



INFLUÊNCIA DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA NO
COMPORTAMENTO DOS PEDESTRES: ESTUDO DE CASO NA
CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Lívia Brito Jambo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Rio de Janeiro
Setembro de 2018

INFLUÊNCIA DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA NO
COMPORTAMENTO DOS PEDESTRES: ESTUDO DE CASO NA
CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Lívia Brito Jambo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Marcelino Aurelio Vieira da Silva, Ph.D.

Prof. Ronaldo Balassiano, Ph.D.

Prof. José Carlos Cesar Amorim, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

SETEMBRO DE 2018

Jambo, Livia Brito

Influência da programação semaforica no comportamento dos pedestres: Estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro/ Livia Brito Jambo – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

VIII, 107 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 75-81.

1. Pedestres. 2. Programação semaforica. 3. Análise Envoltória de Dados. I. Silva, Marcelino Aurélio Vieira da. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de iniciar, prosseguir e terminar os estudos em uma situação tão delicada do país, principalmente da pesquisa acadêmica.

Aos meus pais, Inês e Cezar, pelo apoio e amor incondicionais que foram imprescindíveis, não só desde o início do mestrado, mas da vida. Ao meu pai, muito obrigada pelos conselhos, orientações e sugestões sobre o trabalho, sem os quais, com toda a certeza, este não teria a mesma qualidade.

À minha irmã, Júlia, pelo contínuo apoio fraterno e auxílio nos estudos de campo num centro da cidade quente e sem segurança pública (juntas somos mais fortes!). Ao meu cunhado Murilo, que auxiliou na torcida e com algumas fotografias.

Ao meu marido, Alloan, pela paciência, pelo constante incentivo e por sempre acreditar na minha capacidade, mesmo quando eu mesma duvidei.

À minha amiga, Raquel, por me acompanhar desde o início da vida acadêmica e continuar sendo um dos melhores presentes que a UFRJ já me deu.

Ao orientador, Marcelino Aurelio, por literalmente salvar este trabalho, direcionando e orientando os estudos, tendo proporcionado os conhecimentos necessários à realização do trabalho.

Ao colega Breno, cujos auxílio e explicações relativas ao método DEA foram fundamentais para a elaboração do estudo.

Aos colegas do PET-UFRJ, com os quais pude trabalhar em disciplinas, projetos, seminários e congressos, principalmente Juliane e Victor. Aos funcionários e professores do PET-UFRJ, pela atenção e constante boa vontade em ajudar.

Aos funcionários do COR (Centro de Operações Rio) pelo auxílio e disponibilidade para o fornecimento de dados da prefeitura, sem os quais o estudo seria impossível.

Por fim, agradeço à CAPES por fomentar essa oportunidade de aprendizado e à COPPE-UFRJ pela oportunidade e fornecimento das instalações necessárias à elaboração do trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

INFLUÊNCIA DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA NO COMPORTAMENTO DOS
PEDESTRES: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Lívia Brito Jambo

Setembro/2018

Orientador: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Programa: Engenharia de Transportes

O desvio de conduta dos pedestres mais comum no trânsito brasileiro é o desrespeito semafórico. Tal tipo de comportamento pode acarretar atropelamentos, o que se constitui em uma das principais causas das mortes violentas no Brasil. Paralelamente, a mobilidade, tanto de pedestres quanto de veículos é deveras afetada, mesmo quando o atropelamento não é consumado; quando gera mudanças não previstas de trajetória do veículo, frenagens bruscas e acidentes com outros veículos. A proposta desta dissertação é o estudo específico da influência da programação semafórica no desrespeito semafórico por pedestres que, conjuntamente a diversos fatores psicossociais, influenciam em tal comportamento. Como fonte de dados e estudo de caso, foi adotado o centro da cidade do Rio de Janeiro, notadamente os semáforos situados nas interseções das avenidas Presidente Vargas e Rio Branco e entre as avenidas Rio Branco e Almirante Barroso, das quais foram retirados dados pedonais e semafóricos. Com a aplicação do método de Análise de Envoltória de Dados (DEA), utilizando-se do modelo CCR orientado a *input*, fica evidente a necessidade de adequação da programação semafórica para o caso estudado, inclusive com dados quantitativos sobre a necessária alteração dos períodos semafóricos. Esta metodologia pode ser replicada a outros casos semelhantes no Rio de Janeiro e em outras cidades brasileiras, o que demonstra a relevância do presente estudo e de sua continuidade.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

INFLUENCE OF TRAFFIC LIGHT SETTINGS IN PEDESTRIANS' TRAFFIC LIGHT
RESPECT: STUDY CASE OF RIO DE JANEIRO'S CITY

Lívia Brito Jambo

September/2018

Advisor: Marcelino Aurelio Vieira da Silva

Department: Transportation Engineering

The most common pedestrian deviance in Brazilian traffic is traffic signal disrespect. Such behavior can lead to trampling, which is one of the main causes of violent deaths in Brazil. At the same time, the mobility of both pedestrians and vehicles is greatly affected, even when the trampling is not consummated; when it causes unplanned changes in vehicle trajectory, sudden braking and accidents with other vehicles. The purpose of this dissertation is the specific study of the influence of semaphoric programming on the traffic signal disrespect by pedestrians, which, along with several psychosocial factors, influence this behavior. As a data source and case study, the center of the city of Rio de Janeiro was adopted, notably the traffic lights located at the intersections of Presidente Vargas and Rio Branco avenues and between Rio Branco and Almirante Barroso avenues, from which were collected pedestrian and semaphores data. With the application of the Data Envelopment Analysis (DEA) method, using the input-oriented CCR model, it is evident the need to adapt the traffic signal programming for the case studied, with quantitative data on the necessary alteration of the semaphore periods . This methodology can be replicated to other similar cases in Rio de Janeiro and other Brazilian cities, which demonstrates the relevance of this study and its continuity.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Objetivos e relevância.....	2
1.2.1	Objetivo Geral.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos.....	3
1.3	Estrutura do trabalho	3
2.	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	4
2.1	Ambiente Urbano	4
2.2	Mobilidade, acessibilidade e caminhabilidade.....	7
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	Comportamento dos pedestres	11
3.2	Tempo de Travessia de Pedestres	14
3.3	Coleta de dados	16
3.4	Metodologia da pesquisa.....	22
3.5	Avaliação de desempenho.....	27
4.	DEA APLICADO AOS TRANSPORTES	29
5.	ESTUDO DE CASO	37
5.1	Caracterização da Área de Estudo.....	38
5.1.1	Escolha das interseções	41
5.1.2	Gravação e formatação dos vídeos.....	44
5.1.3	Contagem dos pedestres e cálculo das taxas de desrespeito semafórico	46
6.	APRESENTAÇÃO DOS DADOS LEVANTADOS	48
6.1	Levantamento do tempo de espera dos pedestres e da efetiva duração das fases nos ciclos estudados	48
6.2	Contagem de pedestres e cálculo das taxas de desrespeito semafórico	50
6.3	Análise de desempenho dos semáforos.....	51
7.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	54
8.	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ANEXO 1	82
ANEXO 2	89
ANEXO 3	95

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O transporte está intimamente ligado ao cotidiano das cidades, principalmente pela necessidade de deslocamento de produtos e pessoas. Para que estas necessidades sejam atendidas, o tráfego urbano necessita de adequadas condições de mobilidade e acessibilidade. O transporte urbano e os seus decorrentes problemas no cotidiano da população têm se tornado uma questão de fundamental discussão, uma vez que, na maioria das cidades brasileiras, os requisitos básicos de desempenho dos veículos, das vias, das calçadas, das sinalizações etc. não têm sido atendidos (JAMBO, 2016).

Na maioria das metrópoles brasileiras pode-se verificar que um dos principais problemas na mobilidade se deve ao fato de o tempo de viagem estar cada vez mais longo, impactando a qualidade de vida da população e aumentando os custos e riscos relacionados aos transportes (RIBEIRO, 2008). Desta forma, é fundamental que o tempo de percurso seja planejado e que esta estimativa seja a mais realista possível.

Por ser uma atividade básica do ser humano, a caminhada, durante muito tempo, foi pouco valorizada no processo de planejamento de transportes, no entanto, sabe-se atualmente que ela é elemento-chave para a mobilidade sustentável, funcionando tanto de forma integrada a outros modos de transporte, como de forma independente, conectando origem e destino diretamente. Sendo assim, o conhecimento sobre a percepção dos pedestres ainda se encontra pouco sistematizado, se comparado a modalidades motorizadas (PORTUGAL, 2017).

Entender os problemas estruturais e de segurança que inibem ou dificultam os deslocamentos a pé é fundamental para que os planejadores possam realizar um trabalho adequado. Desta forma e de acordo com PORTUGAL (2017), a análise dos obstáculos às viagens a pé, tal como o tempo semaforizado pela ótica do pedestre, e como os mesmos interferem na mobilidade dos pedestres é intrínseco ao bom gerenciamento da conectividade urbana, uma vez que, mesmo na utilização de outros modos de transporte, a caminhada está sempre presente.

O problema de pesquisa do presente trabalho consiste em identificar aspectos da programação semaforizada que precisam ser melhorados, a fim de proporcionar uma melhor adequação ao

sistema, tanto para veículos quanto para pedestres, melhorando o desempenho das interseções semaforizadas e, assim, da mobilidade urbana.

1.2 Objetivos e relevância

O estudo do assunto é pertinente, uma vez que a mobilidade e acessibilidade dos pedestres, em conjunto com o desempenho das vias e a previsão do tempo de viagem, são fundamentais para a melhoria da fluidez do tráfego urbano e qualidade de vida da população.

O tempo de viagens a pé é comumente subestimado, o que pode influenciar o planejamento das viagens e da escolha modal. Além disso, as condições das calçadas e trechos de travessia podem influenciar a decisão do trajeto dos pedestres e de pessoas com mobilidade reduzida, ou até mesmo impedir os seus deslocamentos (MAGALHÃES *et al*, 2004), o que vai de encontro à tendência mundial de evolução para ‘cidades inteligentes’.

A qualidade de serviço para pedestres, assim como outros estudos sobre a caminhada como transporte, ainda é recente na bibliografia acadêmica. Neste contexto, é fundamental o estudo dos fatores que influenciam as viagens a pé, sendo o foco deste trabalho o estudo das interseções semaforizadas. Nelas, comumente, é subdimensionado o tempo de verde para pedestres, o que pode leva-los a alterar o percurso ou não respeitar o semáforo vermelho, a fim de reduzir o tempo de viagem.

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar os tempos de ciclos semaforicos em interseções, relacionando a programação semaforica aos índices de desrespeito semaforico por pedestres e, utilizando-se do método de Análise Envoltória de Dados (DEA), avaliar o desempenho dos semáforos, demonstrando o quanto deve ser melhorado o sistema semaforico, na ótica do pedestre. Esta abordagem mostra-se fundamental, uma vez que podem ser identificadas características pontuais das interseções e ajustar o sistema levando-se em conta cada especificidade local (como fluxo de veículos/pedestre, horários do dia etc.), proporcionando uma maior flexibilidade ao planejamento semaforico.

Com esta avaliação, o trabalho contribui para melhoria da programação semaforica, identificando inclusive o quanto os períodos dos ciclos semaforicos precisam ser ajustados a fim de serem reduzidos os índices de evasão dos semáforos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Com foco no objetivo geral, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar as características de interseções semaforizadas;
- Identificar as durações reais (em segundos) dos ciclos semafóricos;
- Avaliar o comportamento dos pedestres nas interseções semaforizadas;
- Verificar o índice de desrespeito aos semáforos fechados pelos pedestres;
- Aplicar o método de Análise Envoltória de Dados (DEA) adequado ao problema de programação semafórica, avaliando o desempenho dos semáforos;
- Propor soluções e alterações à programação semafórica visando a redução da evasão semafórica pelos pedestres.

1.3 Estrutura do trabalho

A fim de alcançar os objetivos propostos, o presente trabalho consiste nas seguintes etapas de estudo: No capítulo 2 é feita a contextualização do assunto, de forma a apresentar informações relevantes sobre as características inerentes ao ambiente urbano, bem como à mobilidade, acessibilidade e caminhabilidade urbana.

No capítulo 3 é apresentada a revisão bibliográfica, realizada para embasar o presente trabalho. No capítulo 4, é demonstrada a metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA) adotada para o estudo, identificando os principais parâmetros utilizados para as medições e análises efetuadas. No capítulo 5 é apresentado o estudo de caso, realizado no centro da cidade do Rio de Janeiro, destacando suas características, determinação das vias de estudo, avaliação das filmagens obtidas e análise dos resultados.

No capítulo 6 são apresentados os dados levantados na pesquisa de campo e, no capítulo 7, a análise dos resultados da aplicação do modelo adotado para análise do desempenho das programações semafóricas. Em sequência, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões e as propostas para trabalhos futuros. Em seguida, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no estudo.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 Ambiente Urbano

A constante evolução e o crescimento das cidades brasileiras demandam cada vez mais ferramentas e metodologias capazes de ajustar a rede de transportes e integrar os diversos serviços oferecidos. Fatores como o padrão de deslocamentos e consumo humanos, a organização produtiva da cidade e o uso do solo, a disponibilidade de infraestrutura e sua distribuição, bem como as demandas futuras de transportes devem ser avaliados para que se tenha um sistema de transporte urbano adequado às necessidades de cada cidade (ZABOT, 2013).

Os sistemas de transporte urbano englobam modos coletivos e individuais, motorizados e não motorizados. De acordo com o PDTU (2015), na cidade do Rio de Janeiro, a maioria dos deslocamentos ocorre através de veículos motorizados (49% coletivo e 20% individual), sendo 29% a pé, como pode ser verificado na Figura 1.

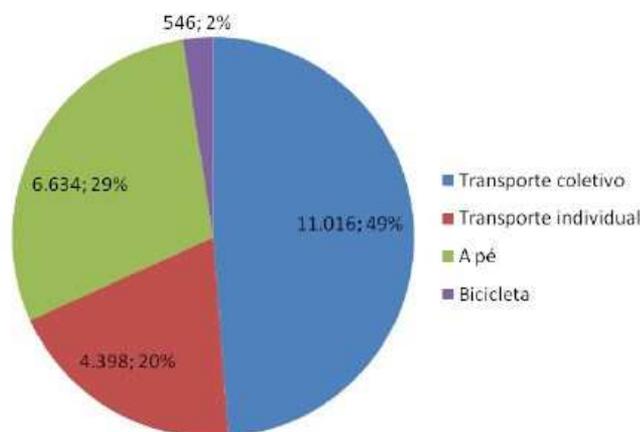


Figura 1: Divisão Modal 2012 (milhares de viagens).
Fonte: PDTU (2015).

Esta divisão comumente é vista e interpretada pelas autoridades como se fosse primordial o foco na gestão do modo motorizado, por este possuir maior proporção em relação aos outros modos. Embora sejamos todos pedestres e, em algum momento do dia caminhamos, seja para ir até o transporte público coletivo, estacionamento do carro etc., essa distância não é contabilizada pelas pesquisas por não terem sido realizadas por este modo em sua totalidade ou por significarem o percurso de distâncias menores do que 500m (NUPENS, 2017). Isto pode

gerar uma diferença na estimativa do transporte ativo, fazendo com que haja justificativa numérica diferente da realidade para se continuar priorizando o modo motorizado.

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2013), os acidentes por transportes terrestres são responsáveis por 1,25 milhões de mortes (12% do total no mundo) e 50 milhões de feridos em todo o mundo, sendo a primeira causa de morte mais frequente entre jovens de 15 a 29 anos, o que representa um custo de US\$ 518 bilhões por ano. No Brasil, o trânsito é a segunda causa de morte, entre as causas externas, com maior ocorrência entre jovens e adultos de 15 a 39 anos. Em 2011, no Brasil, 67% das vítimas no trânsito foram pedestres, ciclistas e/ou motociclistas (PORTUGAL, 2017).

De acordo com o Art. 24, item III do Código de Trânsito Brasileiro “compete aos órgãos e entidades executivos de trânsito dos municípios, no âmbito de sua circunscrição: implantar, manter e operar o sistema de sinalização, os dispositivos e os equipamentos de controle viário”. O Art. 71 estabelece que “o órgão ou entidade com circunscrição sobre a via manterá, obrigatoriamente, as faixas e passagens de pedestres em boas condições de visibilidade, higiene, segurança e sinalização”, porém esses regulamentos não são cumpridos com rigor, sendo a carência de recursos das esferas públicas o argumento mais utilizado (ABRASPE, 1999).

O tempo dado ao pedestre para atravessar a via deve ser suficiente para concluir-se a travessia tranquilamente, considerando pessoas idosas, com mobilidade reduzida e que andem lentamente. A velocidade média usualmente adotada é de 1,2 m/s (HCM, 2000; DNIT, 2006). Apesar de ser um pouco rápida para pessoas que andam mais lentamente, vale ressaltar que o Código de Trânsito Brasileiro assegura ao pedestre o direito de concluir a travessia em qualquer situação. O motorista que não der preferência ao pedestre nesses casos comete infração grave, ou gravíssima no caso de o pedestre ser deficiente, criança, idoso ou gestante. Além disso, a espera para abertura do semáforo para o pedestre não deve ser demorada ao ponto de irritá-lo e levá-lo a atravessar com o sinal fechado (ABRASPE, 1999).

Com o objetivo de assegurar mais fluidez ao trânsito de veículos, o sistema de temporização de sinais sacrifica o pedestre de várias formas, quais sejam:

- a. o tempo para a travessia, em alguns casos é insuficiente para os que andam lentamente;

- b. nas avenidas largas e de trânsito intenso o pedestre é obrigado a dividir sua travessia em duas etapas: uma até o canteiro central; e outra dali até o outro lado da rua;
- c. em muitos locais a espera é exagerada, isto é, superior a um minuto (HCM, 2000).

A prioridade aos pedestres deve ser dada em áreas onde seu volume é muito grande. Há muitos casos em que o pedestre é obrigado a enfrentar situações de desconforto e risco quando o canteiro central é estreito (ABRASPE, 1999).

Outro fator importante no comportamento do pedestre, notadamente os aspectos psicossociais, culturais e ambientais do meio urbano do Rio de Janeiro, está relacionado à segurança pública, sendo um dos problemas que mais preocupa a população brasileira, segundo o relatório Índice de Progresso Social (SPI, 2015). Para se ter uma ideia, em 2015 o Brasil aparece na 11ª posição no *ranking* de países mais inseguros do mundo. Tendo em vista esses dados a respeito da segurança do país, que podem ser considerados alarmantes, o problema em questão parece ter papel fundamental na vida social das pessoas. Esta situação de falta de segurança pode influenciar no comportamento das pessoas, nas suas atividades, onde trabalham, onde vivem e como elas se deslocam, podendo alterar a escolha do seu modo de transporte (SANTOS *et al*, 2016).

O deslocamento a pé é uma forma indispensável de transporte para a população, seja ele modo principal de transporte ou parte integrada de outro modo. Segundo o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2003), em pesquisas origem-destino realizadas em algumas cidades brasileiras, mais de 30% dos deslocamentos realizados em área urbana são feitos exclusivamente a pé. No entanto, nos últimos anos, andar a pé se tornou a maneira mais perigosa de se deslocar em alguns estados brasileiros (SANTOS *et al*, 2016).

Para demonstrar, segundo a Secretaria de Segurança Pública de São Paulo (SSP-SP, 2014), o número registrado de ocorrências de roubos a transeuntes corresponde a 52,47% do total de ocorrências, sendo superior ao número de ocorrências nos demais modos de transporte, que somaram 35,14% dos incidentes registrados. Já no caso do Rio de Janeiro, o Instituto de Segurança Pública do Estado do Rio de Janeiro (ISP-RJ, 2013) indica que os números de roubos a transeuntes se sobressaem ao número de fatos registrados nos demais modos, somando 48% do total de ocorrências. Por sua vez, em Pernambuco os dados são ainda maiores, onde 60,5%

do total de ocorrências de roubos no ano de 2013 foram a transeuntes, em contraposição apenas 16,66% das ocorrências foram registradas em carros e transportes coletivos, segundo as estatísticas oficiais da Secretaria de Defesa Social (SDS-PE, 2013). Assim, os dados da Tabela 1 mostram a evolução do número de ocorrências a pedestres nos últimos anos nestes três estados brasileiros (SANTOS *et al*, 2016).

Tabela 1: Ocorrências de roubo a pedestres e outros modos nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Pernambuco.

Ocorrências de roubos			
Estado	Ano	Roubos a pedestres	Roubos aos demais modos
Rio de Janeiro	2011	51,30%	20,70%
	2012	47,80%	26,00%
	2013	48,00%	27,01%
São Paulo	2014	48,38%	26,32%
Pernambuco	2011	62,96%	17,51%
	2012	61,93%	17,66%
	2013	60,50%	16,66%

Fonte: Adaptado de SANTOS *et al* (2016).

Analisando a Tabela 1, percebe-se que é mais perigoso o deslocar-se a pé que nos demais modos de transporte. A segurança pessoal refere-se à inexistência de risco de assalto, roubo e agressão física, sendo que tais riscos podem desencorajar caminhadas, ciclismo e trânsito (VTPI, 2014). Por sua vez, SANTOS *et al*, 2016 (apud FIGUEIREDO e MAIA, 2013) argumentam que a segurança pública é inerente às operações de deslocamentos dos pedestres e caracterizada como fator relativamente intangível, mas que deve ser levada em consideração no planejamento das estruturas de circulação para pedestres.

Neste contexto, os sistemas semafóricos devem ser previstos considerando tempos adequados não somente aos automóveis, mas também aos pedestres, visando minimizar também a sensação de que se está “perdendo tempo” e de que se está mais propenso a assaltos devido ao maior tempo de exposição no mesmo local. Qualquer fator influente, que estimule o desrespeito ao semáforo pode gerar consequências graves, como atropelamentos e demais acidentes envolvendo veículos e pedestres. Isto acarreta o comprometimento global do fluxo e mobilidade da via, vias adjacentes, interseções etc.

2.2 Mobilidade, acessibilidade e caminhabilidade

Por definição, mobilidade é um atributo associado às pessoas e aos bens; corresponde às diferentes respostas dadas por indivíduos e agentes econômicos às suas necessidades de

deslocamento, consideradas as dimensões do espaço urbano e a complexidade das atividades nele desenvolvidas (Ministério das Cidades – 2004). Da mesma forma, de acordo com a NR 9050, acessibilidade significa possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia de edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos. Para que uma cidade seja acessível, é fundamental que as condições das calçadas, rampas e pisos, das áreas de circulação, aproximação e transferência, das faixas de travessia e das sinalizações sejam adequadas e inclusivas (PORTUGAL, 2017).

A mobilidade urbana, sustentabilidade do transporte e a qualidade ambiental nos centros urbanos são preocupações presentes e que sempre retomam à questão do pedestre e do transporte coletivo urbano, em detrimento do transporte particular. A integração do pedestre, transporte coletivo eficiente e medidas de restrição ao uso de automóveis em concepções de projetos urbanos têm tido grande impacto positivo no desenvolvimento dos centros urbanos (MONHEIN, 2001).

O objeto das intervenções de transportes, segundo VASCONCELLOS (2001), é o ambiente de circulação, fusão do ambiente construído e os sistemas de circulação. Numa cidade, este ambiente construído é o mesmo espaço urbano sobre o qual as pessoas desenvolvem suas atividades cotidianas, sejam elas relativas a trabalho, lazer ou descanso. É na condição de pedestres que as relações com o ambiente se desenvolvem de forma mais intensa.

As intervenções de transporte relacionadas à estrutura de circulação para pedestres como a definição de calçadas, passarelas, faixas de pedestres e tempos de semáforo, em geral se limitam a analisar o pedestre por analogia ao veículo. Estas abordagens, segundo a EBTU (1984), tendem a falhar sistematicamente, resultando na inadequação das soluções adotadas, em geral por comportamentos imprevistos por parte dos usuários.

