadores tem-se uma produção horária de 672,8 m³ contra 574,36 m³ de 1 (uma) motoniveladora.

O custo da equipe alternativa foi 26 % maior do que a proposta inicial, porém sua produção horária ficou 33 % maior, situação tal que refletiu diretamente num prazo menor, passando de 222 dias iniciais para 169. Como também uma economia de 5 % no custo final do aterro (Tabela 7).

Tabela 7 - Comparativo entre as equipes mecânicas.

Comparativo das equipes mecânicas			
Equipamento	Produção Horária-m ³	Custo Horário - R\$	Prazo - dias
Motoniveladora	504,6	1.194,08	222
Trator de esteira c/ lâmina	672,8	1.511,43	169

4. Conclusões

Na construção de um corpo de aterro com a compactação à 100% do proctor normal, com uma equipe mecânica formada por grade de discos, rolo compactador, caminhão tanque, trator agrícola e trator esteira apresenta um custo 26 % maior do que a equipe mecânica proposta pelo DNIT (grade de discos; motoniveladora; rolo compactador; caminhão tanque; trator agrícola), porém sua produção horária é 33 % maior, situação tal que refletiu diretamente num prazo menor, passado de 222 dias iniciais para 169. Podendo verificar uma economia de 5 % no custo final do aterro com a utilização de uma equipe alternativa. Diante os nossos resultados e os resultados da literatura conclui que a gestão de tempo e do custo em projetos tem uma importância incontestável. O cronograma está ligado essencialmente a uma previsão feita, que são realizadas durante o planejamento do projeto, antes da execução efetiva, que estão sujeitas a eventuais desvios. Essa área de conhecimento é de grande importância em projetos que geram impactos diretamente a sociedade, como uma obra rodoviária. Além de comprometer os custos, retarda a entrega do projeto, como também a disponibilidade de iniciar a sua utilização.

Referências

- [1] Confederação Nacional de Transporte, Boletins estatísticos, <https://www.cnt.org.br/boletins>, 2019 (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [2] World Bank Group. Connecting to Compete Trade Logistics in the Global Economy, The Logistics Performance Index and Its Indicators, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20399>, 2014. (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [3] A. M. Fernandes, N. L. S. Correa, Modais de transporte: um estudo acerca dos três principais modais da matriz de transporte de cargas do Brasil, in XII FATECLOG - gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: desafios e oportunidades no contexto atual, FATEC Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil, 2021.
- [4] Instituto de Logística e Supply Chain, Relatório de pesquisa dos custos logísticos no Brasil. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2017.
- [5] C. R. T. Pimenta, Projeto Geométrico de Rodovias, 1.ed, Rio de Janeiro, Elsevier, 2017.
- [6] L. A. Pereira, A importância do planejamento de rodovias em relação ao transporte de cargas, Monografia, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Fundação Educacional de Ituverava, Ituverava, MG, Brasil, 2019.
- [7] J. Duarte, Gerenciamento do cronograma do projeto, <https://www.gp4us.com.br/gerenciamento-do-cronograma-do-projeto>, 2008. (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [8] J. B. B. Ferreira, Gestão de projetos na construção civil, Gest MBA, Goi I, Nos R., 2013.
- [9] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Estudos de Tráfego Capacidade e Níveis de Serviço para elaboração do Projeto Básico e Executivo do Lote 3.1 BR-381/MG, DNIT, Brasília, MG, Brasil, 2016.
- [10] E. F. Batista, Metodologias de mensuração econômica e avaliação da vulnerabilidade com aplicação em trechos da rodovia Régis Bittencourt, São Paulo-SP, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2019.
- [11] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Manual de custos de infraestrutura de transportes, v.1, 1ed. DNIT, Brasília, DF, Brasil, 2017.
- [12] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Manual de custos de infraestrutura

- de transportes, v.12, 1ed. DNIT, Brasília, DF, Brasil, 2017.
- [13] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Notícias, <http://www.dnit.gov.br/noticias/dnit-lanca-novo-sistema-de-custos-referenciais-de-obras-sicro>, 2017 (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [14] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Planilha de custos e pagamentos do Sistema de Custos Referenciais de Obras, <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro/sudeste/sudeste>, 2018 (acesso em 19 fevereiro 2019).
- [15] E. J. A. Lustosa, Automatização de aquisição de dados de tempos de ciclos de equipamentos de terraplenagem utilizando internet das coisas. Monografia, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil, 2018.
- [16] R. C. A. Ribeiro, L. H. Souza, F. G. Oliveira, Viabilidade econômica do uso de trator/implementos agrícolas na construção de terraços, Revista Engenharia na Agricultura, 28 (2020) 176-184.

ORCID

F. Delmiro 0000-0002-3983-2950 (<https://orcid.org/0000-0002-3983-2950>)
J. Possato 0000-0002-8109-3266 (<https://orcid.org/0000-0002-8109-3266>)
R. Ferraz-Almeida 0000-0003-0577-3961 (<https://orcid.org/0000-0003-0577-3961>)