Muitos destes comportamentos podem ser explicados através de características do ambiente e das atividades desenvolvidas nestes locais. Estes relacionamentos são objetos dos estudos de comportamento ambiental, e a aplicação do conhecimento gerado por estas pesquisas é muito comum aos projetos de arquitetura (MOORE, 1979) e apresenta boas perspectivas para aplicação de soluções integradas de desenho urbano e transportes.

Em muitas situações diferentes, a definição de pedestres está subentendida, transmitindo uma ideia de que o conceito de pedestre é claro e invariável. O conceito de pedestre, no entanto, se

não deixado explícito, pode tornar-se bastante polêmico. Neste sentido, estabelecer um conceito norteador do que seria o pedestre torna-se condição essencial para o prosseguimento do presente trabalho. O Código Brasileiro de Trânsito (CTB, 1997), apesar de referir-se ao termo ‘pedestre’ um grande número de vezes, não deixa clara sua definição. Neste, a interpretação da palavra ‘pedestre’ indica aquele que anda ou está a pé, mas esta definição é bastante restrita pois não considera pessoas com mobilidade reduzida, crianças em bicicletas, patinetes entre outras situações.

O *Pedestrian Plan* da Cidade de Cambridge (COC, 2000) define pedestre como pessoa andando a pé ou em cadeira de rodas. Não incluindo ciclistas ou patinadores. Este conceito apresenta um avanço em relação ao anterior, pois inclui pessoas com mobilidade reduzida na categoria. Ele também faz uma distinção entre pedestres e ciclistas e patinadores, denotando que existem peculiaridades a estes últimos que não permitem que sejam tratados como algo semelhante. Ele, no entanto, parece desconsiderar personagens urbanos como o vendedor de rua, o bebê num carrinho, uma criança numa bicicleta pequena ou velocípede, entre outros.

Por último, o *Portland's Pedestrian Master Plan* (COP, 1998) baseia-se no código da cidade de Portland que define pedestre como pessoa a pé; pessoa trabalhando com carrinho; pessoa montando ou empurrando trenó, patinete, triciclo, bicicleta com rodas com menos de 14 polegadas de diâmetro, ou veículo similar, patins, skate, cadeira de rodas ou bebê num carrinho. O conceito ora apresentado mostra-se como o mais completo dos três, considerando as pessoas com mobilidade reduzida, as pessoas que trabalham na rua com carrinhos para venda de produtos, veículos utilizados por crianças e que desenvolvem baixas velocidades ao mesmo tempo em que mantém uma distinção entre pedestres e ciclistas, presente no segundo conceito. Sua formulação adota três princípios: a forma de deslocamento terrestre; a força motriz preferencial a tração humana; e a velocidade de grandeza semelhante à desenvolvida por uma pessoa a pé.

Por fim, a última e mais consciente dimensão do andar, o transporte. O andar é o mais simples e barato meio de transporte humano, segundo VASCONCELLOS (2001). Usualmente, considera-se o andar como um modo secundário, complementar aos demais, no entanto, partindo da noção que todo deslocamento depende algum momento do modo a pé e que este é o único modo capaz de começar e terminar sozinho um deslocamento, cabe aqui uma inversão de conceito: andar é o modo de transporte mais importante, sendo os demais modos extensores

e complementares do andar, maximizando-o. Uma vez percebidas as diversas dimensões assumidas pelo andar, pode-se perceber o quão complexo pode ser o comportamento de um pedestre, e porque simplificações podem conduzir a incompreensões e erros nas análises.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objetivo o levantamento de conceitos relevantes à elaboração da pesquisa sobre comportamento dos pedestres e tempo de travessia de pedestres, a fim de serem mais bem entendidas estas características e suas relações com o problema de pesquisa.

3.1 Comportamento dos pedestres

A interação entre os pedestres e os veículos vem sendo intensamente estudada desde a década de 1960, tendo sido intensificada a partir da década de 1990, devido à verificação do alto índice de incidentes envolvendo estes agentes, incluindo a inserção deste assunto no *Highway Capacity Manual (HCM, 2000)* a partir de 1994 (ZHENG *et al.*, 2016).

De acordo com OGDEN (1996), há intrínseca relação entre o comportamento dos pedestres em situações de travessia e a ocorrência de incidentes, sendo importante considerar as atitudes tomadas por eles na concepção dos espaços públicos. Comportamentos como tentativa de travessia na frente do veículo, travessia acelerada para conseguir alcançar o transporte público, não percepção da aproximação de um veículo (inclusive quando da utilização de faixas de travessia), dentre outros fatores, seriam os principais causadores de incidentes entre veículos e pedestres, de acordo com MELO (2005).

Mais recentemente, outro problema que tem se intensificado é o uso de aparelhos celulares durante a travessia de pedestres. Seja utilizando o aparelho para realizar chamadas, digitar mensagens de texto ou ouvir música, diversos estudos como os de NASSAR e TROYER (2013), PESIC *et al.* (2015), ZHAO *et al.* (2015) e JIANG *et al.* (2018) verificaram a alteração no comportamento dos pedestres ao atravessar as vias e o aumento do índice de incidentes neste contexto. Apesar desta problemática, existe a vantagem do uso de dados celulares para a estimativa de caminhos e decisão de percursos, por exemplo, para simulações microscópicas (DAVIDICH e KÖSTER, 2012).

De acordo com ZHENG *et al.* (2016), para modelos de movimento de pedestres, a maioria das metodologias é desenvolvida com base na teoria do fluxo de tráfego. Dado um par origem-destino, o caminho de viagem para pedestres é selecionado aleatoriamente, no entanto, a escolha da rota pelos pedestres na realidade depende muito das características dos mesmos e das condições de tráfego. Segundo MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2013), em seus estudos

realizados na Índia, foi observado que os pedestres ajustam suas velocidades com base nas condições do tráfego no momento da travessia, além disso, o padrão de chegada ao ponto de início da travessia não é uniforme e alguns pedestres atravessam a faixa durante a fase de vermelho e vermelho intermitente.

O desrespeito semaforico de pedestres também foi analisado por WANG *et al.* (2011), que identificaram vários fatores contribuintes como o tempo de espera e atraso na programação, características pessoais (por exemplo, idade e sexo), finalidade da viagem, e condições de tráfego (por exemplo, fluxo de pedestres e volume de tráfego).

Segundo MAKO e SZAKONYI (2016), apesar da melhoria da segurança rodoviária na Hungria nos últimos anos, os acidentes rodoviários e as suas consequências continuam a ser um grave problema social. Segundo o estudo, as estatísticas de estudos prévios de acidentes relacionados a pedestres analisadas no período entre 2004 e 2013 mostraram que 2048 acidentes rodoviários fatais ocorreram em faixas de pedestres, sendo 56% destes causados por motoristas e 44% por pedestres.

De acordo com estudo realizado em 83 interseções na cidade de Gyor, o tempo de espera nas travessias é muito maior para pedestres do que o para os motoristas. Além disto, para além dos semáforos, onde existe um tempo de atraso relativamente elevado para os condutores e pedestres, foi observado que, a respeito do tempo de espera, não há diferença significativa entre as travessias de pedestres em interseções com ou sem ilhas de refúgio. Uma das razões por trás disso, de acordo com os pesquisadores, deve-se ao fato de os pedestres realizarem as travessias de uma só vez, não importando se há uma ilha de refúgio ou não, assim, desrespeitando os semáforos e praticamente considerando a travessia como não semaforizada.

Considerando estes fatores comportamentais, MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2013) propuseram um modelo de atraso adequado para a condição indiana com base em três fatores, como o tempo de espera para travessia, atraso no tempo de travessia e o atraso na interação veicular. O tempo de espera foi baseado no tempo de vermelho para pedestres na área de espera, o atraso no tempo de travessia foi baseado na velocidade de pedestres e o atraso na interação veicular é baseado em um *gap* aceitável entre a abertura do semáforo para os veículos e a velocidade de travessia. Desta forma, os autores propuseram um novo modelo de atraso de

pedestres, que também pode ser usado para avaliar o nível de serviços em interseções semaforizadas.

Outra observação realizada por MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2013) foi que os modelos tradicionalmente utilizados na programação semafórica levam em conta realidades diferentes das apresentadas por países em desenvolvimento, pois utilizam-se do padrão estadunidense/europeu. Como demonstrado pelos autores, é necessária a adequação quanto às características locais, principalmente de comportamento, educação e cultura.

Estas observações também foram feitas por outros estudos em diferentes países, que confirmaram o significativo impacto do layout da faixa de pedestres, incluindo largura, comprimento, posição e uso de canalização na obediência dos pedestres aos sinais (SUPERNAK *et al.*, 2013; YANG e SUN, 2013; XU *et al.*, 2013, ALHAJYASEEN e IRYO-ASANO, 2017). Desta forma e de acordo com o descrito anteriormente, pode-se perceber que os métodos tradicionais utilizados potencialmente deverão ser revistos também para a realidade brasileira.

De maneira geral, o comportamento de pedestres pode ser caracterizado por tendências gerais (MAGALHÃES *et al.*, 2004), tal como visto na Tabela 2.

Tabela 2: Comportamento de pedestres caracterizado por tendências gerais.

Tendência	Características	Exemplos
<ul style="list-style-type: none"> Menor Dispendio de Energia (Conveniência) 	<ul style="list-style-type: none"> Preferência por trajetos mais curtos; Preferência por ações mais fáceis, convenientes e menos cansativas; Procura do menor esforço e maior benefício. 	<ul style="list-style-type: none"> Não utilização de passarelas; Contorno de obstáculos verticais em detrimento de uma caminhada mais longa; Travessia das vias fora da faixa ou na diagonal; Preferência por rampas a escadas.

<ul style="list-style-type: none"> • Trajetória Retilínea, Menor Distância 	<ul style="list-style-type: none"> • Andar em linha reta para o ponto de destino; • Pouca tolerância a aumentos de percurso; • Permanência na trajetória, evitando sair dela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não utilização de passarelas; • Travessia de pista na diagonal; • Atravessar canteiros mesmo que não existam caminhos alternativos.
<ul style="list-style-type: none"> • Movimento Contínuo 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca tolerância à espera; • Desejo de se manter em movimento no sentido do destino. 	<ul style="list-style-type: none"> • Andar ao longo da via atravessando fora da faixa de segurança quando surge uma oportunidade; • Desobediência aos semáforos

Fonte: MAGALHÃES *et al* (2004).

3.2 Tempo de Travessia de Pedestres

A velocidade e o tempo/espaço disponível para a caminhada são os elementos mais importantes em relação aos pedestres em segmentos urbanos, sendo medidas-chave para a avaliação destes movimentos. Muitos estudos, como DEWAR (1992), FITZPATRICK *et al.* (2007), MUTCD (2009) e SCHROEDER *et al.* (2014), analisaram a velocidade dos pedestres em diferentes circunstâncias. Os movimentos dos pedestres em ambientes urbanos têm sido modelados através de diversos métodos de simulação, incluindo abordagens macroscópicas e microscópicas, além do uso de técnicas baseadas no tempo ou em eventos.

Interseções semaforizadas muitas vezes envolvem o cruzamento multiestágios de pedestres, nos quais os semáforos os direcionam a atravessar para uma ou mais ilhas/canteiros centrais e, em seguida, aguardam um próximo semáforo para continuar. Não há métodos ou ferramentas amplamente aceitos para calcular o atraso de pedestre nestas circunstâncias e, como consequência, os semáforos que regulam estes cruzamentos comumente não são devidamente dimensionados, resultando em tempos de espera muito longos para os pedestres (FURTH e WANG, 2014).

KNOBLAUCH *et al.* (1995) encontraram uma velocidade média de travessia de 1,51 m/s para pedestres jovens e 1,25 m/s para pedestres mais velho. Eles, recomendam a adoção de um valor de 0,9 m/s em áreas com muitos pedestres idosos. CAREY (2005) também identificou que a média da velocidade de caminhada é maior para os pedestres mais jovens do que para os mais velhos. Ele também percebeu que, quando os pedestres atravessam em grupos, sua velocidade de caminhada tende a ser mais lenta.

O'FLAHERTY (1997) indicou que as velocidades de travessia em interseções congestionadas, contendo pedestres de variadas idades, pertencem ao intervalo entre 1,2 m/s e 1,35 m/s. Caso as travessias sejam menos movimentadas, a velocidade média aproxima-se da velocidade de caminhada de fluxo livre de 1,6 m/s. Para pessoas com deficiência, 0,5 m/s foi definido como o valor apropriado. TARAWNEH (2001) avaliou que pedestres com idades entre 21 e 30 anos foram os mais rápidos e pedestres com mais de 65 anos foram o grupo mais lento. Ele também percebeu que as velocidades de travessia dos homens (1,35 m/s) foram ligeiramente maiores que as das mulheres (1,33 m/s). A média das velocidades de travessia destes grupos de pedestres ficou entre 1,34 e 1,11 m/s. CAREY (2005) identificou que a média das velocidades de caminhada foi maior para os pedestres mais jovens do que para os mais velhos e que, de modo geral, quando os pedestres atravessam em grupos, a velocidade de caminhada tende a ser mais lenta.

O *Manual of Traffic Studies (MTS, 1999)* utilizou como base de cálculo velocidades de travessia de pedestres entre 1,1 m/s e 1,2 m/s. O *US Institute of Transportation Engineers (ITE, 2003)* sugere a adoção da velocidade de 0,75 m/s em locais com maior proporção de idosos. Este valor é utilizado pelo *ITE* com a intenção de acomodar 87% da população de pedestres. O *Indian Road Congress (IRC, 1987)* utiliza a velocidade de travessia de 1,2 m/s (MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI, 2014).

O *HCM (2000)* propõe a adoção de uma velocidade média de 1,2 m/s para a travessia em interseções semaforizadas para o cálculo dos tempos semaforicos. Este padrão é determinado de acordo com a idade dos pedestres, caracterizando as faixas de velocidades a serem utilizadas de acordo com a proporção de idosos e crianças (quando a porcentagem destes pedestres for entre 0 e 20%), mas já foi identificado em alguns estudos recentes, como ZHENG *et al* (2016),

que as velocidades médias praticadas podem ser da ordem de 1,5 m/s, uma vez que as velocidades de travessia dependem de diversos fatores. Esses fatores, além da idade, podem ser o gênero, o motivo da viagem, o horário do dia, as condições de tráfego, o volume e o fluxo de pedestres, a formação de pelotões, a largura da faixa de travessia, característica do ambiente etc. (ZHENG *et al*, 2015).

Ainda assim, o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) utiliza metodologia semelhante ao *HCM* (2000), que adota a velocidade de travessia de 1,2 m/s como a velocidade de cálculo para a programação semafórica para interseções com baixa proporção de idosos e crianças, apesar de diversos estudos indicarem a necessidade do aprofundamento das características dos pedestres do local, das características locais etc., como já explicitado.

Outro aspecto a ser considerado é a influência da forma com a qual os pedestres realizam a travessia. FRUIN (1971) descreve que, ao ter-se uma travessia bidirecional, as velocidades tendiam a ser iguais quando os fluxos eram semelhantes em ambos os sentidos, ao passo que, quando os fluxos eram desiguais, a velocidade do grupo maior tendia a impactar a do menor. Posteriormente, BLUE e ADLER (2000) confirmaram os impactos da travessia multidirecional na redução do fluxo e da velocidade.

Além disso, ZHENG *et al* (2015) investigaram a velocidade de travessia dos pedestres que desrespeitam o semáforo e compararam com a velocidade dos pedestres que o respeitam. O resultado não apresentou significativa diferença entre as velocidades médias, mas a variabilidade de velocidade dos pedestres que desrespeitavam o semáforo era muito maior do que os que respeitavam.

3.3 Coleta de dados

Existem diversos aspectos e abordagens para a contagem de pedestres. Quanto à tecnologia utilizada, ela pode ser automatizada ou manual. Quanto à duração da contagem, pode ser de curta duração ou contínua. Quanto à localização do ponto de observação, pode ser em interseções ou em segmentos contínuos entre interseções (DNIT, 2006).

A título de esclarecimento, as análises automatizadas são aquelas realizadas através de máquinas, seja pela implantação destas no local de estudo, ou através de vídeos utilizando *softwares* de reconhecimento e contagem. As contagens manuais são aquelas realizadas através de uma pessoa (ou mais) posicionada no local de estudo, ou observando gravações de vídeos do local (USDT, 2016).

As contagens de curta duração são aquelas com menos de 24 horas, comumente realizadas de forma manual, mas que também podem ser efetuadas através de equipamentos automatizados em períodos diários ou semanais. As contagens contínuas são automatizadas e realizadas em períodos de 24 horas, em pelo menos um ano (365 dias) de forma permanente (USDT, 2016).

A coleta de dados de pedestres engloba diversas etapas iniciais como planejamento: definição do propósito, identificação dos recursos disponíveis, seleção da escala e dos pontos de observação, determinação do período de contagem e seleção do método de contagem. A implementação da pesquisa necessita de prévia autorização (municipal, estadual ou federal, dependendo da escala), de busca de materiais e mecanismos já implementados, além de dados previamente armazenados pelos órgãos competentes, da preparação dos dispositivos necessários ao estudo, do treinamento da equipe (se aplicável) etc. (DNIT, 2006).

O rastreamento de pedestres é um problema difícil, especialmente quando são requeridos dados com precisão suficiente para a calibração de modelos de fluxo de pedestres (MEHRAN *et al.*, 2009). Embora o rastreamento por vídeo, ao contrário de muitos outros métodos, tenha potencial para permitir a extração de dados para cada pedestre, esbarra em desafios substanciais, como oclusão das câmeras, agrupamento de pedestres e ilusões de ótica, como por exemplo, dificuldade com a iluminação, surgimento de sombras, distorções de imagem, objetos móveis não humanos etc., que podem confundir um rastreador automatizado (ETTEHADIEH *et al.*, 2014).

Segundo ETTEHADIEH *et al.* (2014), embora os vídeos sejam, inegavelmente, fontes de dados valiosos e precisos sobre a trajetória dos pedestres, a aplicabilidade para casos com grandes quantidades de pedestres torna-se difícil e as metodologias de rastreamento são impraticáveis para serem aplicadas à maioria das filmagens existentes em espaços públicos, ou seja, por câmeras de vigilância (com vídeos de baixas resoluções). No entanto, recentemente têm sido

estudados métodos de rastreamento contando com a combinação de metodologias, filtragem avançada e detecção de algoritmos, como nos estudos de PÉREZ *et al.* (2006), BERNARDIN e STIEFELHAGEN (2008) e ELLIS *et al.* (2009).

CHANDRA e BHARTI (2013) realizaram um estudo sobre as velocidades de caminhada nas calçadas e de travessia de pedestres em interseções, através da análise de filmagens realizadas em diferentes cidades da Índia, com dados obtidos através do *Council of Scientific & Industrial Research (CSIR)* entre 2008 e 2009. O estudo separou as características de acordo com o gênero e de acordo com o tipo de instalações (calçadas e cruzamentos), como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Contagem de pedestres em calçadas e travessias na Índia.

Localização	Tipo de passagem	Tipo de movimento	Tamanho da amostra
Lado externo de estação ferroviária, Coimbatore	Calçada	Andar ao longo da calçada	239
Lado externo de edifício público, Déli	Calçada larga	Andar ao longo da calçada	234
Praça Connaught, Nova Déli	2 vias unidirecionais	Travessia	281
Lago Sukna, Chandigarh	3 vias bidirecionais	Travessia	47
Old Washmenpet, Chemai	4 vias não divididas	Travessia	175

Fonte: Adaptado de CHANDRA e BHARTI (2013).

Foram separados os dados relativos às travessias, uma vez que é o foco do presente trabalho (Tabela 4).

Tabela 4: Análise das velocidades de travessia e desvio padrão na Índia.

Localização	Gênero	Velocidade média (m/s)	Desvio Padrão
Praça Connaught, 2 vias unidirecionais	Masculino	1,52	0,28
	Feminino	1,42	0,30
Lago Sukna, 3 vias bidirecionais	Masculino	1,26	0,26
	Feminino	Sem dados disponíveis	Sem dados disponíveis

Old Washmenpet, 4 vias não divididas	Masculino	1,47	0,24
	Feminino	1,45	0,23

Fonte: Adaptado de CHANDRA e BHARTI (2013).

O estudo verificou que quanto mais próximo de locais com maior quantidade de comércio e edifícios empresariais, maior era a velocidade de travessia dos pedestres, assim como identificou que a velocidade de travessia era, de modo geral, superior à de caminhada. Além disso, ficou provado que a velocidade de travessia dependia das condições dos locais e foi observado que estas velocidades divergiam consideravelmente de outros estudos realizados em outros países, concluindo que as características locais e da população devem ser estudadas de acordo com os sistemas e informações de cada país.

ALHAJYASEEN e IRYO-ASANO (2017) utilizaram filmagens de diversas faixas de travessia em interseções semaforizadas no Japão para coletar as características microscópicas de pedestres. Os autores utilizaram um software de processamento de imagens para coletar informações de posição de pedestres e tempos de travessia em intervalos de 0,5 s (ver Tabela 5). IRYO-ASANO *et al.* (2015) utilizaram cinco faixas de travessia em três interseções para a realização da avaliação por vídeo, que eram operadas através de quatro planos semaforizados diários. Os locais de observação possuíam de baixo a médio fluxo de pedestres e foram selecionados de forma a minimizar o impacto das interações entre os pedestres no estudo. As informações deste estudo foram reutilizadas em ALHAJYASEEN e IRYO-ASANO (2017) para melhoria do algoritmo proposto, o que não será estudado pelo presente trabalho.

Tabela 5: Avaliação de pedestres em estudo no Japão.

Nome da Interseção	Sentido de travessia	Fluxo de pedestres (ped/h)		Número de pedestres observados por local	
		Mesmo lado da câmera	Lado oposto à câmera	Mesmo lado da câmera	Lado oposto à câmera
Kanayama	Leste	103	76	189	74
	Norte	185	153	106	267
Ueda	Leste	49	41	39	32
	Sul	58	56	64	71
Fushimi	Sul	155	167	56	72

Fonte: Adaptado de ALHAJYASEEN e IRYO-ASANO (2017).

De acordo com este estudo, grandes fluxos de pedestres afetam a interação entre eles durante a travessia, o que torna a identificação do impacto da geometria da faixa de pedestres e do tempo de verde necessário difícil ou até impossível de ser avaliado com precisão. Além disso, todos os locais de observação possuíam semáforos de pedestres comuns, sem contagem regressiva. É importante indicar que os semáforos de veículos e pedestres encontravam-se visíveis nas filmagens, o que facilitou a verificação de todas as informações sobre eles.

Estes dois últimos estudos, juntamente aos previamente mencionados, foram muito importantes para a tomada de decisão quanto à metodologia a ser utilizada para a coleta de dados no presente trabalho, como será demonstrado a seguir no capítulo 5, apesar de terem sido utilizadas ferramentas automáticas de extração de dados. Devido à indisponibilidade de softwares, a coleta de dados foi realizada de forma manual, mas a observação das interseções e a avaliação das informações dos pedestres foi similar às verificadas na revisão bibliográfica, com apenas algumas adequações de acordo com o necessário para o cenário do estudo de caso, como descrito a seguir.

MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2014) coletaram dados de três interseções semaforizadas na cidade de Mumbai, na Índia. A escolha destas interseções se deu de forma a selecionar interseções com grande fluxo de pedestres e cujos semáforos tivessem ciclos de durações fixas. Os autores utilizaram duas câmeras de vídeo para cada interseção, sendo feita a

filmagem de uma hora durante os horários de pico da manhã e da tarde, dependendo da interseção. A descrição mais detalhada das informações das interseções e dos dados coletados encontram-se na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6: Informações das interseções de estudo e das velocidades de travessia de pedestres.

Interseção	1 (Swami Vivekanand)	2 (Mahim)	3 (Holkar)
Período de análise	manhã	manhã	tarde
Distância de travessia	26,5 m	13,5 m	31,5 m
Nº de pedestres analisados	166	272	337
Veloc. média de travessia	1,35 m/s	1,22 m/s	1,44 m/s
Desvio padrão	0,35	0,23	0,32

Fonte: Adaptado de *MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2014)*.

No estudo mencionado, os pedestres que utilizaram a faixa de pedestre para realizar a travessia durante a fase de verde foram considerados como ‘pedestres em conformidade’, enquanto aqueles que realizaram a travessia durante a fase não verde foram considerados como ‘pedestres em não-conformidade’.

Segundo *MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2014)*, a percentagem de respeito semafórico pelos pedestres foi definida como a razão entre o número de pedestres que utilizaram a faixa de pedestres durante a fase de verde e o número total de pedestres que chegou realizou a travessia. O estudo utilizou-se da observação de setecentos e setenta e cinco pedestres a partir das gravações de vídeos para encontrar informações detalhadas sobre o comportamento de travessia de pedestres. As informações relativas aos resultados observados podem ser vistas na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados das análises de três interseções – velocidade média de travessia de pedestres e respeito semafórico.

Características	Parâmetros	Nº de pedestres observados	%
Veloc. média de travessia (m/s)	< 1,0	62	8,00
	1,0 – 1,2	181	23,35
	1,2 – 1,4	261	33,68
	1,4 – 1,6	164	21,16
	>1,6	107	13,81
Respeito Semafórico	Sim	341	44,00
	Não	434	56,00

Fonte: Adaptado de *MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2014)*.

Como observado, os autores verificaram que a maioria dos pedestres realizou a travessia com velocidades superiores a 1,2 (m/s), bem como a maioria desrespeitou o sinal luminoso do semáforo. As taxas de respeito semafórico nas interseções 1, 2 e 3 foram de 64%, 43% e 34%, respectivamente. De um ponto de vista socioeconômico, a interseção 3, pertencente a uma área comercial conhecida em Mumbai, apresentou uma menor taxa de respeito semafórico devido ao maior fluxo de pedestres e ao maior tempo de espera para pedestres por ciclo.

3.4 Metodologia da pesquisa

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), os procedimentos normalmente utilizados na engenharia de tráfego para levantamento de dados de campo são as pesquisas, que podem ser feitas mediante entrevistas ou por observação direta. Nas entrevistas, o processo consiste em obter a informação formulando perguntas orais ou escritas ao usuário, classificando suas respostas de acordo com certos padrões estabelecidos. Na observação direta, trata-se de registrar os fenômenos de trânsito tais como são, sem perturbá-los.

As pesquisas e as técnicas de levantamento mais empregadas nos estudos de tráfego são (DNIT, 2006):

- Contagens volumétricas;
- Pesquisa de origem e destino;
- Pesquisa de velocidade pontual;
- Pesquisa de velocidade e retardamento;
- Pesquisa de ocupação de veículos;
- Pesagem de veículos;
- Verificação da obediência às leis de trânsito;

Como o foco do presente trabalho consiste em analisar informações relativas aos pedestres, foram utilizadas e adaptadas as metodologias propostas pelo DNIT (2006) pertinentes ao assunto: contagem volumétrica, pesquisa de velocidade e verificação da obediência às leis de trânsito.

De acordo com o referido manual, as *Contagens Volumétricas* visam determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos/pedestres que passam por um ou vários pontos

selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. Essas informações serão usadas na análise de capacidade, na avaliação das causas de congestionamento e de elevados índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, nos projetos de canalização do tráfego e outras melhorias.

Existem diversos métodos de contagem volumétrica descritos no manual (contagem manual, automática, por videoteipe etc.), sendo que o mais adequado ao estudo de pedestres é a contagem através de videoteipe, que oferece as seguintes vantagens:

1. Todos os movimentos direcionais que ocorrem simultaneamente, por maiores que sejam, podem ser levantados por um só observador;
2. Maior confiança nos levantamentos, pois se podem comprovar os dados;
3. Trabalha-se com mais conforto, ao abrigo do tempo;
4. Pode-se obter outros dados de interesse.

Uma câmera de vídeo pode ser particularmente útil para levantar todos os movimentos dos veículos em uma interseção típica. Um relógio digital na imagem, ou observações verbais do operador da câmera, permitem identificar os intervalos de tempo de interesse. Além disso, estão sendo desenvolvidos sistemas de processamento que permitem a extração automática de dados de tráfego de veículos e de pedestres diretamente das imagens de vídeo, aumentando as vantagens de seu uso (DNIT, 2006).

De acordo com o referido manual, a contagem manual só será possível para baixos volumes de pedestres e em locais em que o deslocamento deles é definido e previsível. Nos casos de grandes concentrações e/ou de circulação muito esparsa, a programação de contagens manuais é praticamente impossível e o método utilizado passa a ser a filmagem ou a fotografia que, embora registrem todos os dados, requerem muito trabalho de tabulação.

No caso do presente estudo, foram utilizadas as imagens obtidas através das câmeras de vigilância da Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade do Rio de Janeiro (CET-Rio), disponibilizadas através de abertura de processo formal (realizado em 23 de maio de 2017) junto à Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro, com declaração de sigilo quanto às informações pessoais de pedestres e veículos que tenham sido eventualmente filmados.

Considerando que a avaliação em interseções oferece informações críticas e detalhadas, optou-se por seguir os procedimentos propostos pelo DNIT (2006) para o planejamento das contagens. No caso de contagens em várias interseções pode surgir a necessidade de economizar recursos humanos e materiais. Embora cada uma das interseções possa ser pesquisada pelos períodos completos estipulados para a pesquisa, isto torna-se frequentemente inviável dado o alto dispêndio de recursos que acarreta. Utilizando-se dos conhecimentos a respeito das flutuações de fluxos, pode-se propor um esquema diferente de contagens realizando a pesquisa em um período menor em algumas interseções e expandindo os dados, de modo a minimizar os recursos.

A expansão sempre incorrerá em algum erro, pois jamais refletirá com exatidão os valores reais do posto, que seriam obtidos se ele fosse observado pelo período completo. No entanto, a prática tem mostrado que este erro está dentro de limites aceitáveis na maioria dos casos e que a economia de recursos é plenamente justificada. Naturalmente, as dimensões do erro, e a decisão dos seus limites de aceitabilidade, serão sempre função da precisão da pesquisa e dos critérios estabelecidos (DNIT, 2006).

Os horários mais comuns para a pesquisa são aqueles em que ocorrem os maiores fluxos, chamados “horas de pico”, pois é nestes momentos que a interseção está sob solicitação máxima. A pesquisa deve ser realizada nos períodos da manhã e da tarde, obtendo-se os chamados “pico da manhã” e “pico da tarde”. Em geral, as contagens de pedestres deverão ser realizadas durante as horas de pico do tráfego de veículos (DNIT, 2006).

De acordo com as informações obtidas através do contato com o COR-Rio, a utilização das câmeras de vigilância pelo centro de operações limita-se à avaliação das condições de tráfego motorizado, não sendo utilizadas para o acompanhamento de informações de pedestres. Assim, entendendo que este é um fator intrínseco ao planejamento e controle do tráfego urbano, no presente trabalho pretendeu-se focar na utilização destas câmeras com a finalidade de avaliar o tráfego de pedestres nas interseções semaforizadas cujas filmagens foram obtidas.

As *Pesquisas de Velocidade* têm o objetivo de medir a velocidade de uma corrente de tráfego ao longo de uma via, a fim de conhecer as facilidades/dificuldades para percorrê-la. Nesta pesquisa a velocidade se refere à Velocidade Média no Espaço, igual à distância percorrida dividida pelo tempo médio gasto. O tratamento destes dados permite avaliar sob quais condições a massa trafega ao longo da rota, quais são os locais problemáticos e que influência eles têm no trecho analisado. A localização e o peso destes locais permitem ao técnico estudar formas de melhorar o desempenho do tráfego, geralmente direcionadas a diminuir os tempos de viagem (DNIT, 2006).

A *Verificação da Obediência às Leis de Trânsito* é fundamental para que se possa determinar de forma adequada e confiável o nível de obediência à sinalização implementada. A identificação de locais específicos onde ela não é respeitada pode revelar a necessidade de correções e/ou complementações a serem feitas. Para tal, a hora de pico é normalmente usada neste tipo de estudo, uma vez que é de se esperar que o período de menor obediência às leis ocorra quando o tráfego for mais intenso. Segundo o DNIT (2006), esta verificação é do tipo “sim-não”, sendo armazenado o número de pessoas que desrespeitam as leis, sendo consideradas 100 observações como adequadas para avaliar este nível de obediência às leis de trânsito, exceto quando infrações são raras. São observadas as taxas de desrespeito e comparadas às de respeito às leis, de forma percentual, e definidos critérios para aceitação das taxas ou não.

O *HCM* (2000) fornece várias metodologias para avaliar o nível de serviço de pedestres (Level of Service – LOS, na nomenclatura do manual) de diferentes instalações urbanas. No entanto, não aborda de forma abrangente as operações de pedestres e não considera algumas questões importantes, como interações de veículos e pedestres em faixas de travessia, conformidade semafórica quanto aos pedestres, comportamento imprudente de pedestres etc. (ZHENG *et al*, 2016). Ainda assim, este manual oferece grande quantidade de definições e metodologias úteis e aplicáveis ao estudo.

Algumas adaptações à metodologia proposta pelo DNIT (2006) foram implementadas a fim de adequá-la ao estudo aos pedestres, visto que o referido material tem foco no estudo dos veículos

e, quando se refere aos pedestres, avalia somente o impacto destes no fluxo veicular, não os colocando como prioridade na avaliação.

De acordo com o DNIT (2006), a rigor qualquer amostra deve ser dimensionada a partir de uma análise estatística. No entanto, razões de caráter prático, baseadas na experiência pregressa dos órgãos rodoviários, levam à necessidade de tecer algumas considerações. De um modo geral pode-se dizer que, para qualquer nível de confiança, a precisão dos resultados é praticamente proporcional à raiz quadrada do número de observações. A grosso modo, para duplicar a precisão é necessário quadruplicar o número de observações, ou o custo dos estudos.

Além disso, ainda de acordo com este manual, normalmente não há a disponibilidade dos recursos nem do tempo necessários para conseguir a precisão que se deseja, sendo necessário utilizar a precisão possível e aproveitar a experiência acumulada dos órgãos rodoviários, para dimensionar de forma adequada as pesquisas.

Na programação semaforizada, a distribuição do tempo de verde para pedestres é efetuada após a definição do ciclo e dos tempos de verde para os veículos, assim, o tempo de verde para os pedestres fica condicionado à duração do tempo de verde dos veículos. Quando a distribuição de fases não permite atender a todas as travessias de pedestres em uma interseção, inclui-se na programação um período denominado 'vermelho total' no qual todos os semáforos para veículos da interseção apresentam luz vermelha. Para evitar prejuízos aos fluxos de veículos, o vermelho total é calculado para garantir apenas um tempo de verde mínimo para o fluxo de pedestres (PORTO, 1994).

De acordo com o HCM (2000), o tempo de verde mínimo efetivo para pedestres (grandeza dada em segundos) deve ser calculado de acordo com a demanda, a largura da faixa de travessia e a velocidade de caminhada, sendo este último fator considerado o mais importante.

Além destes fatores, existe uma característica importante nas interseções semaforizadas que é a formação de pelotões de pedestres. Nestes cruzamentos, os semáforos podem aumentar ou diminuir o atraso do pedestre ao longo de todo o seu percurso, dependendo do conjunto de tempos de verde aos quais o percurso esteja submetido. Assim, o número de pedestres em um

pelotão em uma interseção semaforizada depende do tempo de verde e do deslocamento a partir do sinal a montante (*HCM*, 2000).

3.5 Avaliação de desempenho

De acordo com o *HCM* (2000), o Nível de Serviço consiste em uma caracterização qualitativa com a qual é possível definir as graduações espaço/pedestre, fluxo e velocidade, que podem ser utilizados para o desenvolvimento da qualidade dos critérios de fluxo. Os pontos básicos que determinam os vários níveis de serviço devem ser definidos baseando-se na velocidade dos pedestres, no espaçamento entre os pedestres na calçada e nos conflitos com os veículos.

- Nível de Serviço A – Os pedestres movem-se nas passadas escolhidas, sem alterar seu movimento em função de outros pedestres. A velocidade de caminhada é selecionada livremente e os conflitos com outros pedestres são raros.
- Nível de Serviço B – Os pedestres escolhem livremente a velocidade para ultrapassar os demais e evitar conflitos com outros pedestres. Os pedestres começam a ser notados por outros e a reagir à presença destes com a seleção da velocidade de caminhada.
- Nível de Serviço C – Há espaço suficiente para a escolha da velocidade de caminhada normal, bem como a de ultrapassagem de outros pedestres pertencentes ao mesmo sentido de tráfego. Podem ocorrer pequenos conflitos em sentidos contrários, sendo necessária a redução da velocidade.
- Nível de Serviço D – A liberdade de escolha da velocidade de caminhada e de ultrapassagem ficam restritas. A probabilidade de conflito com pedestres em sentidos contrários é grande e para evitar é necessário alterar a rota e a velocidade.
- Nível de Serviço E – Todos os pedestres têm suas velocidades limitadas com frequentes reajustes de rota. Não há espaço para ultrapassagens e há grande conflito com pedestres em sentidos opostos.

- Nível de Serviço F – Todas as velocidades de caminhada encontram-se restritas. Há frequente contato com outros pedestres. É praticamente impossível realizar movimentos contrários ao fluxo.

Para interseções semaforizadas com veículos, o *HCM* (2000) estima os seguintes tempos de espera para travessia (em segundos por pedestre) de acordo com cada Nível de Serviço. O referido manual conceitua que, quanto maior for o tempo de espera do pedestre, maior será a propensão de que ele não respeite o semáforo (ver Tabela 8), e assim, pior é o desempenho da interseção, na ótica do pedestre.

Tabela 8: Níveis de Serviço de acordo com o tempo de espera e a propensão ao desrespeito semafórico.

Nível de Serviço	Tempo de espera do pedestre [s/p]	Propensão ao desrespeito
A	< 10	Baixo
B	≥ 10 - 20	
C	> 20 - 30	Moderado
D	> 30 - 40	
E	> 40 - 60	Alto
F	≥ 60	Muito alto

Fonte: Adaptado de *HCM* (2000).

Desta forma, é possível verificar o atendimento às condições necessárias ao bom funcionamento das instalações, atendendo aos critérios de aceitação dos pedestres, adequando-as às necessidades do tráfego motorizado.

4. DEA APLICADO AOS TRANSPORTES

O método de Análise Envoltória de Dados (DEA), proposta por Charnes et al. (1978), é uma técnica não paramétrica que utiliza a programação matemática na construção de fronteiras de produção das unidades tomadoras de decisão – *Decision Making Unit* (DMU) –, cujos processos tecnológicos são adotados visando transformar múltiplos *inputs* em múltiplos *outputs* (COOPER et al., 2006; GÖKŞEN et al., 2015; RUBEM et al., 2015; SUGUIY, 2017).

O método DEA é um método para apoio à decisão de natureza multicritério e, portanto, capaz de modelar melhor a complexidade do mundo real, sendo utilizado pelos engenheiros industriais como uma ferramenta para melhoria de produtividade (LINS e MEZA, 2000).

Segundo LINS e MEZA (2000), o Método DEA possibilita utilizar diversos tipos de dados reais de variáveis de *input* e *output* cujas unidades de medidas podem ser diferentes entre si, desde que, tais variáveis sejam iguais para todas as unidades tomadoras de decisão (DMU – *Decision Making Units*) (COOPER et al., 2006). Sendo assim, faz-se necessário definir DMU que é qualquer tipo de empreendimento público ou privado, comércios, indústrias, escolas e universidades, bancos, conjuntos habitacionais, portos e aeroportos, entre muitos outros (BERTOLOTO e MELLO, 2011; COOPER et al., 2006; SOUSA JÚNIOR, 2010). Portanto, se o tomador de decisão utiliza como *input*, por exemplo, a duração das fases de vermelho de um conjunto de semáforos para analisar a eficiência operacional do sistema, a unidade de medida nesta variável deve ser a mesma para todas as DMU's.

O método DEA otimiza cada DMU_k ($k = 1, \dots, n$), comparando os níveis de *outputs*, dados os níveis de *inputs*, com a amostra, resultando na formação da fronteira de eficiência a partir das DMUs eficientes, cujo valor do índice é o valor máximo, que varia de zero (valor mínimo) a um (valor máximo) (RUBEM et al., 2015).

Em contraste com as aproximações paramétricas, que otimizam um plano de regressão a partir das observações (Figura 2), o método DEA otimiza cada observação individual com o objetivo de calcular uma fronteira de eficiência, determinada pelas unidades que são 'Pareto eficientes'. Uma unidade é 'Pareto eficiente' se, e somente se, ela não consegue melhorar alguma de suas características sem piorar as demais (MELLO et al., 2005).

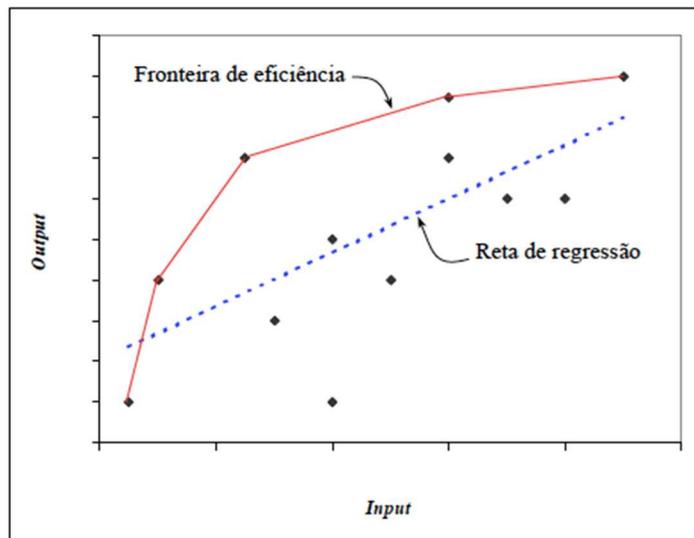


Figura 2: Comparação entre DEA (abordagem não paramétrica) e regressão (técnica paramétrica).
Fonte: Mello *et al.* (2005).

De acordo com a definição de Pareto-Koopmans (CHARNES *et al.*, 1985), uma organização é tecnicamente eficiente quando não for possível:

- Aumentar a quantidade de qualquer um dos produtos por ela gerado sem simultaneamente ser necessário reduzir a quantidade de outro produto gerado ou aumentar as quantidades dos insumos consumidos;
- Diminuir a quantidade de qualquer um dos insumos por ela consumido sem simultaneamente ser necessário aumentar a quantidade de outro insumo consumido ou diminuir as quantidades de produtos gerados.

Considerando que o objetivo de uma DMU ineficiente é passar a operar na fronteira de eficiência, o método DEA possibilita a identificação de alternativas para se atingir esse objetivo, gerando uma medida de eficiência relativa do plano de operação executado por cada organização em relação ao conjunto dos demais planos de operação observados. Sendo assim, essa medida indica quais planos de operação executados estão sobre a fronteira de eficiência, podendo servir de referência para as organizações ineficientes. A Análise Envoltória de Dados também permite identificar as possíveis causas da ineficiência produtiva de um plano de operação e as ações corretivas para eliminar essa ineficiência (FERNANDES, 2010).

Para calcular o índice de eficiência, o método DEA atribui pesos às variáveis, com o intuito de retratar da forma mais fiel a realidade da operação. É possível que o analista arbitre os valores

dos pesos das variáveis, no entanto esta não é uma tarefa simples, pois pressupõem a consulta de especialistas na área de estudo, além de envolver considerável subjetividade, sendo razoável que dois especialistas atribuam pesos distintos às mesmas variáveis, conforme o ponto de vista de cada um (FERNANDES, 2010).

Diante disso, é plausível permitir que o próprio modelo DEA atribua os pesos. Contudo, é possível que os resultados não reflitam a realidade, dada a tendência do método a obter o maior valor de eficiência para o conjunto de DMU , no qual é possível que uma variável do problema seja desconsiderada do cálculo do índice de eficiência de uma determinada DMU_k (FERNANDES, 2010).

Para as DMU 's ineficientes, são determinadas as quantidades de *inputs* e/ou de *outputs* a serem atingidos, visando situar-se na fronteira de eficiência, conhecida por alvos e folgas (CRAVEIRO, 2015; GÖKŞEN et al., 2015). Além disto, o método determina os *benchmarks* para a DMU_k ineficiente, representados pelas DMU_k eficientes, que servem como uma referência para as melhores práticas gerenciais a serem adotadas (CRAVEIRO, 2015; GÖKŞEN et al., 2015). O método DEA consiste basicamente em dois modelos clássicos: CCR, que considera o retorno constante de escala (*Constant Return to Scale* – CRS) e o BCC, que considera o retorno variável de escala (*Variable Return to Scale* – VRS), a serem apresentados a seguir.

Um modelo é uma simplificação da realidade sobre o qual uma técnica precisa se apoiar para poder ser utilizada. A técnica DEA calcula a eficiência relativa de um conjunto de DMU s a partir de uma fronteira de eficiência cujo formato precisa ser previamente definido. Assim, a principal diferença entre os modelos matemáticos do DEA é em relação ao formato da fronteira e ao tipo de retorno à escala (MARIANO et al, 2006), como visto na Tabela 9.

Tabela 9: Quadro comparativo entre os modelos matemáticos.

Modelo	Forma da fronteira	Retorno à escala
BCC	Linear por partes	Variável
CCR	Reta de 45°	Constante

Fonte: Adaptado de MARIANO *et al.* (2006).

O modelo CCR desconsidera os ganhos de escala quando calcula a eficiência, assim a eficiência relativa de uma DMU_k é obtida por meio da divisão entre a sua produtividade e a maior

produtividade dentre as DMUs analisadas na observação. Com isso, o formato da fronteira de eficiência do modelo CCR é uma reta com um ângulo de 45° (MARIANO et al, 2006).

O modelo BCC propõe comparar apenas DMUs que operem em escala semelhante. Assim, a eficiência de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade dentre as DMUs que apresentam o mesmo tipo de retorno à escala. Assim, a fronteira BCC apresenta retas de ângulos variados, o que caracteriza uma fronteira linear por partes (MARIANO et al, 2006). A Figura 3 apresenta uma comparação entre os tipos de fronteira do BCC e do CCR.

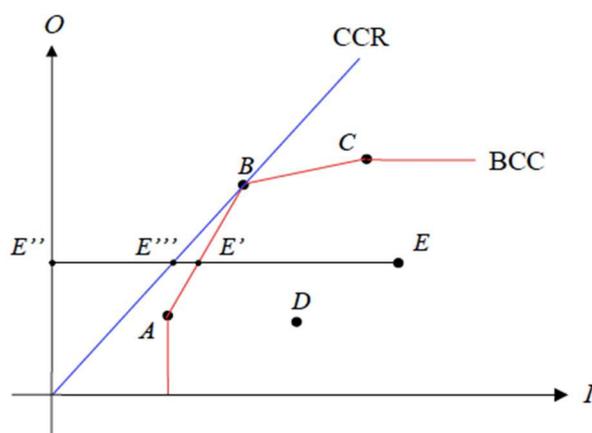


Figura 3: Comparação entre as fronteiras dos modelos BCC e CCR.
Fonte: Mello *et al.* (2005).

Em relação ao tipo de retorno à escala, os mesmos podem ser crescente, decrescente ou constante. No retorno crescente, o aumento no número de *inputs* ocasiona um aumento desproporcionalmente maior no número de *outputs*, o que ocorre quando uma DMU está operando muito abaixo da sua capacidade ótima. No retorno decrescente, o aumento do número de *inputs* ocasiona um aumento desproporcionalmente menor no número de *outputs*, se uma DMU está operando acima da sua capacidade ótima. Já no retorno constante, o aumento do número de *inputs* ocasiona um aumento proporcional nos *outputs*, quando uma DMU está operando na sua capacidade ótima (MARIANO *et al.*, 2006).

Devido à diferença entre o tipo de retorno à escala, os modelos CCR e BCC calculam tipos diferentes de eficiência. O BCC utiliza a eficiência técnica, enquanto que o CCR utiliza a eficiência total. A eficiência total compara uma DMU com todas as suas concorrentes, enquanto a eficiência técnica compara uma DMU apenas com aquelas que operam em uma escala

semelhante à sua. Assim, a eficiência técnica pode ser considerada uma componente da eficiência total (MARIANO *et al.*, 2006).

Para o presente trabalho, foi selecionado o modelo CCR, conforme especificidades descritas anteriormente para cada modelo. Esta seleção deu-se principalmente pois há correlação constante entre os *inputs* e *outputs* em estudo, a ver no capítulo 5. Ainda assim, é necessário que sejam apontadas algumas características deste modelo, para posterior entendimento sobre sua aplicação ao estudo.

Os modelos DEA permitem determinar a orientação: se o modelo é orientado a *input*, o objetivo é manter os níveis de *outputs* e minimiza-se os níveis de *inputs*; a orientação a *output*, de forma contrária, mantém-se os níveis de *inputs* e maximizam-se os níveis de *outputs* (LINS e MEZA, 2000).

A escolha por uma das duas formulações é determinada em função das circunstâncias. Em algumas aplicações caracterizadas por elevados níveis gerenciais, os *inputs* são particularmente inflexíveis, sendo nestes casos recomendada a formulação para *output*. Em outras aplicações, os *outputs* são ajustados ao conjunto de metas previamente definidas pelos administradores ou restringidas pelas condições ambientais, caso em que a orientação a *input* passa a ser recomendada (COOPER *et al.*, 2006).

A partir do modelo CCR, define-se a eficiência da DMU_o (h_o) como a divisão entre soma ponderada dos níveis de *outputs* (y_{jk} , para $j = 1, \dots, s$) e a soma ponderada dos níveis de *inputs* (x_{ik} , para $i = 1, \dots, r$), que deve ser menor ou igual a 1 (um). Para isto, é necessário atribuir um conjunto de pesos associados aos *inputs* (v_i) e aos *outputs* (u_j), que devem ser aplicados a todas as DMUs. Originalmente, a formulação matemática apresentava um problema de programação fracionária, que foi transformado num problema de programação linear (PPL), conforme é possível observar na Tabela 10 (GUEDES *et al.*, 2008; MELLO *et al.*, 2005).

A formulação matemática que considera os pesos e as variável de decisão do modelo é conhecida por Modelo dos Multiplicadores (MELLO *et al.*, 2005). O dual do Modelo dos Multiplicadores é conhecido por Modelo do Envelope, cujas variáveis de decisão são representadas pelo θ e pelo λ_k , sendo este último a contribuição individual de cada DMU_k na definição dos alvos da DMU_o (LINS e MEZA, 2000).

Tabela 10: Modelagem matemática do modelo CCR orientado a *input* e a *output*.

Modelo CCR-I Primal (Multiplicadores)	Modelo CCR-O Primal (Multiplicadores)
$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} &\leq 0 \quad k = 1, \dots, n \\ u_j, v_i &\geq 0, \forall j, i \end{aligned}$	$\begin{aligned} \text{min } h_0 &= \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} &= 1 \\ \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} &\leq 0 \quad k = 1, \dots, n \\ u_j, v_i &\geq 0, \forall j, i \end{aligned}$
<p>Dual (Envelope) Min θ</p> $\begin{aligned} \text{s. t. } \theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, i = 1, \dots, r \\ -y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, j = 1, \dots, s \\ \lambda_k &\geq 0, \forall k \end{aligned}$	<p>Dual (Envelope) Max θ</p> $\begin{aligned} \text{s. t. } -\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, j = 1, \dots, s \\ x_{i0} + \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, i = 1, \dots, r \\ \lambda_k &\geq 0, \forall k \end{aligned}$

Fonte: GUEDES *et al.* (2008).

A ótica do *input* é a possibilidade de redução dos recursos disponíveis para atingir a eficiência máxima, formando a fronteira de eficiência. De forma similar, o modelo DEA CCR orientado a *output* determina que a DMU_o atinge a eficiência máxima aumentando a quantidade de produtos sem alterar os recursos disponíveis. O valor dos pesos é multiplicado para todos os *outputs*, formando assim, a fronteira eficiente de produção. (RUBEM *et al.*, 2015; SOUSA JÚNIOR, 2010).

Ao analisar um processo, é importante que se reflita sobre os *inputs* e *outputs* considerados e verifique se neste conjunto há variáveis indesejáveis, a fim de garantir que a análise das DMUs seja realizada considerando também seu comportamento nestas variáveis (GARCIA, 2017).

Os ‘*outputs* indesejados’ são resultados indesejados dos processos produtivos das DMUs, ou seja, são externalidades que, em muitos casos, podem ser inerentes ao processo produtivo das DMUs, como por exemplo emissão de CO_2 , acidentes, entre outros. Desta forma, este tipo de variável deve sofrer tratamento adequado, tendo em vista a correta manipulação no modelo (TSCHAFFON e MEZA, 2011).

Quando há ‘*outputs* indesejáveis’ no problema a ser estudado em DEA, torna-se necessário prover o correto tratamento de tais variáveis para que a eficiência das unidades produtivas seja calculada de forma correta. A seguir são apresentadas algumas abordagens que podem ser

utilizadas na estruturação do modelo DEA para incorporar tais ‘*outputs* indesejáveis’ (TSCHAFFON e MEZA, 2011):

- *Additive Inverse* (ADD): Neste método, os ‘*outputs* indesejáveis’ são transformados em ‘*outputs* desejáveis’, através da troca de sinal dos valores dos *outputs*. Esta abordagem pode ser expressa pela função $f(U) = -u$;
- *Incorporating undesirable Outputs as Inputs* (INP): Este método considera os ‘*outputs* indesejáveis’ como *inputs* na estrutura do problema. Esta abordagem pode ser utilizada para modelos DEA BCC e CCR, dependendo das escalas de operação das unidades avaliadas;
- *Multiplicative Inverse* (MLT): Para incorporar os ‘*outputs* indesejáveis’ ao problema, estes são transformados em seu inverso. Esta abordagem pode ser expressa pela função $f(U) = 1/u$, ou seja, tal abordagem utiliza o inverso do ‘*output* indesejável’ como *output*. Entretanto, quando o ‘*output* indesejável’ possuir valor zero, esta abordagem não pode ser utilizada;
- *Translation* (TR β): Esta alternativa de tratamento trata de transladar os valores, o que significa adicionar à abordagem ADD um escalar positivo, β_i , suficientemente grande, de modo que os valores resultantes sejam positivos para cada DMU. Entretanto, esta abordagem é válida somente para o modelo DEA BCC, tendo em vista que o modelo CCR não é invariante à translação. A função desta abordagem é $f(U) = -u + \beta$.

Desta forma, para aplicação do modelo DEA CCR orientado a *input*, foi utilizada a abordagem *Incorporating Undesirable Outputs as Inputs* (INP) para tratar ‘*outputs* indesejados’.

A escolha das variáveis a serem utilizadas é outra questão de vital importância para o sucesso e confiabilidade do modelo DEA, visto que, mesmo que os dados referentes às variáveis sejam reais, a definição errada do que possa ser *output* ou *input* pode gerar resultados enganosos e mal interpretados (FERNANDES, 2010).

A relação ‘número de DMUs x Variáveis’ deve ser cuidadosamente observada, já que um pequeno número de DMUs pode gerar uma alta proporção de unidades eficientes, assim como o incremento de muitas variáveis reduz a capacidade do modelo DEA de discriminar as DMUs eficientes das ineficientes (LINS e MEZA, 2000).

Cooper *et al.* (2000) recomenda que, para que haja uma abordagem prudente, o tamanho mínimo da amostra deve ser dado pela Equação 1:

$$N \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- N é o número mínimo de DMUs da amostra;
- m é o número de *inputs*; e
- s é o número de *outputs*.

Desta forma, no presente trabalho utilizaram-se 4 variáveis, sendo 2 *inputs* e 2 *outputs*. Assim, de acordo com a Equação 1, $N \geq 12$. Como neste estudo foram utilizadas 19 DMUs para cada período de estudo para cada semáforo, fica provado que encontra-se de acordo com a recomendação de Cooper *et.al* (2000).

No presente trabalho, foi utilizado o *software* SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão) para o cálculo das eficiências, por apresentar os indicadores de eficiência invertida e composta, além dos alvos, folgas e os valores dos *benchmarks*, ferramentas necessárias para a avaliação do desempenho das programações semaforizadas.

Além dos indicadores de eficiência, foram considerados os valores dos pesos das variáveis, visando obter a importância atribuída pelo modelo às variáveis das DMUs. A análise dos alvos e das folgas permite identificar a ‘distância’ em que as DMUs ineficientes encontram-se da fronteira eficiente e o quanto cada uma destas deve se deslocar na sua direção para tornar-se eficiente. Por fim, a análise dos *benchmarks* proporciona a identificação de padrões dos processos produtivos (DMUs eficientes) a serem adotados pelas DMUs ineficientes para alcançarem a eficiência pretendida.

5. ESTUDO DE CASO

Para o presente trabalho foram realizadas filmagens e obtidas informações acerca da programação semafórica implantada no local e sobre o comportamento dos pedestres durante a travessia. Posteriormente, foi aplicado o modelo DEA selecionado para analisar a eficiência da programação, levando em conta o Nível de Serviço associado à travessia dos pedestres. A seguir, na Figura 4, é apresentado o fluxograma contendo as principais ações realizadas para a elaboração da pesquisa de campo e análise DEA.

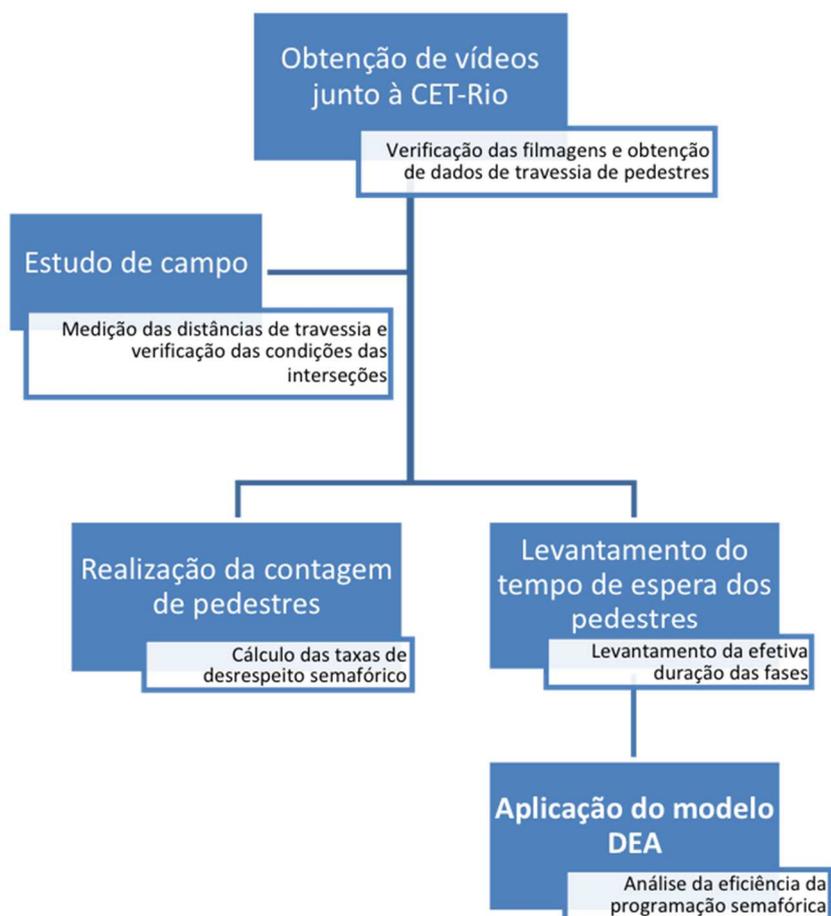


Figura 4: Fluxograma com as etapas de elaboração do estudo.

Fonte: Elaboração Própria.

Foi utilizada a filmagem como recurso para obtenção dos dados utilizados na pesquisa. As câmeras pertencem à Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-RIO) e o procedimento metodológico seguiu as seguintes etapas:

- Escolha das interseções;

- Gravação e formatação dos vídeos;
- Contagem dos pedestres e cálculo das taxas de desrespeito semaforico;
- Levantamento do tempo de espera dos pedestres e da efetiva duração das fases nos ciclos estudados.

5.1 Caracterização da Área de Estudo

De acordo com o último censo realizado pelo IBGE, em 2010, o município do Rio de Janeiro possui uma população de 6.320.446 habitantes (seis milhões, trezentos e vinte mil, quatrocentos e quarenta e seis habitantes) e uma densidade demográfica de 5.265,8 hab/km². São realizadas diariamente milhares de viagens, sendo a maioria por ônibus municipais e a pé (Figura 5). Desta forma, é visível a importância de serem avaliadas constantemente as condições das vias e calçadas da região, a fim de proporcionar melhores condições de mobilidade à população.

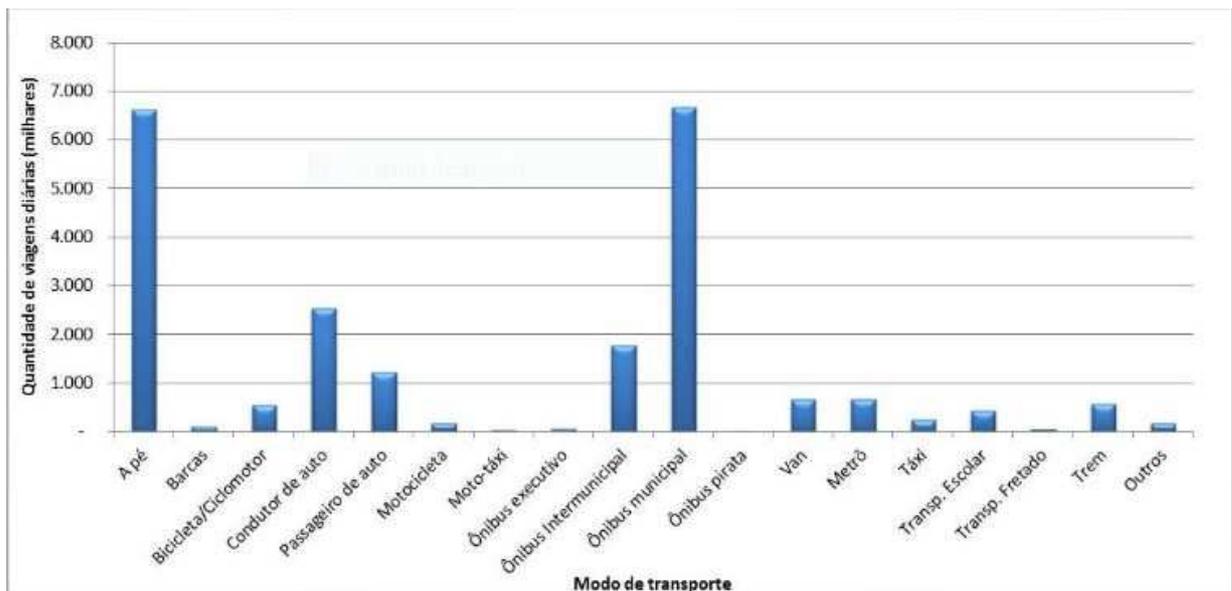


Figura 5: Viagens diárias realizadas por modo de transporte na RMRJ (em milhares).

Fonte: PDTU (2015).

De acordo com o PDTU (2015), são realizadas mais de 22 milhões de viagens em um dia típico na região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), sendo a cidade do Rio de Janeiro responsável por cerca de 61% deste total. As viagens realizadas a pé na cidade do Rio de Janeiro constituem 29% deste total (em torno de 6 milhões de viagens por dia típico), o que demonstra a importância de serem estudadas as características deste modo de transporte nesta região.

A distribuição temporal das viagens por modo de transportes na RMRJ também é um fator importante de ser analisado. Conforme o PDTU (2015), para as viagens a pé os principais horários de pico são pela manhã, na hora do almoço e à tarde, como pode ser visto na Figura 6.

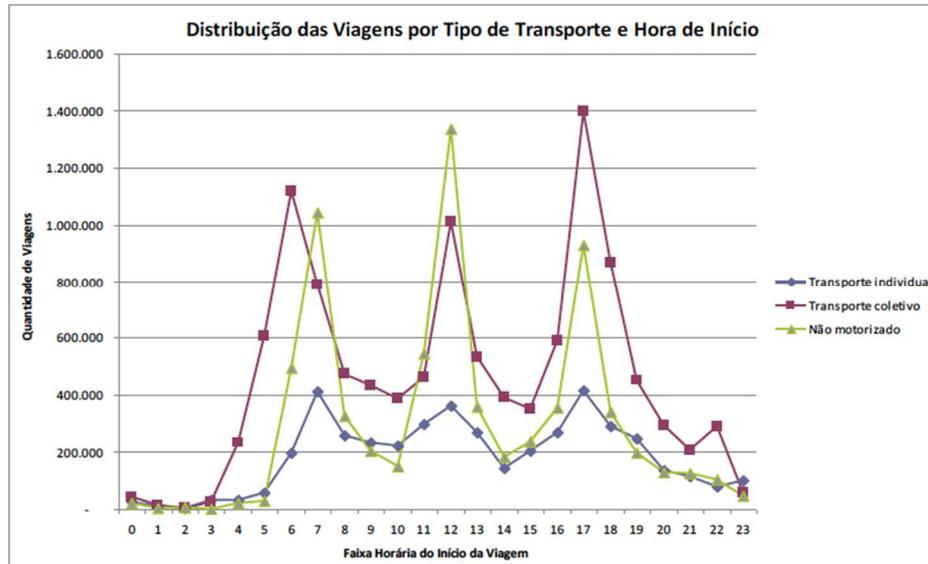


Figura 6: Distribuição de Viagens por modo de transporte e horários de pico na RMRJ. **Fonte:** PDTU (2015).

A área selecionada para a realização do presente estudo encontra-se no Centro da cidade do Rio de Janeiro (ver Figura 7) e compreende alguns trechos para os quais foi possível obter filmagens das câmeras de vigilância da CET-Rio (Companhia de Engenharia e Tráfego do Rio de Janeiro), a serem descritos de melhor forma no capítulo 6.

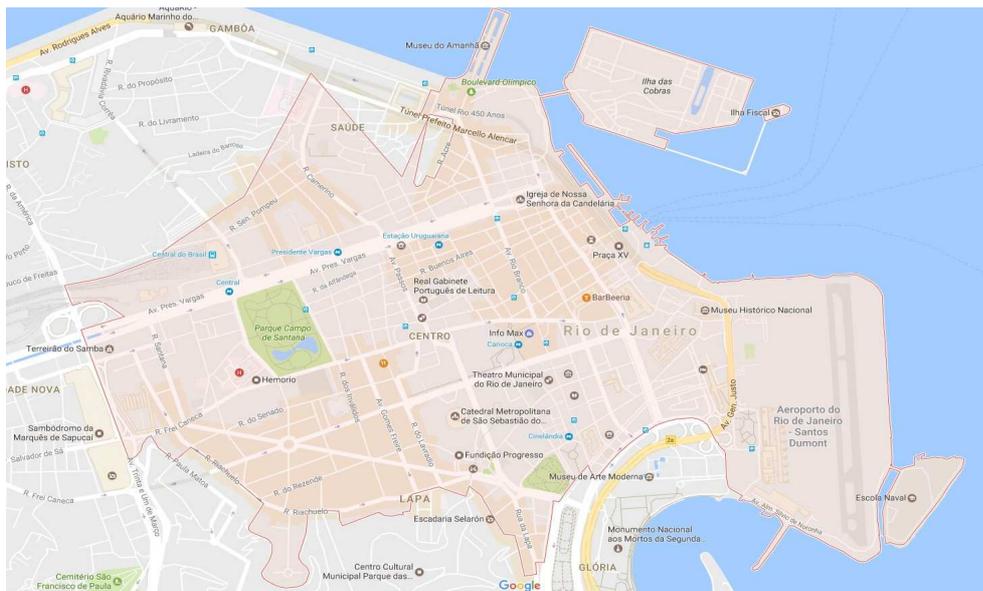


Figura 7: Localização da área de estudo; Centro da cidade do Rio de Janeiro. **Fonte:** Google Maps (2017).

O bairro do Centro é um grande centro comercial, de serviços e turístico da cidade do Rio de Janeiro, onde se encontram diversos polos geradores de viagens (PGV's). Segundo PORTUGAL e GOLDNER (2003), os PGV's ou PGT's (Polos Geradores de Tráfego) são locais ou instalações de distintas naturezas que desenvolvem atividades de porte e escala capazes de produzir um contingente significativo de viagens.

O Centro do Rio de Janeiro possui uma importante via, a Av. Presidente Vargas, a qual possui largura média de 80 m, distância considerável a ser vencida pelos pedestres que pretendem realizar sua travessia, a fim de percorrerem as duas partes do centro da cidade (MULTIRIO, 2017). Esta movimentação é devida, majoritariamente, à concentração dos polos comerciais da Uruguaiana e Castelo, ao sul e, Avenida Marechal Floriano e Praça Mauá, ao norte.

Outro ponto importante é a interseção da Av. Rio Branco com a Av. Almirante Barroso. Neste local fluem os pedestres do entorno da Lapa, Carioca e Cinelândia, local de importantes atividades bancárias e comerciais, permitindo acesso à zona sul da cidade via metrô, ônibus e veículos particulares para a estação rodoviária Castelo (edifício Garagem Menezes Côrtes) e para a estação das barcas para Niterói, na praça XV.

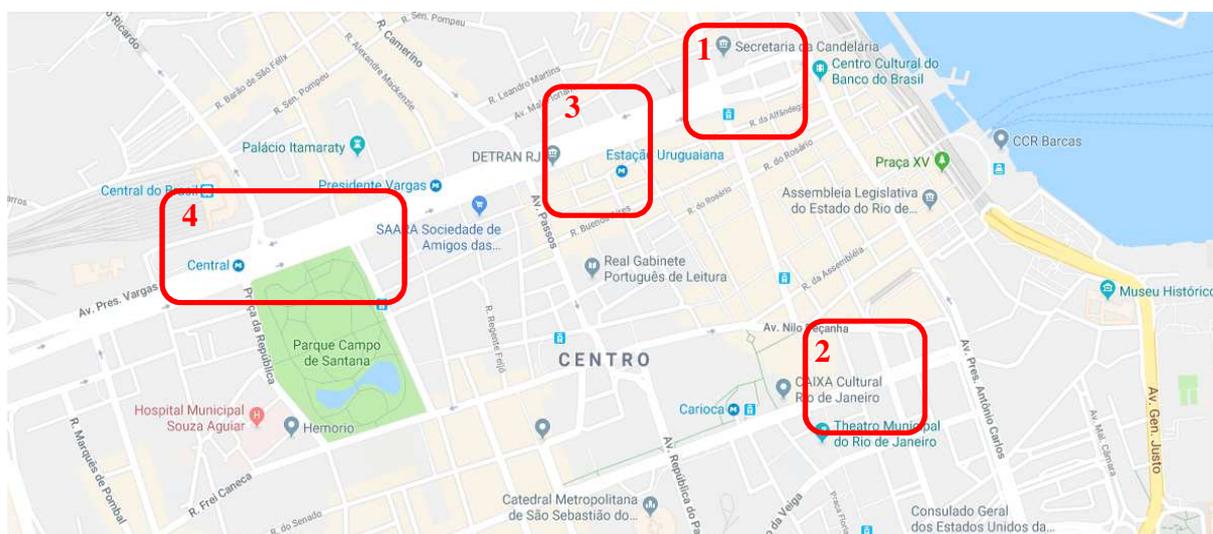


Figura 8: Localização de pontos importantes de movimento de pedestres na cidade do Rio de Janeiro

Fonte: Google Maps (2017).

Os pontos destacados na Figura 8 consistem nestes principais acessos mencionados anteriormente:

1. Avenida Presidente Vargas X Avenida Rio branco, com acesso apenas por travessia semafórica;
2. Avenida Rio Branco X Avenida Almirante Barroso, com acesso apenas por travessia semafórica;
3. Avenida Presidente Vargas X Rua Uruguaiana, com acesso por travessia semafórica ou pelo túnel subterrâneo do metrô;
4. Avenida Presidente Vargas X Praça da República, via Campo de Santana, com acesso por travessia semafórica, ou pelo túnel subterrâneo do metrô.

O ponto 4, embora de grande importância como já dito, possui fluxo preferencial para a travessia da Av. Presidente Vargas via túnel subterrâneo do metrô e, desta forma, não oferece maiores informações quanto à não-observância semafórica pelos pedestres, que é objeto deste estudo. O ponto 3, possui características semelhantes ao ponto 1. Assim, e por motivos que serão explicados no capítulo 5, só foram analisados os pontos de interesse 1 e 2, ilustrados na Figura 5.

É importante salientar que, mesmo a abordagem tendo sido feita apenas nestes dois pontos, é possível verificar a importância do estudo destas áreas, uma vez que possuem diversos pontos de conflito entre veículos e pedestres, possuindo fluxos intensos destes agentes. Além disso, os estudos destes pontos podem ser posteriormente aplicados aos outros locais não abrangidos pelo presente trabalho.

5.1.1 Escolha das interseções

Dos obstáculos estudados, as interseções são os que podem imputar maior variação no tempo de percurso (*HCM*, 2000), assim, as vias de estudo foram selecionadas a partir desta premissa. Desta forma, foram selecionadas interseções semaforizadas, a fim de verificar o desempenho das programações semafóricas. Não foram consideradas as interseções não-semaforizadas no problema de pesquisa.

Para a escolha das interseções semaforizadas, foram seguidos os critérios sugeridos por MARISAMYNATHAN e VEDAGIRI (2014), porém algumas modificações foram feitas de acordo com a necessidade verificada para o estudo de caso. Os autores coletaram dados de três

interseções semaforizadas na cidade de Mumbai, na Índia. A escolha destas interseções se deu de forma a selecionar interseções com grande fluxo de pedestres e cujos semáforos tivessem ciclos de durações fixas. Os autores utilizaram duas câmeras de vídeo para cada interseção, sendo feita a filmagem de uma hora durante os horários de pico da manhã e da tarde.

Para o presente trabalho, como descrito no capítulo 4, inicialmente havia a pretensão de estudo de quatro interseções, porém a indisponibilidade da obtenção de todas as filmagens levou à seleção de apenas duas. Das duas interseções selecionadas, uma delas (Interseção 1) é composta por dois blocos semaforicos com períodos de duração de fases distintos; a outra (Interseção 2) apresenta dois blocos semaforicos cujas frequências e durações das fases são as mesmas, sendo analisados como um só. Na Figura 9 são apresentadas as localizações destas interseções e na Tabela 11 são apresentadas algumas características destas.

Tabela 11: Características operacionais das interseções selecionadas para o estudo.

Interseção	1		2
Vias	Av. Presidente Vargas X Av. Rio Branco		Av. Almirante Barroso X Av. Rio Branco
Câmeras da CET-Rio	Cam. 002		Cam. 006
Distância de travessia	1º bloco	2º bloco	27,8 m
	29,9 m	29,8 m	
Duração do ciclo (de acordo com a CET-Rio)	140 s	140 s	140 s

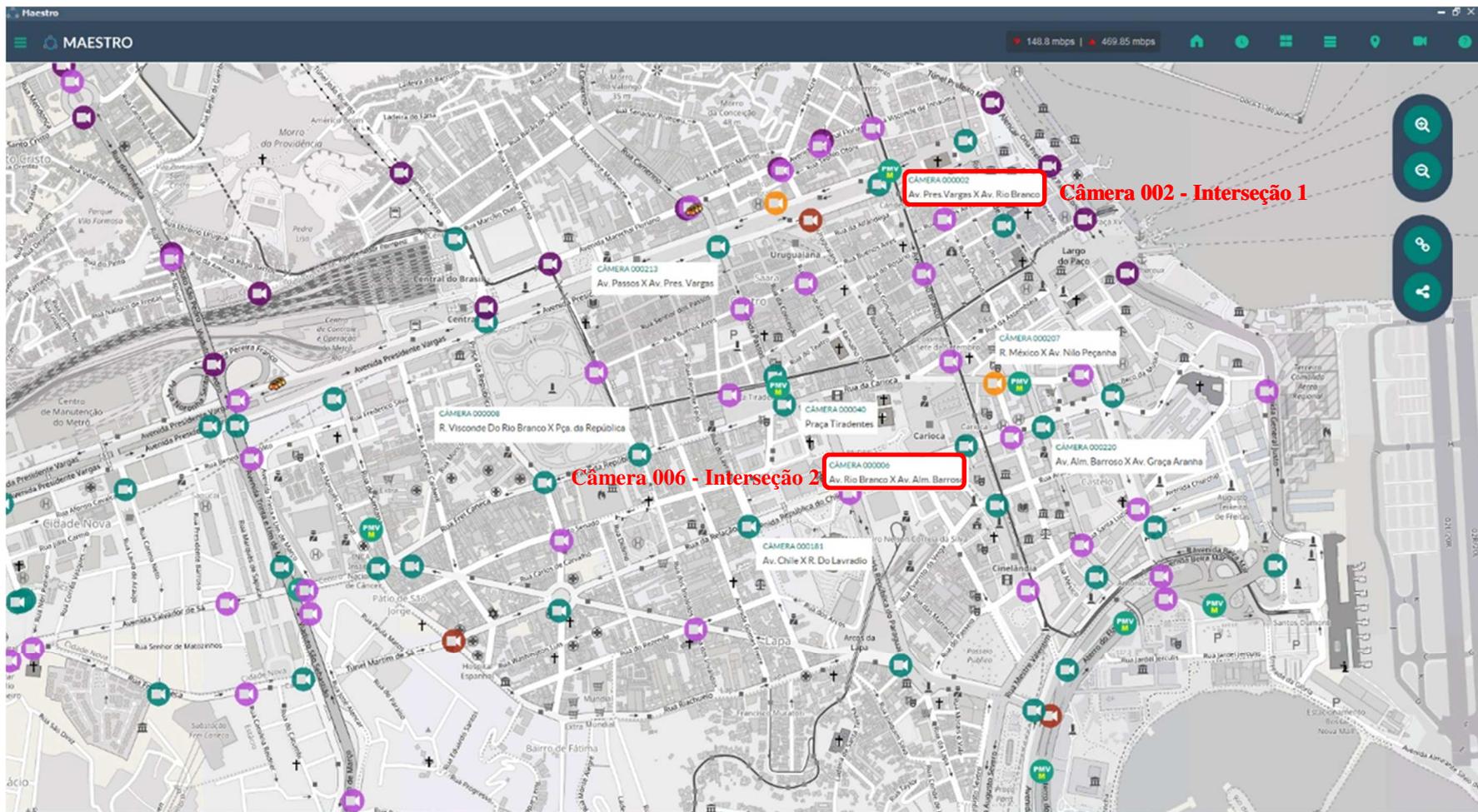


Figura 9: Posição das câmeras utilizadas para filmagens das interseções de estudo.
Fonte: COR-Rio (2017).

5.1.2 Gravação e formatação dos vídeos

Em reuniões realizadas com a coordenação do Centro de Operações da Prefeitura do Rio (COR-Rio), foi informado que as câmeras da Prefeitura são verificadas por empresa terceirizada, com a finalidade de monitoramento das condições do tráfego veicular. As informações são passadas ao COR-Rio para que a mesma efetue o controle do tráfego, seja alterando a programação semafórica, seja comunicando aos agentes da Prefeitura e agentes de segurança pública sobre a necessidade de ação local. Além disso, muitas das câmeras utilizadas para este monitoramento não são de exclusiva propriedade do COR-Rio, sendo assim, houve dificuldade em obter as filmagens de todas as interseções inicialmente pretendidas.

Após selecionar as interseções a serem analisadas, durante reuniões com o COR-Rio, as câmeras foram focadas de forma que fosse possível visualizar o semáforo e o trecho de travessia pretendido. Assim, estas eram ‘travadas’ para o período de gravação, para que não fosse possível movimentá-las durante a gravação. Isso foi necessário para que não houvesse movimentos nas filmagens, o que prejudicaria a posterior avaliação das velocidades de travessia dos pedestres e os seus efetivos tempos de espera.

De acordo com a companhia, atualmente existem dez planos semafóricos para o Centro da cidade do Rio de Janeiro, que são aplicados de acordo com a demanda do tráfego veicular na região. A pesquisa analisou os horários de pico da manhã e da tarde, correspondendo aos planos semafóricos 1 e 5, respectivamente. Apesar de não ter sido informados os critérios utilizados para a elaboração dos referidos planos semafóricos, o COR-Rio forneceu a configuração atual dos mesmos, podendo ser observados no Anexo 1.

Foi feita a análise de duas câmeras da Prefeitura nos horários de pico da manhã (8-9h) e da tarde (17-18h) dos dias 04 e 06 de julho de 2017 e, posteriormente, foi realizada a análise complementar dos horários de pico dos dias 13 e 14 de março de 2018, somente para a uma das câmeras. Na Tabela 12, é possível verificar as informações referentes às filmagens. Nas Figuras 10 a 12 é possível visualizar imagens das interseções estudadas.

Tabela 12: Informações das filmagens nas interseções selecionadas para o estudo.

Interseção	1	2
Vias	Av. Presidente Vargas x Av. Rio Branco	Av. Almirante Barroso x Av. Rio Branco
Dias de gravação	4	2
Período de gravação	Manhã e Tarde	Manhã e Tarde
Tempo total de gravação (min)	240	120



Figura 10: Interseção 1: Semáforo G8 (manhã). Notam-se pedestres realizando a travessia desrespeitando a indicação luminosa do semáforo.

Fonte: COR-Rio (2017).



Figura 11: Interseção 1: Semáforo G9 (manhã). Nota-se pedestre em tentativa de travessia da via desrespeitando o semáforo. A fila de ônibus no corredor BRS dificulta a visibilidade dos pedestres.

Fonte: COR-Rio (2017).



Figura 12: Interseção 2: Semáforos G5 e G6 (tarde). Notam-se pedestres desrespeitando o semáforo, inclusive um veículo precisa realizar o desvio de faixa (à direita da imagem). As filas constantes de táxis na via dificultam a travessia dos pedestres na faixa.

Fonte: COR-Rio (2017).

5.1.3 Contagem dos pedestres e cálculo das taxas de desrespeito semafórico

Por meio da análise das filmagens das câmeras disponibilizadas pelo COR-Rio, foram contabilizados os fluxos horários de pedestres para cada período de cada interseção e, posteriormente, calcularam-se as taxas de desrespeito semafórico dos pedestres.

Das filmagens obtidas, foi selecionado um período de seis horas pertencentes aos períodos de pico no decorrer de seis dias nas interseções analisadas. Do total de pedestres que realizaram a travessia foi obtido o número total de pedestres que desrespeitaram o semáforo.

O estudo do fluxo de pedestres foi feito agrupando-se o número de pedestres nos dois sentidos de travessia dos semáforos estudados, contabilizando-se somente os pedestres percorrendo o trajeto total (de meio-fio a meio-fio) na faixa de travessia. Não foram contabilizados os pedestres que realizaram movimentos diagonais, ou fora das faixas de travessia. A contagem foi feita manualmente, observando as filmagens e parando os vídeos conforme necessário. A título de organização e maior facilidade de armazenamento dos dados, as contagens foram separadas de acordo com os períodos dos ciclos semafóricos durante os horários analisados.

Para calcular os fluxos horários de pedestres, foram contabilizados os números de pedestres totais nas travessias, dividindo este valor pelo número de minutos da contagem. Posteriormente,

foi calculada a porcentagem de desrespeito semaforico, a partir do número de pedestres que desrespeitaram o sinal vermelho/vermelho intermitente, dividindo este valor pelo número total de pedestres na hora de contagem.

6. APRESENTAÇÃO DOS DADOS LEVANTADOS

Conforme descrito no capítulo 5, o estudo de caso se deu na zona central do Rio de Janeiro. Dando prosseguimento, neste capítulo são apresentados os resultados do estudo, conforme levantamento e tabulação dos dados. Assim, são apresentados o levantamento do tempo de espera dos pedestres e da efetiva duração das fases nos ciclos estudados, as contagens de pedestres realizadas, os cálculos das taxas de desrespeito semafórico e, por fim, a análise através do modelo DEA selecionado.

6.1 Levantamento do tempo de espera dos pedestres e da efetiva duração das fases nos ciclos estudados

O tempo de espera dos pedestres e a efetiva duração das fases dos ciclos semafóricos estudados foram calculados utilizando-se um cronômetro digital, observando as filmagens disponibilizadas pela CET-Rio, parando o vídeo, conforme necessário, para anotação das informações. Para cada período analisado, foram elaboradas as tabelas do Anexo 2 contendo a duração das respectivas fases semafóricas para pedestres (vermelho, verde e vermelho intermitente), desta forma, foi possível verificar o tempo de espera para cada ciclo, comparando com as informações das programações semafóricas fornecidas pela CET-Rio.

A fim de apontar estas verificações, nas Tabelas do Anexo 2 são apresentadas as durações referentes aos primeiros 20 ciclos (cada um significando um período de tempo de vermelho, tempo de verde e tempo de vermelho intermitente) dos semáforos estudados. Nas Figuras 13 a 18 encontram-se os dados destas tabelas de forma a melhorar o entendimento através da visualização por gráficos.

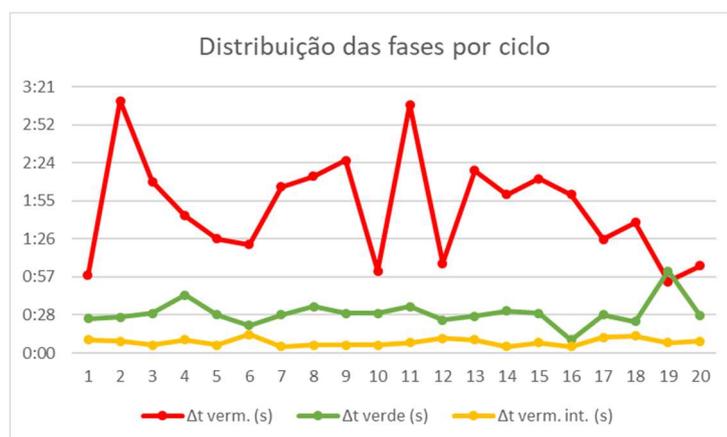


Figura 13: Distribuição das fases por ciclo semafórico – Interseção 1 – Semáforo G8 (manhã). **Fonte:** Elaboração Própria.

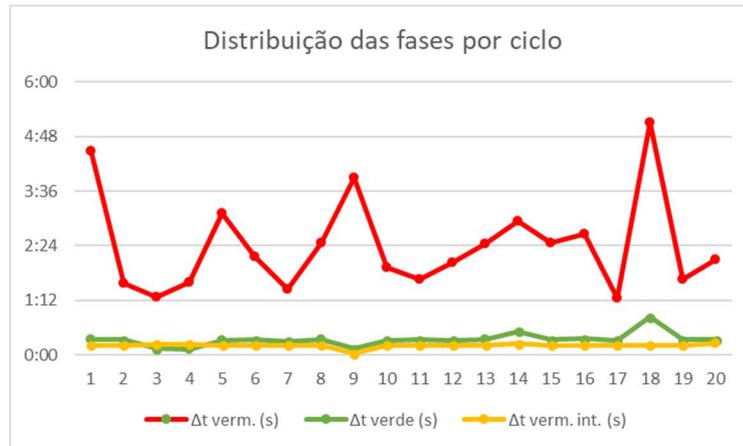


Figura 14: Distribuição das fases por ciclo semafórico – Interseção 1 – Semáforo G8 (tarde).
Fonte: Elaboração Própria.

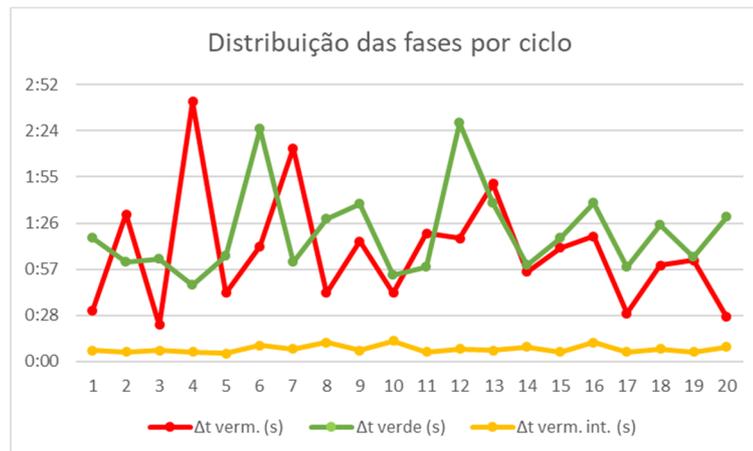


Figura 15: Distribuição das fases por ciclo semafórico – Interseção 1 – Semáforo G9 (manhã).
Fonte: Elaboração Própria.

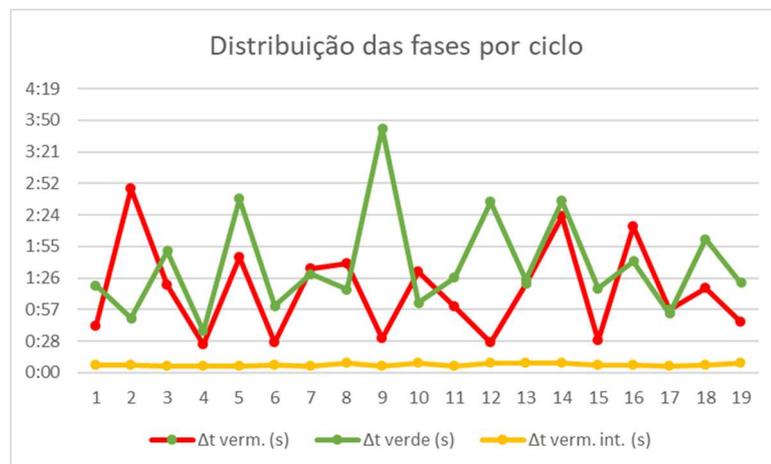


Figura 16: Distribuição das fases por ciclo semafórico – Interseção 1 – Semáforo G9 (tarde).
Fonte: Elaboração Própria.

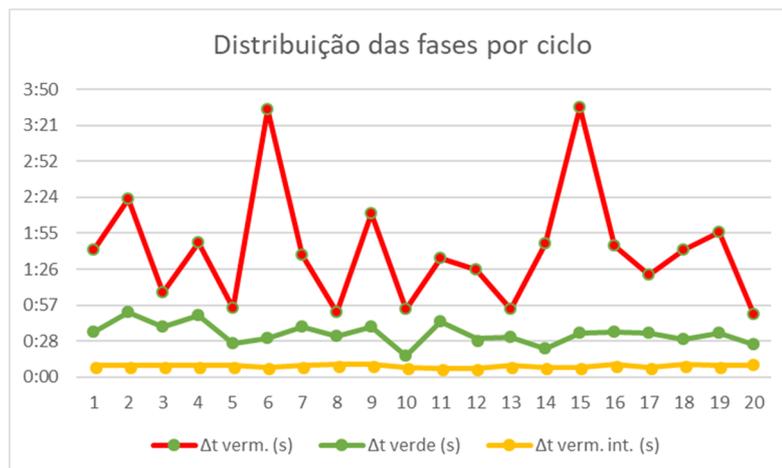


Figura 17: Distribuição das fases por ciclo semafórico – Interseção 2 – Semáforos G5 e G6 (manhã).
Fonte: Elaboração Própria.

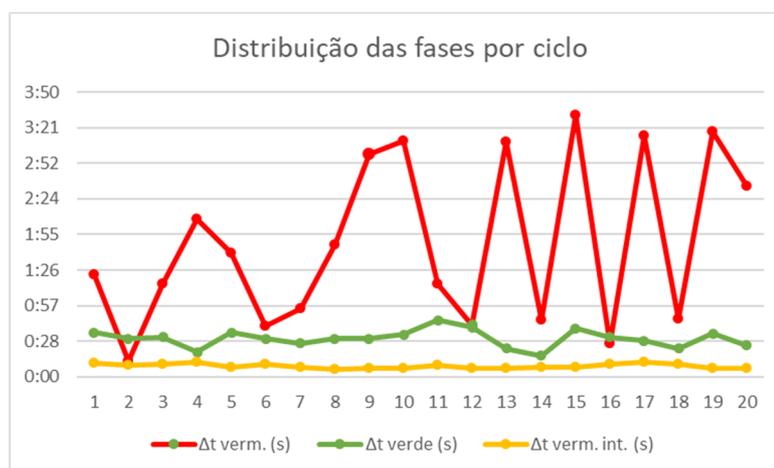


Figura 18: Distribuição das fases por ciclo semafórico – Interseção 2 – Semáforos G5 e G6 (tarde).
Fonte: Elaboração Própria.

É importante salientar que a programação semafórica fornecida pelo COR-Rio, considerada como a implementada nas interseções estudadas, conforme pode ser visto no Anexo 1, diverge consideravelmente da verificada em campo.

6.2 Contagem de pedestres e cálculo das taxas de desrespeito semafórico

Conforme descrito anteriormente, foram realizadas contagens de pedestres para as interseções analisadas e foi verificado o número de pedestres por ciclo que desrespeitaram a sinalização semafórica. A seguir são apresentadas as informações compiladas para cada interseção. As tabelas contendo as informações mais detalhadas encontram-se no Anexo 3.

- Interseção 1 (Avenida Presidente Vargas X Avenida Rio Branco):

Conforme é possível verificar nas Tabelas 13 e 14, o desrespeito semafórico se apresenta com taxas muito superiores no G8 em relação ao G9.

Tabela 13: Taxa de desrespeito semafórico – Interseção 1 – Semáforo G8.

Período	N.Ciclos	N.Pedestres total	N. de ped. (desresp.)	% Desrespeito semafórico
Manhã	21	1661	953	57%
Tarde	20	2187	1465	67%

Tabela 14: Taxa de desrespeito semafórico – Interseção 1 – Semáforo G9.

Período	N.Ciclos	N.Pedestres total	N. de ped. (desresp.)	% Desrespeito semafórico
Manhã	20	1474	152	10%
Tarde	19	1792	316	18%

O Semáforo G8 apresenta uma maior taxa de desrespeito semafórico quando comparado ao G9, que possui tempo de verde 44% maior pela manhã e 33% maior à tarde, de acordo com a programação dita oficial (ver Anexo), demonstrando relação entre estes fatores.

- Interseção 2 (Avenida Almirante Barroso X Avenida Rio Branco):

Na Interseção 2, como o conjunto dos semáforos G5 e G6 possuem as mesmas durações e frequências de ciclos, foi elaborada a análise de forma conjunta. Como pode ser visto na Tabela 15, o desrespeito semafórico apresenta-se com taxas superiores no período da tarde em relação ao período da manhã, com diferença de 13% entre os mesmos.

Tabela 15: Taxa de desrespeito semafórico – Interseção 2 – Semáforos G5 e G6.

Período	N.Ciclos	N.Pedestres total	N. de ped. (desresp.)	% Desrespeito semafórico
Manhã	20	1080	590	55%
Tarde	20	1110	759	68%

6.3 Análise de desempenho dos semáforos

Para a utilização do modelo DEA nesta pesquisa, foram considerados os ciclos dos semáforos G5/G6, G8 e G9 como as DMUs, já que os processos operacionais para cada um são homogêneos. Para efeitos de comparação, foram utilizados 19 ciclos semafóricos para todos os semáforos (menor número de ciclos por semáforo dentro dos períodos estudados), compostos pelos tempos das Fases Verde, Vermelho e Vermelho Intermitente, assim como o número de pedestres que realizaram a travessia em cada uma das fases. Desta forma, podemos resumir:

- Variáveis:

- Tempo da fase de vermelho e intermitente (s);
- Quantidade de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente (un);
- Tempo da Fase de verde (s);
- Quantidade de Pessoas que atravessaram no verde (un).

- DMUs: 19 DMUs para cada semáforo para cada período estudado, ou seja, $(19 \times 2 = 38)$ DMUs para cada semáforo. Cada DMU representa um ciclo semaforico do período de estudo, como pode ser visto no Anexo 3.

A partir das filmagens, foram considerados como *input* a variável ‘Tempo da Fase Vermelho’, que é a soma dos tempos das fases ‘Vermelha’ e ‘Vermelha-Intermitente’, medidas em segundos (s). Esta operação matemática foi necessária, pois, na fase ‘Vermelho Intermitente’, o pedestre não deve iniciar a travessia, sendo considerado nesta pesquisa como um desrespeito ao semáforo. A importância desta variável na construção do problema consiste na espera excessiva para atravessar a via, o que possibilita uma maior tendência de desrespeito ao semáforo, conforme descrito anteriormente.

Nesta pesquisa, a princípio foram considerados um *input* e três *outputs*. O *input* foi considerado o ‘Tempo da Fase de Vermelho’, variável cuja avaliação é fundamental para a verificação da adequação da programação semaforica. O primeiro *output* é o ‘Tempo da Fase Verde’ (medido em segundos), observado nos ciclos dos semáforos, que, ao contrário do *input*, consiste na maior liberdade na circulação. O *output* ‘Quantidade de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’ identifica a quantidade de pedestres que respeitaram o semáforo no ciclo. Por fim, o *output* ‘Nº de Pedestres que Atravessaram na Fase Vermelho’, que identifica a quantidade de pedestres que desrespeitaram o semáforo em cada ciclo.

No método DEA, os *outputs* são resultados esperados dos processos produtivos, logo quanto maior a quantidade de *outputs*, mantendo a quantidade de *inputs* consumidos, melhor. Entretanto, os processos produtivos podem apresentar saídas não desejadas, como por exemplo, a geração de resíduos, acidentes de trabalho num canteiro de obras, emissão de CO_2 , entre outros, e, neste caso, aumentar a quantidade dos *outputs* indesejados não é melhor.

Neste trabalho, o *output* ‘Nº de Pedestres que Atravessaram na Fase Vermelho’ apresentou as características de um *output* indesejado, com isso é necessário um tratamento matemático para que não haja distorções no cálculo de eficiência do modelo DEA, sendo adotado o método de *Incorporating Undesirable output as input* (INP), por apresentar comportamento similar de um *input*, desejando-se apresentar a menor quantidade desta variável nos processos produtivos.

Desta forma, a configuração final utilizada no modelo foi alterada para dois *inputs* e dois *outputs*. A estrutura do problema desta pesquisa pode ser observada na Figura 19.

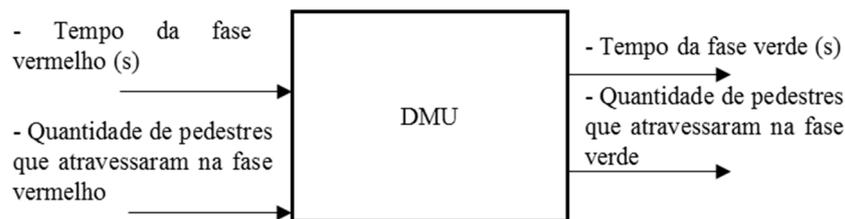


Figura 19: Modelo DEA considerado no estudo.

Fonte: Elaboração Própria.

Para analisar os resultados, utilizou-se o *software* SIAD, elaborado por MEZA et al. (2005), que foi fundamental para facilitar os cálculos do modelo DEA CCR-I, apresentando os índices de Eficiência Padrão, Invertida, Composta e Composta Normalizada (Composta*). A combinação destes indicadores permite aumentar a acurácia dos resultados e, conseqüentemente, identificar a(s) DMU(s) mais eficiente(s) da amostra. Os cálculos da Composta e da Composta* são apresentados na Equação 2 e Equação 3, respectivamente (FONTES, 2006).

$$Composta = \frac{Efic.Padrão (1-Efic.Invertida)}{2} \quad \text{Equação 2}$$

$$Composta * = \frac{Composta}{Máx(Composta)} \quad \text{Equação 3}$$

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do modelo DEA CCR orientado a *input*, aplicado aos três blocos semaforicos de estudo, compostos por 19 DMUs e 4 variáveis (2 *inputs* e 2 *outputs*), conforme modelo apresentado anteriormente. As tabelas estendidas com os dados de cada período de estudo encontram-se no Anexo3.

- Semáforo G5/G6

No período da manhã, a fronteira de eficiência padrão é formada por três DMU, que são as DMU 3, 8 e 13, uma vez que apresentaram índices de eficiência padrão igual a 1 (um). Ao analisar a Invertida, observa-se que a DMU_3 é a que está mais distante da fronteira de eficiência das piores práticas gerenciais, cujo valor nesse índice foi de 0,2688, resultando no maior valor para a Composta* (1,0000), o que a torna a mais eficiente da amostra, como pode ser visto na Tabela 16. Para essa análise, o modelo DEA CCR-I atribuiu maior importância (peso) ao *output* ‘Tempo da Fase Verde’ e o menor peso no input ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’, não tendo sido desconsiderando nenhuma variável dos cálculos de eficiência.

Tabela 16: Índices de eficiência e os valores dos pesos atribuídos às variáveis pelo modelo DEA CCR-I (G5/G6 manhã).

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no verde
1	0,6217	0,6084	0,5067	0,5853	0,0089	0,0007	0,0173	0,0000
2	0,6513	0,4872	0,5821	0,6725	0,0064	0,0005	0,0125	0,0000
3	1,0000	0,2688	0,8656	1,0000	0,0130	0,0002	0,0240	0,0011
4	0,8146	0,3334	0,7406	0,8556	0,0078	0,0060	0,0166	0,0000
5	0,8103	0,3439	0,7332	0,8471	0,0154	0,0012	0,0300	0,0000
6	0,2664	1,0000	0,1332	0,1539	0,0045	0,0001	0,0083	0,0004
7	0,7137	0,3998	0,6569	0,7589	0,0092	0,0007	0,0178	0,0000
8	1,0000	0,5110	0,7445	0,8601	0,0161	0,0000	0,0303	0,0000
9	0,5450	0,5720	0,4865	0,5620	0,0070	0,0005	0,0136	0,0000
10	0,5240	0,5093	0,5073	0,5861	0,0161	0,0002	0,0298	0,0014
11	0,8234	0,4375	0,6930	0,8006	0,0096	0,0007	0,0187	0,0000
12	0,6283	0,7187	0,4548	0,5254	0,0107	0,0001	0,0198	0,0009
13	1,0000	0,2749	0,8625	0,9965	0,0159	0,0000	0,0000	0,0222
14	0,3794	1,0000	0,1897	0,2191	0,0085	0,0006	0,0165	0,0000
15	0,2987	1,0000	0,1493	0,1725	0,0045	0,0000	0,0082	0,0004

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no verde
16	0,6040	0,4461	0,5790	0,6688	0,0087	0,0001	0,0161	0,0007
17	0,7486	0,3819	0,6833	0,7894	0,0111	0,0000	0,0204	0,0011
18	0,5193	0,5213	0,4990	0,5765	0,0089	0,0001	0,0165	0,0008
19	0,5281	0,9524	0,2878	0,3325	0,0078	0,0006	0,0151	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, a DMU_13 apresentou o segundo maior valor na Composta* (0,9965), devido à combinação do valor do índice de eficiência padrão (1,0000) e o da invertida (0,2749) (Tabela 16). Para isto, o modelo desconsiderou dos cálculos de eficiência as variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e o ‘Tempo da Fase Verde (s)’, atribuindo maior peso à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’.

A terceira DMU a compor a fronteira de eficiência padrão foi a DMU_8, que apresentou valor de 0,8601 na Composta* (Tabela 16). As variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’ foram desconsideradas dos cálculos de eficiência, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Das DMUs ineficientes, há três DMUs que se situam na fronteira de eficiência invertida, que são as DMUs 6, 14 e 15, o que significa que estas apresentaram as piores práticas gerenciais. Dentre estas, a DMU_6 foi a que apresentou os piores resultados, em termos de práticas gerenciais, cujo valor na Composta* foi de 0,1539, apresentando o valor de 0,2664 no índice de eficiência padrão (Tabela 16). Para isto, o modelo atribuiu maior importância à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’, além de atribuir peso próximo de zero às variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ e ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’.

Para que a DMU_6 atinja a fronteira de eficiência padrão, esta deve assumir características operacionais das três DMUs situadas na fronteira, tendo maior proximidade com a DMU_8, devido ao valor do *benchmark* de 0,4218 (Tabela 17). Conforme é possível observar na Tabela 24, a DMU_6 precisa reduzir em aproximadamente 73% os valores de ambos os *inputs*, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho(s)’ deve ser reduzido dos atuais 222 segundos para 59 segundos e o ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ deve ser reduzido dos atuais 63 para 17 pedestres.

Com o segundo pior resultado na Composta*, a DMU_15 apresentou índice de eficiência padrão de 0,1725, o que significa que esta foi 17,25% eficiente na ótica das melhores práticas gerenciais (Tabela 16). Para isto, o modelo desconsiderou a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Os benchmarks da DMU_15 são as DMUs 8 e 13, tendo maior similaridade com a DMU_8, já que o valor do *benchmark* para esta DMU é de 0,6756 e, para a DMU_13 é de 0,3970 (Tabela 17). Para se tornar eficiente, a DMU_15 deve reduzir radialmente os *inputs* em cerca de 70%, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho’ deve ser reduzido dos atuais 224 segundos para 67 segundos e a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Faixa Vermelha’ deve ser reduzida radialmente dos atuais 75 para 22 pessoas (Tabela 17).

Por fim, a DMU_14 foi a terceira mais ineficiente, com valor da Composta* de 0,2191 (Tabela 16). O modelo desconsiderou a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Tabela 17: Resultado dos valores de *benchmarks*, alvos e folgas da amostra (modelo CCR-I) - G5/G6 (manhã).

DMU	Benchmark			Alvos e Folgas				
	3	8	13	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
6	0,3639	0,4218	0,0802	x	222,000	59,144	0,000	59,144
				z	63,000	16,784	0,000	16,784
				y ₁	31,000	31,000	0,000	31,000
				y ₂	23,000	23,000	0,000	23,000
14	0,2243	0,4251	0,0000	x	115,000	43,627	0,000	43,627
				z	39,000	14,795	0,000	14,795
				y ₁	23,000	23,000	0,000	23,000
				y ₂	10,000	10,000	4,452	14,451
15	0,0000	0,6756	0,3970	x	224,000	66,900	0,000	66,900
				z	75,000	22,400	0,028	22,372
				y ₁	35,000	35,000	0,000	35,000
				y ₂	28,000	28,000	0,000	28,000

Fonte: Elaboração própria.

onde:

x= Tempo da Fase Vermelho (s)

z= Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho

y₁= Tempo da Fase Verde (s)

y₂= Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde.

Para o período da tarde, a fronteira de eficiência padrão é formada pelas DMUs 2 e 16. Dentre estas, a mais eficiente foi a DMU_16, porque apresentou o menor índice de eficiência invertida (0,1415), resultando no maior valor para a Composta* (1,0000), como pode ser visto na Tabela 18. Para essa análise, o modelo DEA CCR-I atribuiu maior peso ao *input* ‘Tempo da Fase Vermelho’, desconsiderando a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’ dos cálculos de eficiência.

Tabela 18: Indicadores de eficiência e os valores dos pesos atribuídos pelo modelo DEA CCR-I (G5/G6 tarde).

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no verde
1	0,4203	0,5511	0,4346	0,4677	0,0098	0,0019	0,0117	0,0000
2	1,0000	0,9058	0,5471	0,5888	0,0272	0,0051	0,0323	0,0000
3	0,4142	0,5413	0,4364	0,4697	0,0109	0,0021	0,0129	0,0000
4	0,3372	0,8173	0,2600	0,2798	0,0000	0,0909	0,0000	0,0147
5	0,3838	0,4562	0,4638	0,4991	0,0090	0,0017	0,0107	0,0000
6	0,6508	0,4104	0,6202	0,6674	0,0177	0,0034	0,0210	0,0000
7	0,4148	1,0000	0,2074	0,2232	0,0130	0,0025	0,0154	0,0000
8	0,2988	0,8572	0,2208	0,2376	0,0081	0,0015	0,0096	0,0000
9	0,2018	0,9204	0,1407	0,1515	0,0000	0,0417	0,0065	0,0000
10	0,2214	1,0000	0,1107	0,1191	0,0000	0,0417	0,0065	0,0000
11	0,5994	0,3772	0,6111	0,6576	0,0110	0,0021	0,0130	0,0000
12	0,9251	0,1940	0,8656	0,9315	0,0195	0,0037	0,0231	0,0000
13	0,1507	1,0000	0,0754	0,0811	0,0050	0,0004	0,0000	0,0060
14	0,3795	0,5031	0,4382	0,4715	0,0000	0,1429	0,0223	0,0000
15	0,1983	0,9122	0,1430	0,1539	0,0043	0,0008	0,0051	0,0000
16	1,0000	0,1415	0,9292	1,0000	0,0264	0,0050	0,0313	0,0000
17	0,1594	1,0000	0,0797	0,0858	0,0047	0,0003	0,0000	0,0057
18	0,4558	0,3669	0,5445	0,5859	0,0167	0,0032	0,0198	0,0000
19	0,1910	1,0000	0,0955	0,1028	0,0046	0,0009	0,0055	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, a DMU_2 apresentou o segundo maior conjunto de índices de eficiência: padrão (1,0000) e composta* (0,5888), conforme visto na Tabela 18. Para isto, o modelo desconsiderou dos cálculos de eficiência a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde’.

Das DMUs ineficientes, há cinco DMUs que se situam na fronteira de eficiência invertida, que são as DMUs 7, 10, 13, 17 e 19. Dentre estas, a DMU_13 foi a que apresentou os piores

resultados, cujo valor para a Composta* foi de 0,0811 (Tabela 18). Para isto, o modelo atribuiu maior importância à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, além de desconsiderar a variável ‘Tempo da Fase Verde’.

Para que a DMU_13 atinja a fronteira de eficiência padrão, esta deve assumir características operacionais das duas DMUs situadas na fronteira, tendo maior proximidade com a DMU_16, devido ao valor do *benchmark* de 0,7865 (Tabela 19). Conforme é possível observar na Tabela 19, a DMU_13 precisa reduzir em aproximadamente 85% os valores de ambos os *inputs*, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho(s)’ deve ser reduzido dos atuais 197 segundos para 29 segundos e o ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ deve ser reduzido dos atuais 40 para 6 pedestres.

Com o segundo pior resultado na Composta* (0,0858), a DMU_17 apresentou índice de eficiência padrão de 0,1594, o que significa que esta foi 15,94% eficiente na ótica das melhores práticas gerenciais (Tabela 18). Para isto, o modelo desconsiderou a variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’, atribuindo maior peso à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’.

Os *benchmarks* da DMU_17 são as DMUs 2 e 16, tendo maior proximidade com a DMU_16, já que o valor do *benchmark* para esta DMU é de 0,8464 e, para a DMU_2 é de 0,0766 (Tabela 19). Para se tornar eficiente, a DMU_17 deve reduzir radialmente os *inputs* em cerca de 84%, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’ deve ser reduzido dos atuais 207 segundos para 33 segundos e a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Faixa Vermelha’ deve ser reduzida radialmente dos atuais 64 para 10 pessoas (Tabela 19).

A seguir, a DMU_19 foi a terceira mais ineficiente, conforme as práticas gerenciais, cujo valor da Composta* foi de 0,1028 (Tabela 18). O modelo desconsiderou a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Tabela 19: Resultado dos valores de *benchmarks*, alvos e folgas da amostra (modelo CCR-I) - G5/G6 (tarde).

DMU	Benchmark		Alvos e Folgas				
	2	16	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
7	0,3676	0,4877	x	63,000	26,130	0,000	26,130
			z	75,000	31,108	0,000	31,108
			y ₁	27,000	27,000	0,000	27,000
			y ₂	8,000	8,000	15,572	23,572

DMU	Benchmark		Alvos e Folgas				
	2	16	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
10	0,0000	1,0625	x	198,000	43,828	4,516	39,313
			z	24,000	5,313	0,000	5,513
			y ₁	34,000	34,000	0,000	34,000
			y ₂	9,000	9,000	23,938	32,938
13	0,0269	0,7865	x	197,000	29,692	0,000	29,692
			z	40,000	6,029	0,000	6,029
			y ₁	23,000	23,000	3,002	26,002
			y ₂	25,000	25,000	0,000	25,000
17	0,0766	0,8464	x	207,000	33,002	0,000	33,002
			z	64,000	10,204	0,000	10,204
			y ₁	29,000	29,000	0,459	29,459
			y ₂	28,000	28,000	0,000	28,000
19	0,0949	1,0018	x	205,000	39,154	0,000	39,154
			z	65,000	12,415	0,000	12,415
			y ₁	35,000	35,000	0,000	35,000
			y ₂	18,000	18,000	15,239	33,239

Fonte: Elaboração própria.

onde:

x = Tempo da Fase Vermelho (s)

z = N° de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho

y_1 = Tempo da Fase Verde (s)

y_2 = N° de Pedestres que atravessaram na Fase Verde.

- Semáforo G8

No período da manhã, a fronteira de eficiência padrão é formada por três DMUs, que são as DMUs 1, 3, e 19. Dentre estas, a mais eficiente foi a DMU_19, já que apresentou a maior Composta* (1,0000) e menor índice de eficiência invertida (0,1562), como pode ser visto na Tabela 20. Para essa avaliação o modelo DEA CCR-I atribuiu maior importância (peso) ao *input* ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’ e ao *output* ‘Tempo da Fase Verde’.

Tabela 20: Indicadores de eficiência e os valores dos pesos atribuídos pelo modelo DEA CCR-I (G8 manhã).

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	N° de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	N° de Pessoas que atravessaram no verde
1	1,0000	0,2268	0,8866	0,9617	0,0145	0,0000	0,0000	0,0164
2	0,1602	1,0000	0,0801	0,0869	0,0000	0,0115	0,0059	0,0000
3	1,0000	0,4152	0,7924	0,8596	0,0026	0,0321	0,0000	0,0167

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no verde
4	0,9043	0,2793	0,8125	0,8814	0,0025	0,0230	0,0097	0,0085
5	0,5887	0,3417	0,6235	0,6764	0,0025	0,0227	0,0096	0,0084
6	0,2929	1,0000	0,1465	0,1589	0,0000	0,0270	0,0139	0,0000
7	0,8101	0,4290	0,6906	0,7491	0,0028	0,0254	0,0108	0,0094
8	0,2500	0,7809	0,2345	0,2544	0,0071	0,0000	0,0071	0,0000
9	0,7475	0,4153	0,6661	0,7225	0,0015	0,0187	0,0000	0,0097
10	0,8274	0,2960	0,7657	0,8306	0,0147	0,0000	0,0073	0,0135
11	0,2481	0,8012	0,2235	0,2424	0,0051	0,0000	0,0025	0,0047
12	0,3687	0,4815	0,4436	0,4812	0,0000	0,0286	0,0147	0,0000
13	0,7656	0,4358	0,6649	0,7213	0,0017	0,0208	0,0000	0,0108
14	0,4112	0,4510	0,4801	0,5208	0,0018	0,0162	0,0069	0,0060
15	0,2836	0,6422	0,3207	0,3479	0,0071	0,0000	0,0035	0,0066
16	0,2443	1,0000	0,1222	0,1325	0,0080	0,0000	0,0000	0,0090
17	0,2959	0,6843	0,3058	0,3317	0,0102	0,0000	0,0102	0,0000
18	0,3033	0,6375	0,3329	0,3611	0,0089	0,0000	0,0044	0,0082
19	1,0000	0,1562	0,9219	1,0000	0,0161	0,0000	0,0161	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, a DMU_1 apresentou o segundo maior conjunto de eficiências: padrão (1,0000) e Composta* (0,9617), conforme verificado na Tabela 20. Para isto, o modelo desconsiderou dos cálculos de eficiência as variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e o ‘Tempo da Fase Verde (s)’, atribuindo maior peso à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’.

A terceira DMU a compor a fronteira de eficiência padrão foi a DMU_3, que apresentou valor de 0,8596 para a Composta* (Tabela 20). A variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’ foi desconsiderada dos cálculos de eficiência, atribuindo maior peso à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’.

Há três DMUs que se situam na fronteira de eficiência invertida, sendo elas as DMUs 2, 6 e 16. Dentre estas, a DMU_2 foi a que apresentou os piores resultados, cujo valor para a Composta* foi de 0,0869, devido ao baixo valor do índice de eficiência padrão (0,1602) (Tabela 20). Para isto, o modelo atribuiu maior importância à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’, tendo desconsiderado o peso da variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Conforme é possível observar na Tabela 22, a DMU_2 precisa reduzir em aproximadamente 85% os valores de ambos os *inputs*, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho(s)’ deve ser reduzido dos atuais 200 segundos para 27 segundos e o ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ deve ser reduzido dos atuais 87 para 14 pedestres.

Com o segundo pior resultado na Composta*, a DMU_16 apresentou índice de eficiência padrão de 0,1325 (Tabela 20). Para isto, o modelo desconsiderou as variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ e ‘Tempo da Fase Verde (s)’, atribuindo maior peso à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde (s)’.

A referência da DMU_16 é a DMU_1, sendo o valor do *benchmark* para esta DMU é de 0,4426 (Tabela 21). Para se tornar eficiente, a DMU_16 deve reduzir radialmente os *inputs* em cerca de 76%, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho’ deve ser reduzido dos atuais 125 segundos para 31 segundos e a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ deve ser reduzida radialmente dos atuais 50 para 12 pessoas (Tabela 21).

Por fim, a DMU_6 foi a terceira mais ineficiente, cujo valor da Composta* foi de 0,1589 (Tabela 20). O modelo desconsiderou a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Tabela 21: Resultado dos valores de *benchmarks*, alvos e folgas da amostra (modelo CCR-I) – G8 (manhã).

DMU	Benchmark			Alvos e Folgas				
	1	3	19	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
2	0,0000	0,0000	0,0000	x	200,000	32,036	5,036	27,000
				z	87,000	13,935	0,000	13,935
				y ₁	27,000	27,000	0,000	27,000
				y ₂	12,000	12,000	2,806	14,806
6	0,0000	0,0000	0,0000	x	96,000	28,122	7,122	21,000
				z	37,000	10,839	0,000	10,839
				y ₁	21,000	21,000	0,000	21,000
				y ₂	5,000	5,000	6,516	11,516
16	0,4426	0,0000	0,0000	x	125,000	30,541	0,000	30,541
				z	50,000	12,216	0,708	11,508
				y ₁	10,000	10,000	1,508	11,508
				y ₂	27,000	27,000	0,000	27,000

Fonte: Elaboração própria.

onde:

x= Tempo da Fase Vermelho (s)

z= N° de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho
y₁= Tempo da Fase Verde (s)
y₂= N° de Pedestres que atravessaram na Fase Verde.

Para o período da tarde, a fronteira de eficiência padrão é formada pelas DMUs 11 e 17. Dentre estas, a mais eficiente foi a DMU_11, porque apresentou o menor índice de eficiência invertida (0,1966), resultando no maior valor para a Composta* (1,0000), como pode ser visto na Tabela 22. Para essa análise, o modelo DEA CCR-I atribuiu maior importância à variável ‘N° de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, desconsiderando as variáveis ‘N° de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e ‘Tempo da Fase Verde (s)’ dos cálculos de eficiência.

Tabela 22: Índices de eficiência e os valores dos pesos atribuídos às variáveis pelo modelo DEA CCR-I (G8 tarde).

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	N° de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	N° de Pessoas que atravessaram no verde
1	0,3762	0,9857	0,1953	0,2166	0,0035	0,0000	0,0138	0,0021
2	0,9527	0,3364	0,8082	0,8963	0,0093	0,0000	0,0363	0,0055
3	0,4504	0,8872	0,2816	0,3123	0,0111	0,0000	0,0432	0,0066
4	0,3862	0,8820	0,2521	0,2796	0,0091	0,0000	0,0000	0,0176
5	0,4430	0,8927	0,2751	0,3051	0,0050	0,0000	0,0194	0,0030
6	0,6887	0,3996	0,6446	0,7149	0,0070	0,0000	0,0274	0,0042
7	0,9154	0,3756	0,7699	0,8538	0,0101	0,0000	0,0392	0,0060
8	0,5801	0,6485	0,4658	0,5166	0,0039	0,0054	0,0290	0,0000
9	0,1972	1,0000	0,0986	0,1094	0,0043	0,0000	0,0000	0,0082
10	0,7846	0,3107	0,7369	0,8173	0,0078	0,0000	0,0303	0,0046
11	1,0000	0,1966	0,9017	1,0000	0,0089	0,0000	0,0000	0,0172
12	0,7132	0,4812	0,6160	0,6832	0,0074	0,0000	0,0288	0,0044
13	0,5826	1,0000	0,2913	0,3231	0,0063	0,0000	0,0291	0,0000
14	0,8336	0,2830	0,7753	0,8598	0,0052	0,0000	0,0202	0,0031
15	0,6736	0,3120	0,6808	0,7550	0,0062	0,0000	0,0241	0,0037
16	0,6049	0,4970	0,5540	0,6143	0,0058	0,0000	0,0225	0,0034
17	1,0000	0,3354	0,8323	0,9231	0,0114	0,0000	0,0441	0,0067
18	0,7526	0,4624	0,6451	0,7154	0,0020	0,0028	0,0151	0,0000
19	0,8629	0,4679	0,6975	0,7735	0,0058	0,0081	0,0431	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

A DMU_17 apresentou o segundo maior valor na Composta* (0,9231), conforme visto na Tabela 22. Para isto, o modelo desconsiderou dos cálculos de eficiência a variável ‘N° de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Há duas DMUs que se situam na fronteira de eficiência invertida, sendo elas 9 e 13. Dentre estas, a DMU_9 foi a que apresentou os piores resultados, cujo valor para a Composta* foi de 0,1094 (Tabela 22). Para isto, o modelo atribuiu maior importância à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, tendo desconsiderado as variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Para que a DMU_9 atinja a fronteira de eficiência padrão, esta deve assumir características operacionais da DMU_11, evidenciado pelo valor do *benchmark* de 0,4138 (Tabela 23). Conforme é possível observar na Tabela 31, a DMU_9 precisa reduzir em aproximadamente 84% os valores de ambos os *inputs*, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho(s)’ deve ser reduzido dos atuais 235 segundos para 46 segundos e o ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ deve ser reduzido dos atuais 92 para 11 pedestres.

Com o segundo pior resultado na Composta* (0,0858), a DMU_13 apresentou índice de eficiência padrão de 0,3231 (Tabela 22). Para isto, o modelo desconsiderou as variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’ e ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Verde (s)’.

Para se tornar eficiente, a DMU_13 deve reduzir radialmente os *inputs* em cerca de 45%, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’ deve ser reduzido dos atuais 159 segundos para 93 segundos e a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Faixa Vermelha’ deve ser reduzida radialmente dos atuais 77 para 40 pessoas (Tabela 23).

Tabela 23: Resultado dos valores de *benchmarks*, alvos e folgas da amostra (modelo CCR-I) – G8 (tarde).

DMU	Benchmark		Alvos e Folgas				
	11	17	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
9	0,4138	0,0000	x	235,000	46,345	0,000	46,345
			z	92,000	18,144	7,385	10,759
			y ₁	8,000	8,000	0,276	8,276
			y ₂	24,000	24,000	0,000	24,000
13	0,0000	1,0526	x	159,000	92,632	0,000	92,632
			z	77,000	44,859	4,859	40,000
			y ₁	20,000	20,000	0,000	20,000
			y ₂	12,000	12,000	13,263	25,263

Fonte: Elaboração própria.

onde:

x= Tempo da Fase Vermelho (s)

z= N° de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho
y₁= Tempo da Fase Verde (s)
y₂= N° de Pedestres que atravessaram na Fase Verde.

- Semáforo G9

No período da manhã, a fronteira de eficiência padrão é formada pelas DMUs 1, 3, 9 e 17. Dentre estas, as duas mais eficiente foram as DMU_1 e 17. A DMU_1 apresentou o menor índice de eficiência invertida (0,1450), resultando no maior valor para a Composta*, como pode ser visto na Tabela 24. Para esta análise, o modelo DEA CCR-I atribuiu maior peso ao *input* ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’ e o menor peso no *output* ‘N° de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’, desconsiderando as variáveis ‘N° de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e ‘Tempo da Fase Verde (s)’ dos cálculos de eficiência.

Tabela 24: Índices de eficiência e os valores dos pesos atribuídos às variáveis pelo modelo DEA CCR-I (G9 manhã).

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	N° de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	N° de Pessoas que atravessaram no verde
1	1,0000	0,1450	0,9275	1,0000	0,0256	0,0000	0,0000	0,0119
2	0,7571	0,4516	0,6527	0,7151	0,0085	0,0826	0,0000	0,0095
3	1,0000	0,2579	0,8710	0,9542	0,0333	0,0000	0,0156	0,0000
4	0,1402	1,0000	0,0701	0,0768	0,0060	0,0000	0,0026	0,0003
5	0,6565	0,2932	0,6816	0,7467	0,0208	0,0000	0,0093	0,0012
6	0,8370	0,2608	0,7881	0,8634	0,0122	0,0000	0,0054	0,0007
7	0,5334	0,6498	0,4418	0,4840	0,0062	0,0605	0,0000	0,0069
8	0,9334	0,1766	0,8784	0,9623	0,0154	0,0310	0,0043	0,0069
9	1,0000	0,2391	0,8805	0,9645	0,0093	0,0778	0,0000	0,0100
10	0,6088	0,3611	0,6238	0,6834	0,0152	0,1477	0,0000	0,0169
11	0,6366	0,4165	0,6101	0,6683	0,0084	0,0698	0,0000	0,0090
12	0,9216	0,1716	0,8750	0,9586	0,0099	0,0200	0,0028	0,0044
13	0,4471	0,4028	0,5221	0,5720	0,0077	0,0155	0,0021	0,0034
14	0,5057	0,3353	0,5852	0,6411	0,0137	0,0276	0,0038	0,0061
15	0,7672	0,2857	0,7408	0,8115	0,0098	0,0822	0,0003	0,0102
16	0,5227	0,4963	0,5132	0,5622	0,0111	0,0000	0,0049	0,0006
17	1,0000	0,1743	0,9128	1,0000	0,0238	0,0480	0,0066	0,0107
18	0,8998	0,2286	0,8356	0,9154	0,0107	0,0901	0,0003	0,0112
19	0,7111	0,3033	0,7039	0,7711	0,0098	0,0814	0,0000	0,0105

Fonte: Elaboração própria.

A DMU₁₇ apresentou valor na Composta* igual a 1,000, índice de eficiência padrão igual a 1,000 e índice de eficiência invertida igual a 0,1743 (Tabela 24). Para isto, o modelo atribuiu maiores pesos às variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e o ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’, não desconsiderando nenhuma variável.

Apenas uma DMU situa-se na fronteira de eficiência invertida, sendo esta a DMU₄. O valor para a sua Composta* foi de 0,0768, devido ao baixo valor do índice de eficiência padrão (0,1402) (Tabela 24). Para isto, o modelo atribuiu maior importância à variável ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’, além de atribuir peso próximo de zero às variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde, tendo desconsiderado o peso da variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’.

Para que a DMU₄ atinja a fronteira de eficiência padrão, esta deve assumir características operacionais das DMUs 1 e 3, sendo mais próxima à DMU₁, devido ao valor do *benchmark* de 0,3640 (Tabela 25). Conforme é possível observar na Tabela 25, a DMU₄ precisa reduzir em aproximadamente 88% os valores de ambos os *inputs*, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho(s)’ deve ser reduzido dos atuais 168 segundos para 24 segundos e o ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ deve ser reduzido dos atuais 43 para 4 pedestres.

Tabela 25: Resultado dos valores de *benchmarks*, alvos e folgas da amostra (modelo CCR-I) – G9 (manhã).

DMU	Benchmark				Alvos e Folgas				
	1	3	9	13	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
4	0,3639	0,3121	0,0000	0,0000	x	168,000	23,558	0,000	23,558
					z	43,000	6,030	2,390	3,640
					y ₁	48,000	48,000	0,000	48,000
					y ₂	39,000	39,000	0,000	39,000

Fonte: Elaboração própria.

onde:

x= Tempo da Fase Vermelho (s)

z= Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho

y₁= Tempo da Fase Verde (s)

y₂= Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde.

Para o período da tarde, a fronteira de eficiência padrão é formada por três DMUs, que são as DMUs 7, 9 e 12. Dentre estas, a mais eficiente foi a DMU₁₂, uma vez que apresentou o menor índice de eficiência invertida (0,1342), resultando no maior valor para a Composta* (1,0000), como pode ser visto na Tabela 26. Para essa análise, o modelo DEA CCR-I atribuiu maior

importância (peso) ao *input* ‘Tempo da Fase Vermelho’, desconsiderando a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ dos cálculos de eficiência.

Tabela 26: Indicadores de eficiência e os valores dos pesos atribuídos pelo modelo DEA CCR-I (G9 tarde).

DMU	Índices de Eficiência				Pesos atribuídos às variáveis			
	Padrão	Invertida	Composta	Comp*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Nº de Pessoas que atravessaram no verde
1	0,3120	0,9162	0,1979	0,2121	0,0200	0,0000	0,0004	0,0065
2	0,1342	1,0000	0,0671	0,0719	0,0057	0,0000	0,0000	0,0020
3	0,5130	0,2616	0,6257	0,6707	0,0116	0,0000	0,0000	0,0041
4	0,7338	0,2406	0,7466	0,8003	0,0313	0,0000	0,0000	0,0111
5	0,5056	0,3578	0,5739	0,6152	0,0000	0,0909	0,0003	0,0038
6	0,8742	0,1639	0,8551	0,9166	0,0286	0,0000	0,0000	0,0102
7	1,0000	0,3463	0,8269	0,8863	0,0009	0,1828	0,0000	0,0091
8	0,1991	1,0000	0,0996	0,1067	0,0092	0,0000	0,0000	0,0033
9	1,0000	0,1395	0,9302	0,9971	0,0270	0,0000	0,0045	0,0000
10	0,2853	0,4703	0,4075	0,4368	0,0099	0,0000	0,0000	0,0035
11	0,2384	0,5789	0,3298	0,3535	0,0152	0,0000	0,0003	0,0049
12	1,0000	0,1342	0,9329	1,0000	0,0270	0,0000	0,0005	0,0088
13	0,2569	0,5676	0,3446	0,3694	0,0111	0,0000	0,0000	0,0040
14	0,2393	0,5980	0,3206	0,3437	0,0066	0,0000	0,0001	0,0021
15	0,4952	0,2715	0,6118	0,6558	0,0278	0,0000	0,0005	0,0091
16	0,2236	0,6000	0,3118	0,3342	0,0071	0,0000	0,0000	0,0025
17	0,2877	0,5029	0,3924	0,4206	0,0006	0,1205	0,0000	0,0060
18	0,4126	0,4340	0,4893	0,5245	0,0000	0,1111	0,0018	0,0026
19	0,3564	0,4233	0,4665	0,5001	0,0000	0,1429	0,0023	0,0034

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, a DMU_9 apresentou o segundo maior valor na Composta* (0,9971), conforme visto na Tabela 26. Para isto, o modelo desconsiderou dos cálculos de eficiência as variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde’ e ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Vermelho’.

Na fronteira de eficiência invertida situam-se as DMUs 2 e 8. Dentre estas, a DMU_2 foi a mais ineficiente, em termos de práticas gerenciais, cujo valor para a Composta* foi de 0,0719 (Tabela 26). Para isto, o modelo atribuiu maior importância à variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’, além de desconsiderar as variáveis ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelho’ e ‘Tempo da Fase Verde’.

Para que a DMU_2 atinja a fronteira de eficiência padrão, esta deve assumir características operacionais da DMU_12, devido ao valor do *benchmark* de 0,6346 (Tabela 27). Conforme é possível observar na Tabela 35, a DMU_2 precisa reduzir em aproximadamente 90% os valores de ambos os *inputs*, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho(s)’ deve ser reduzido dos atuais 175 segundos para 23 segundos e o ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’ deve ser reduzido dos atuais 40 para 3 pedestres.

Com o segundo pior resultado na Composta* (0,1067), a DMU_8 apresentou índice de eficiência padrão de 0,1991, o que significa que esta foi 19,91% eficiente na ótica das melhores práticas gerenciais (Tabela 26). Para isto, o modelo desconsiderou as variáveis ‘Tempo da Fase Verde (s)’ e ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha’, atribuindo maior peso à variável ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’. O *benchmark* da DMU_8 é a DMU_12, já que o valor do *benchmark* para esta DMU é de 0,5865 (Tabela 27). Para se tornar eficiente, a DMU_8 deve reduzir radialmente os *inputs* em cerca de 87%, sendo que o ‘Tempo da Fase Vermelho (s)’ deve ser reduzido dos atuais 109 segundos para 22 segundos e a variável ‘Nº de Pedestres que atravessaram na Faixa Vermelha’ deve ser reduzida radialmente dos atuais 48 para 3 pessoas (Tabela 27).

Tabela 27: Resultado dos valores de *benchmarks*, alvos e folgas da amostra (modelo CCR-I) – G9 (tarde).

DMU	Benchmark			Alvos e Folgas				
	7	9	12	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
2	0,0000	0,0000	0,6346	x	175,000	23,481	0,000	23,481
				z	40,000	5,367	2,194	3,173
				y ₁	50,000	50,000	49,000	99,000
				y ₂	66,000	66,000	0,000	66,000
8	0,0000	0,0000	0,5865	x	109,000	21,702	0,000	21,702
				z	48,000	9,557	6,624	2,933
				y ₁	76,000	76,000	15,500	91,500
				y ₂	61,000	61,000	0,000	61,000

Fonte: Elaboração própria.

onde:

x= Tempo da Fase Vermelho (s)

z= Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Vermelha

y₁= Tempo da Fase Verde (s)

y₂= Nº de Pedestres que atravessaram na Fase Verde.

8. CONCLUSÕES

O estudo dos fatores que influenciam os deslocamentos a pé é intrínseco ao bom gerenciamento da mobilidade urbana pelos planejadores. Sob esta ótica, as interseções com os veículos, principalmente as interseções semaforizadas, apresentam-se como um dos fatores que influenciam no maior tempo de deslocamento de pedestres, devido, sobretudo, ao elevado tempo de espera para travessia, podendo potencializar o desrespeito semafórico pelos pedestres.

Assim, os objetivos propostos foram atingidos: Avaliar as características de interseções semaforizadas; Identificar as durações reais (em segundos) dos ciclos semafóricos; Avaliar o comportamento dos pedestres nas interseções semaforizadas; Verificar o índice de desrespeito aos semáforos fechados pelos pedestres; Aplicar o método de Análise Envoltória de Dados (DEA) adequado ao problema de programação semafórica, avaliando o desempenho dos semáforos; Propor soluções e alterações à programação semafórica visando a redução da evasão semafórica pelos pedestres.

Foi observado que, além de o tempo de verde ser insuficiente para a travessia, outro fator que influencia o desrespeito semafórico é o tempo de espera (assumido como o tempo de vermelho mais tempo de vermelho intermitente). De acordo com o HCM (2000), quanto maior for o tempo de espera para a travessia, maior é a propensão do pedestre de desrespeitar o semáforo.

Conforme a tabela de Nível de Serviço para interseções semaforizadas do referido manual, como indicado no capítulo 4 deste estudo, tempos de espera maiores do que 60s estão relacionados com probabilidades de desrespeitos categorizadas como muito altas (as maiores da escala). Esta posição da escala indica o grau F para o Nível de Serviço da interseção, considerada a pior na avaliação.

Através deste estudo foi possível identificar, utilizando-se da análise das filmagens, que cada ciclo possui uma duração aleatória e diferente da oficialmente implementada, como pôde ser verificado em todos os períodos de estudo, em todos os turnos (manhã e tarde). Também foi verificado que as durações de cada fase dentro dos ciclos, não se deram de forma regular.

Desta forma, fica claro que o sistema oferece ao pedestre uma dinâmica com baixa confiabilidade, contribuindo para o desrespeito semafórico. É evidente que a travessia dos pedestres nestas condições também é influenciada pelo fluxo de veículos, pela hora do dia, pela

quantidade de pedestres na faixa de travessia, pela possível formação de pelotões, pela insegurança pública, entre outros, porém de acordo com o verificado nas filmagens, correlacionado entre as interseções e verificado na revisão bibliográfica, se a programação semafórica oferece condições que propiciam a travessia segura com uma velocidade de travessia praticável e confortável, este índice tende a ser menor.

Nesse contexto, o objetivo proposto pelo trabalho foi alcançado, à medida em que foi realizada a análise da eficiência de algumas programações semafóricas no centro da cidade do Rio de Janeiro, levando em conta a duração das fases e comparando aos índices de desrespeito semafóricos dos pedestres. Para tal, foi utilizado o método de Análise de Envoltória de Dados (DEA), utilizando-se do modelo CCR orientado a *input*, tornando possível a referida análise e proporcionando informações necessárias à proposição de melhorias à programação.

Utilizando o modelo DEA CCR-I, fica claro que os semáforos cujos tempos de espera são excessivamente elevados precisam ser ajustados, tornando-se adequados à travessia dos pedestres, sendo necessárias as seguintes alterações em suas programações (nas fases com piores características gerenciais):

- Semáforo G5/G6 (manhã): ajuste médio de 69%
- Semáforo G5/G6 (tarde): ajuste médio de 78%
- Semáforo G8 (manhã): ajuste médio de 80%
- Semáforo G8 (tarde): ajuste médio de 61%
- Semáforo G9 (manhã): ajuste médio de 86%
- Semáforo G9 (tarde): ajuste médio de 83%

Assim, foi possível não só verificar que algumas fases dentro dos ciclos semafóricos se encontram altamente discrepantes e ineficientes em comparação a outras, como também identificar o quanto as durações destas fases deveriam ser reduzidas, proporcionando assim mais informações aos operadores de tráfego para melhoria do sistema.

Outra sugestão, como a proposta por Schmitz (2011) e Lipovac et al. (2013), que estudaram o comportamento dos pedestres em travessias de interseções semaforizadas, é a implantação de semáforos com contadores regressivos, que se apresenta como uma boa solução para a redução do desrespeito semafórico dos pedestres. Semáforos com contagem regressiva (também

conhecidos como semáforos com temporizador ou com cronômetro, ou ainda, semáforos gradativos) são os grupos focais que, além de mostrar aos condutores e pedestres a cor da indicação luminosa, mostram também o seu tempo restante para referida fim da fase (CET, 2016), como é exemplificado na Figura 20.



Figura 20: Semáforos com contador regressivo.
Fonte: Google Imagens (2017).

Outra medida que pode auxiliar os pedestres durante a travessia é a implantação de sinalização vertical, utilizando-se de placas a fim de conscientizar os pedestres de que a travessia deve ser realizada em mais de uma etapa, como pode ser observado na Rue de la Paix, em Paris, França (Figuras 21 e 22).



Figura 21: Placas de sinalização de pedestres informando a necessidade da travessia em estágios em Paris.
Fonte: Google Imagens (2018).

Na placa lê-se “Pedestres, atravessem em dois tempos”, indicando que possivelmente a travessia não poderá ser realizada em apenas uma etapa.



Figura 22: Detalhe da placa de sinalização de pedestres informando a necessidade da travessia em estágios em Paris.

Fonte: Google Imagens (2018).

Além desta medida, pode ser considerada uma outra alternativa para auxílio da solução em questão. Consta do Manual de Segurança de Pedestres, elaborado pelo DENATRAN-CONTRAN, sobre travessias em desnível, como sendo interessante manter o pedestre se locomovendo no seu caminho normal e alterar o caminho dos veículos, fazendo estes últimos passarem acima ou abaixo da pista reservada aos pedestres. Porém, avaliando a grande complexidade e possível inviabilidade de tal solução, apesar de a implantação de passarelas urbanas ser questão de discussão quando do volume elevado de pedestres, esta pode ser uma solução possível para o local de estudo, principalmente para a Av. Presidente Vargas, uma vez que é bastante complexa a questão da sincronização semafórica no local.

A cidade de Salvador, na Bahia, por exemplo, adotou uma solução bastante eficiente para a travessia de avenidas de grande dimensão transversal. Utilizam estruturas de LSF (Light Steel Frame) apoiadas por colunas tipo ‘taça’, que são próprias para instalação de canteiros ou divisores de pistas. Tais estruturas de aço pré-fabricadas são de rápida instalação e interferem minimamente na mobilidade da via durante a sua construção, além de poder vencer grandes vãos e proporcionar maior área de passagem para o pedestre.

Estas passarelas podem ser visualizadas na Av. Luís Viana Filho (também conhecida como Av. Paralela), que é uma importante via pública da cidade de Salvador. Esta possui pouco mais de treze quilômetros de extensão e ao longo da avenida encontram-se importantes polos geradores de viagens, como o Parque Tecnológico da Bahia, o Estádio de Pituáçu, o Centro Administrativo da Bahia (CAB) e campi universitários. As características da referida avenida são extremamente semelhantes à Av. Presidente Vargas, um dos casos do presente estudo.

É possível visualizar a localização das estruturas mencionadas na Figura 23 e, as estruturas propriamente ditas, nas Figuras 24 e 25 a seguir, apresentando as passarelas implantadas na Av. Luís Viana Filho, próximas à estação de metrô do Imbui, na cidade de Salvador.



Figura 23: Localização das passarelas implantadas na Av. Luís Viana Filho, próximas à estação de metrô do Imbui – Salvador, Bahia.

Fonte: Google Maps (2018).



Figura 24: Passarelas implantadas na Av. Luís Viana Filho, próximas à estação de metrô do Imbui – Salvador, Bahia.

Fonte: Elaboração própria.



Figura 25: Passarelas implantadas na Av. Luís Viana Filho, próximas à estação de metrô do Imbui – Salvador, Bahia.

Fonte: Elaboração própria.

Apesar de as vias estudadas no presente trabalho serem de grande importância e apresentarem grandes fluxos de veículos e de pedestres, o caso do centro da cidade do Rio de Janeiro é bastante complexo quando se discute a mobilidade urbana. Por isso, como proposta para

trabalhos futuros, indica-se que sejam estudados outros pontos de interesse para uma melhor sinergia na mobilidade do centro da cidade do RJ.

Além disso, é imprescindível que sejam estudados os efeitos imediatos da questão de segurança pública no desrespeito semafórico. Como ficou claro no presente estudo, os períodos da tarde verificados apresentaram maiores taxas de desrespeito semafórico do que os da manhã, podendo ser ampliado o estudo da influência deste fator em estudos futuros.

Propõem-se o aumento do número de dias analisados, assim como a análise de outros períodos além dos de pico da manhã e da tarde, como o período do almoço. Deve-se ampliar também o número de interseções verificadas, bem como utilizarem-se outras técnicas para obtenção de dados, como o uso de redes móveis e dispositivos de infravermelho.

Finalmente, recomenda-se aprofundar os conceitos acerca da aplicação do modelo DEA para programações semafóricas, podendo serem feitas modificações na abordagem do problema, bem como na atribuição de pesos diferentes dos atribuídos pelo próprio modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRASPE (1999) *Manual de Orientação do Pedestre* – Associação Brasileira de Pedestres.
- Alhajyaseen, W., Iryo-Asano, M. (2017) *Modeling pedestrian crossing speed profiles considering speed change behavior for the safety assessment of signalized intersections* – Elsevier - Accident Analysis and Prevention 108, 332-342.
- Andrade, V., Linke, C. – organizadores (2017) *Cidades de Pedestres – A Caminhabilidade no Brasil e no Mundo – Primeira Edição* - Editora Babilonia.
- Bernardin, K., Stiefelhagen, R. (2008) *Evaluating Multiple Object Tracking Performance: The CLEAR MOT Metrics* – EURASIP Journal on Image and Video Processing.
- Bertoloto, R., Mello, J. (2011) *Eficiência de portos e terminais privados brasileiros com características distintas* – Journal of Transport Literature, v. 5, n. 2, p. 421.
- Blue, V., Adler, J. (2000) *Modeling Four-Directional Pedestrian Flows* - Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.
- Bungum, T.J., Day, C., Henry, L.J. (2005) *The association of distraction and caution displayed by pedestrians at a lighted crosswalk* - J. Commun. Health 30, 269–279.
- Carey, N. (2005) *Establishing Pedestrian Walking Speeds* – Project Report, Portland State University, ITE Student Chapter.
- CET (2016) Companhia de Engenharia de Tráfego – Notas Técnicas NT252.
- CET-SP – Pesquisa e Levantamentos de Tráfego, da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo.
- Chandra, S. e Bharti, A. (2013) *Speed Distribution Curves for Pedestrians during Walking and Crossing* – 2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG) – Elsevier - Procedia - Social and Behavioral Sciences 104, 660-667.
- Charnes, A., Cooper, W., Golany, B., Seiford, L., Stutz, J. (1985) *Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions*. Journal of Econometrics, vol. 30, nº 1/2, 91-107.
- COC - City of Cambridge (2000) *Pedestrian Plan* - Community Development Department, Cambridge.
- Código de Trânsito Brasileiro (2004) Anexo II – CTB.

- Cooper, W., Seiford, L., Tone, K. (2006) *Introduction to Data Envelopment Analysis and its use with DEA-solver Software and references*. New York: Springer Science + Business Media, Inc.
- COP - City of Portland (1998) *Portland Pedestrian Plan* - Office of Transportation, Portland.
- Craveiro, G. (2015) *Granéis sólidos no Brasil: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA)*. 70p. - Universidade de Brasília - UnB.
- CTB (1997) Código de Trânsito Brasileiro. Imprensa Nacional – Órgão do Ministério da Justiça, Brasil.
- Davidich, M., Köster, G. (2012) *Towards Automatic and Robust Adjustment of Human Behavioral Parameters in a Pedestrian Stream Model to Measured Data - Safety Science*.
- Dewar, R. (1992) *Traffic Engineering Handbook*.
- DNIT (2006) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Manual de Estudos de Tráfego – Publicação IPR - 723.
- EBTU (1984) Empresa Brasileira de Transportes Urbanos - Ministérios dos Transportes – Série de Cadernos Técnicos: Pedestres.
- Ejzenberg, S. (2011) *Tempo de Vermelho Intermitente em Semáforos de Pedestres Segundo o CTB e a Boa Prática de Segurança na Engenharia de Tráfego* – USP.
- Ellis, A., Shahrokni, A., Ferryman, J.M. (2009) *Pets2009 and winter-pets 2009 results: A combined evaluation* – Twelfth IEEE International Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance (PETS-Winter).
- Fernandes, R. (2010) *Avaliação dos terminais que movimentam contêineres no Brasil através da Análise Envoltória de Dados*. 143 p. - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Figueiredo, F., Maia, M. (2013) *O Pedestre e seu Ambiente de Circulação: Condições e Avaliação dos Deslocamentos a Pé nas Cidades* - Imperative, T. Brasil - The Social Progress Imperative
- Fitzpatrick, K., Turner, S., Brewer, M.A. (2007) *Improving Pedestrian Safety at Unsignalized Intersections* - ITE Journal - Institute of Transportation Engineers.
- Fontes, O. (2006) *Avaliação da eficiência portuária através de uma modelagem DEA*. 86 p. - Universidade Federal Fluminense.
- Fruin, J. (1971) *Pedestrian Planning and Design* - Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners - New York.

- Furth, P., Wang, Y. (2014) *Delay Estimation and Signal Timing Design Techniques for Multi-Stage Pedestrian Crossings and Two-Stage Bicycle Left Turns* - Transportation Research Board Annual Meeting, January, 2015.
- Garcia, B. (2017) *Análise da Eficiência da Geração de Resíduos Sólidos no Âmbito da Gestão Portuária: Um Estudo dos Portos Marítimos Brasileiros* – Dissertação de Mestrado no Programa de Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- Gökş En, Y., Doğ A, O., Özkarakacak, B. (2015) *Data Envelopment Analysis Application for Measuring Efficiency of University Departments*. *Procedia Economics and Finance* , [s.l.], v. 19, n° 15, p. 226–237.
- HCM (2000) *Highway Capacity Manual (HCM) 2000* - National Research Council, Transportation Research Board -Washington, DC.
- Institute of Transportation Engineers - ITE (2003) *Intersection Safety and Design*.
- IPEA (2013) *Impactos Sociais E Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas* – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – Instituto de Segurança Pública (ISP).
- Iryo-Asano, M., Alhajyaseen, W., Zhang, X., Nakamura, H. (2015) *Analysis of pedestrian speed change behavior at signalized crosswalks* – Proceedings of the Road & Simulation International Conference. Orlando, Florida, 1606-1618.
- ISP-RJ (2013) Instituto de Segurança Pública - Governo do Estado do Rio de Janeiro – Estatísticas de Segurança - Disponível em: <<http://www.ispdados.rj.gov.br/estatistica.html>>.
- Jambo, L. (2016) *Previsão do Tempo de Viagem na Gestão do Tráfego Urbano com o Uso de Sistemas Inteligentes de Transportes* – XIV Congresso Rio de Transportes, Rio de Janeiro.
- Jiang, K., Ling, F., Feng, Z., Ma, C., Kumfer, W., Shao, C., Wang, K. (2018) *Effects of mobile phone distraction on pedestrians' crossing behavior and visual attention allocation at a signalized intersection: An outdoor experimental study* – Elsevier – Accident Analysis and Prevention.
- Knoblauch, R., Pietrucha, M., Nitzburg, M. (1995) *Fiel Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time* – Transportation Research Record, N° 1538, TRB, National Research Council, Washington, DC, USA.
- Kurtz, M. (1991) *Handbook of Applied Mathematics for Engineers and Scientists* – Library of Congress Cataloging-in-Publication Data – McGraw-Hill, Inc.
- Lins, M., Meza, L. (2000) *Análise Envolvória de Dados: perspectivas de integração no ambiente do apoio à decisão*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

- Lipovac, K., Vujanic, M., Maric, B., Nestic, M. (2013) *Pedestrian Behavior at Signalized Pedestrian Crossings* - Journal of Transportation Engineering - ASCE.
- Magalhães, M., Rios, M., Yamashita, Y. (2004) *Identificação de Padrões de Posicionamento Determinantes do Comportamento dos Pedestres* - XVIII Anpet.
- Malatesta, E. (2007) *Andar a Pé: Um Modo de Transporte para a Cidade de São Paulo* – Dissertação de mestrado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo.
- Transport Research Arena - Transportation Research Procedia 14, 2121 – 2128.
- Manual of Traffic Studies* – MTS (1999) Institute of Transportation Engineers, USA.
- Mariano, E., Almeida, M., Rebelatto, D. (2006) *Peculiaridades da Análise por Envoltória de Dados*. XII SIMPEP – Bauru/SP.
- Marisamynathan, S., Vedagiri, P. (2013) *Modeling Pedestrian Delay at Signalized Intersection Crosswalks under Mixed Traffic Condition* – Elsevier – Procedia - Social and Behavioral Sciences – 2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG).
- Marisamynathan, S., Vedagiri, P. (2014) *Study on pedestrian crossing behavior at signalized intersections* – Journal of Traffic and Transportation Engineering, p.103-110.
- Martimer, R. (1973) *Behavioral Evaluation of Pedestrian Signals* - Institute of Transportation Engineers, U.S.A.
- Mehran, R., Oyama, A., Shah, M. (2009) *Abnormal crowd behavior detection using social force model* – Computer Vision and Pattern Recognition – CVPR 2009.
- Mello, J. C. C. B. S. De et al. (2005) *Curso de Análise Envoltória de Dados* . In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional . [s.l.]: [s.n.].
- Melo, F. (2005) *Proposição de Medidas Favorecedoras à Acessibilidade e Mobilidade de Pedestres em Áreas Urbanas. Estudo de Caso: O Centro de Fortaleza* - Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Meza, L. et al. (2005) *ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model*. Pesquisa Operacional, [s.l.], v.25, no 3, p. 493–503.
- Monhein, R. (2001) *The Role of Pedestrian Precincts in the Evolution of German City Centers from Shopping to Urban Entertainment Centers* - Australia: Walking the 21st Century, p.43-52.
- Moore, G. (1979) *Estudos de Comportamento Ambiental*. In: Snyder, J. C e Catanese, A. (eds.). Introdução à Arquitetura. Campus, Rio de Janeiro.

- MULTIRIO (2017) <http://www.multirio.rj.gov.br/index.php/leia/reportagens-artigos/reportagens/12869-avenida-presidente-vargas-gigantismo-entre-memórias-vivas-e-apagadas>.
- MUTCD (2009) *Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)* - Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington, D.C.
- Nasar, J.L., Troyer, D. (2013) *Pedestrian injuries due to mobile phone use in public places* – *Accid. Anal. Prev.* 57.
- NUPENS (2017) O uso de Pesquisas Origem e Destino no estudo do Transporte Ativo – Núcleo de Pesquisas Epidemiológicas em Nutrição em Saúde – Faculdade de Saúde Pública – USP.
- O’Flaherty, C. (1997) *Transport Planning and Traffic Engineering* – John Wiley & Sons Inc, Elsevier - Arnold, London.
- Ogden, K. (1996) *Safer Roads: Guide to Road Safety Engineering* - Ashgate Publishing Company, Burlington, U.S.A.
- Organização Mundial da Saúde OMS (2013) *WHO Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action*.
- Pérez, O., Patricio, M., Garcia, J., Molina, J. (2006) *Improving the segmentation stage of a pedestrian tracking video-based system by means of evolution strategies* – *Applications of Evolutionary Computing*. Springer Berlin Heidelberg.
- Pešic, D., Antic, B., Glavic, D., Milenkovic, M. (2015) *The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at unsignalized intersections - Models for predicting unsafe pedestrians behaviour* – Elsevier – Safety Science.
- PDTU (2015) *Relatório do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro* – Governo do Estado Rio de Janeiro.
- Portugal, L. – organizador (2017) *Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano* – Editora Elsevier Ltda.
- Portugal, L., Goldner, L. (2003) *Estudo de Polos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viários e de Transportes* – Editora Edgard Blucher.
- Prodanov, C. e Freitas, E. (2013) *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Científico*, 2ª Edição – Universidade FEEVALE.
- Ribeiro, P. (2008) *Material do curso de Sistemas Inteligentes de Transportes*, Programa de Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ.
- Rodrigues, W. (2007) *Metodologia Científica* – FAETEC/IST.

- Rubem, A., Brandão, L., Mello, J. (2015) *Avaliação de unidades portuárias brasileiras com análise envoltória de dados e o método multicritério ordinal de Copeland* . Revista Transportes , Curitiba, v. 23, no 4, p. 31–41.
- Santos, P., Andurand, T., Meira, L., Maia, L. (2016) *A influência da segurança pública nos deslocamentos a pé: estudo de caso na Região Metropolitana do Recife – VII Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS*.
- Schmitz, J. (2011) *The effects of pedestrian countdown timers on safety and efficiency of operations at signalized intersections*. Civil Engineering Thesis, Dissertations, and Student Research, Paper 28. University of Nebraska – Lincoln.
- Schroeder, B., Elefteriadou, L., Sisiopiku, V., Roupail, N., Salamati, K., Hunter, E., Phillips, B., Chase, T., Zheng, Y., Mamidipalli, S. (2014). *Empirically-Based Performance Assessment and Simulation of Pedestrian Behavior at Unsignalized Crossings - Southeastern Transportation Research, Innovation, Development and Education Center (STRIDE)*.
- SDS-PE (2013) Secretaria de Defesa Social - Governo do Estado de Pernambuco – Disponível em: <<http://www.sds.pe.gov.br/>>.
- Silva, E. e Menezes, E. (2005) *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*, 4ª Edição – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Sousa, L. (2011) *Taxas de Desaceleração e Tempos de Percepção e Reação dos Motoristas em Interseções SemafORIZADAS* - Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- Sousa Jr, J. (2010) *Avaliação da eficiência dos portos utilizando Análise Envoltória de Dados: Estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil* . 88 p. - Universidade Federal do Ceará.
- SSP-SP (2014) Secretaria de Estado da Segurança Pública - Governo do Estado de São Paulo – Estatísticas de Segurança - Disponível em: <<http://www.ssp.sp.gov.br/Estatistica>>.
- Suguiy, T. (2017) *Eficiência versus satisfação no transporte público. Um estudo das práticas nas cidades brasileiras* . 160 p. - Universidade Estadual de Campinas.
- Supernak, J., Verma, V., Supernak, I. (2013) *Pedestrian countdown signals: what impact on safe crossing* – Open J. Civil Eng. 3, 39-45.
- Tarawneh, S. (2001) *Evaluation of Pedestrian Speed in Jordan With Investigation of Some Contributing Factors* – Elsevier - Journal of Safety Research 32.

- Tschaffon, P., Meza, L. (2011) *Um Estudo de outputs indesejáveis em DEA com aplicação no setor de distribuição de energia elétrica* – XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 533–544.
- US Department of Transportation (2016).
- Vasconcellos, E. (2001) *Transporte Urbano, Espaço e Equidade: Análise das Políticas Públicas* - Annablume, São Paulo, 3ª edição.
- VTPI (2014) Victoria Transport Policy Institute - Canada – Online TDM Encyclopedia - Address Security Concerns. Disponível em: <<http://www.vtpi.org/tdm/>>.
- Wang, W., Guo, H., Gao, Z., Bubb, H. (2011) *Individual Differences of Pedestrians Behaviour in Midblock Crosswalk and Intersection*. International Journal of Crashworthiness 16 (1), 1-9.
- Xu, Y., Li, Y., Zhang, F. (2013) *Pedestrians' intention to jaywalk: automatic or planned? A study based on a dual-process model in China* – Elsevier - Accid. Anal. Prev. 50, 811-819.
- Yang, Y., Sun, J. (2013) *Study on pedestrian red-time crossing behaviors: integrated field observation and questionnaire data* – Transportation Research Board (TRB) 92nd Annual Meeting. Washington DC, USA.
- Zabot, C. (2013) *Critérios de Avaliação da Caminhabilidade em Trechos de Vias Urbanas: Considerações para a Região Central de Florianópolis* - Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.
- Zhao, Y., Liu, D., Wang, J.X. (2015) *The influence of pedestrians' cell phone use while crossing on traffic safety in Beijing* - J. Chin. People's Public Secur. Univ. (Sci.Technol.).
- Zheng, Y., Chase, T., Elefteriadou, L., Schroeder, B., Sisiopiku, V.P. (2015) *Modeling Vehicle-Pedestrian Interactions Outside of Crosswalks* - Simulation Modelling Practice and Theory.
- Zheng, Y., Elefteriadou, L., Chase, T., Schroeder, B., Sisiopiku, V. (2016) *Pedestrian Traffic Operations in Urban Networks* – Elsevier - Transportation Research Procedia – ISEHP 2016. International Symposium on Enhancing Highway Performance.

ANEXO 1

A seguir são apresentados os croquis das interseções, bem como suas programações semafóricas, nas quais é possível identificar o período de tempo (duração) alocado para cada fase, de acordo com o ciclo (manhã ou tarde).

- Interseção 1: Avenida Presidente Vargas X Avenida Rio Branco – Semáforos G8 e G9

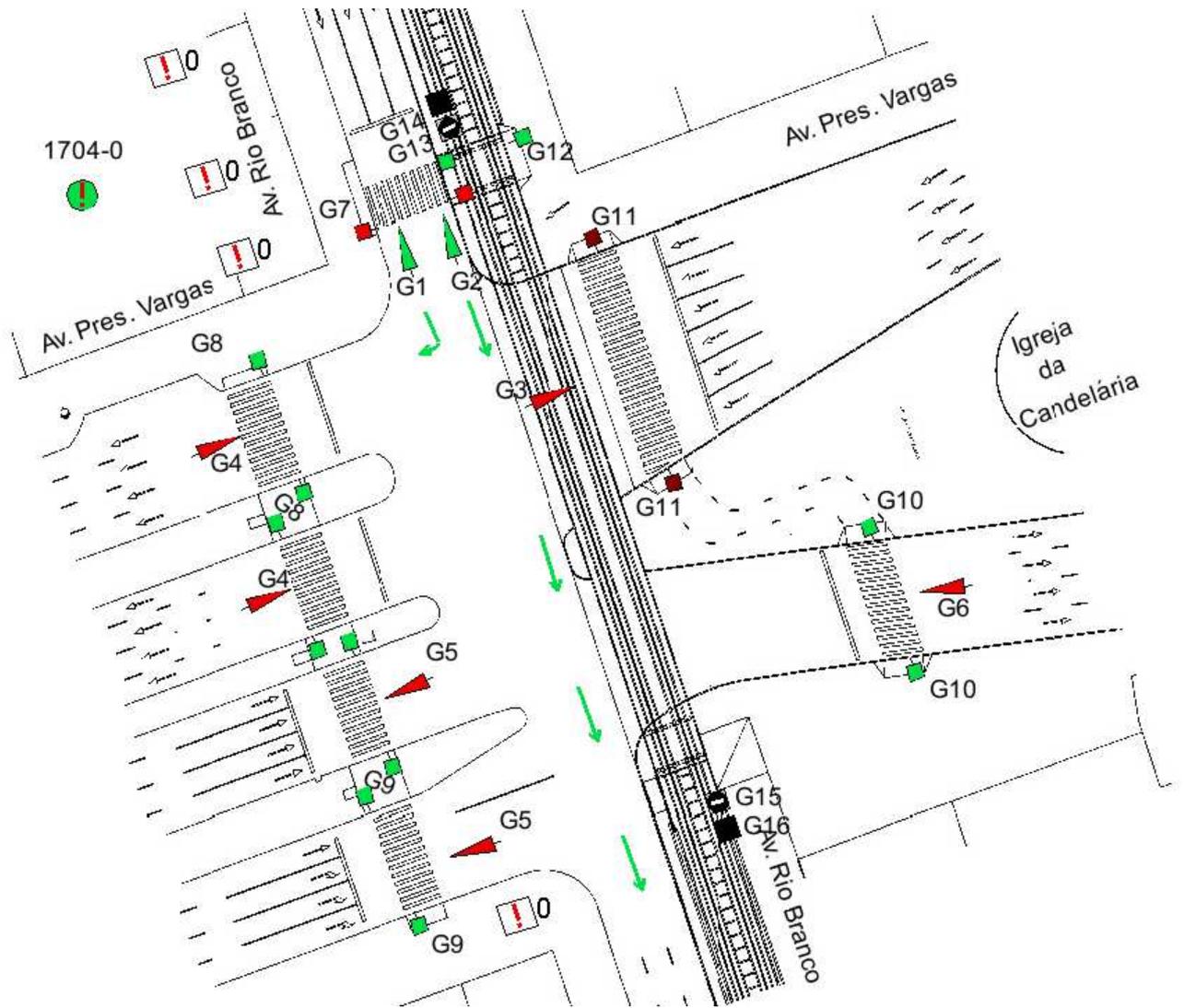


Figura 17: Croquis dos grupos semafórico da Interseção 1: Avenida Presidente Vargas x Avenida Rio Branco.
Fonte: COR-Rio (2017).

Cruzamento: 1704-0

PLANO: Actual: 001

Descrição: Av. Presidente Vargas x Av. Rio Branco

Comentário:

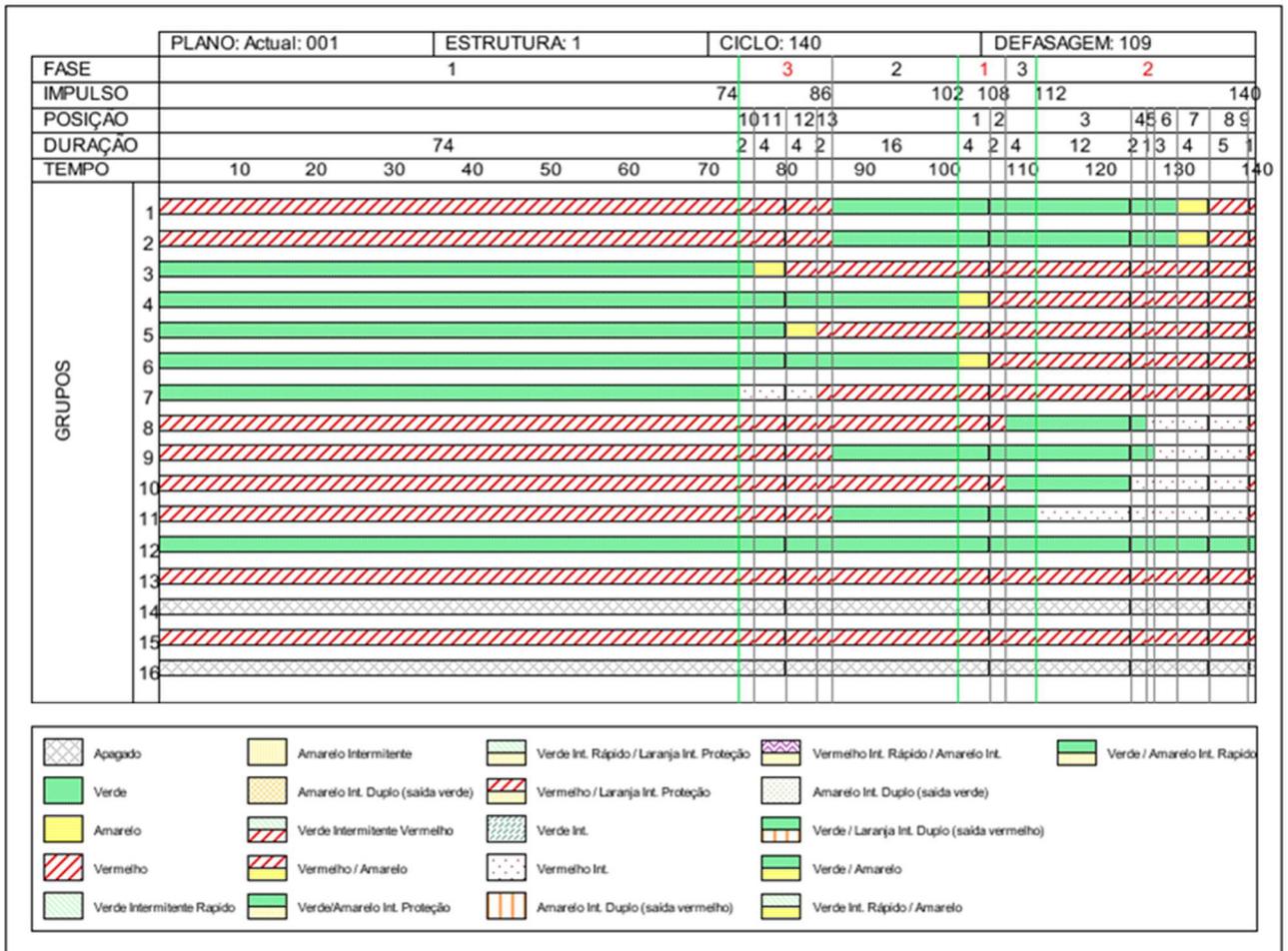


Figura 18: Programação semafórica da Interseção 1- período de pico da manhã.

Fonte: COR-Rio (2017).

Cruzamento: 1704-0

PLANO: 005

Descrição: Av. Presidente Vargas x Av. Rio Branco

Comentário:

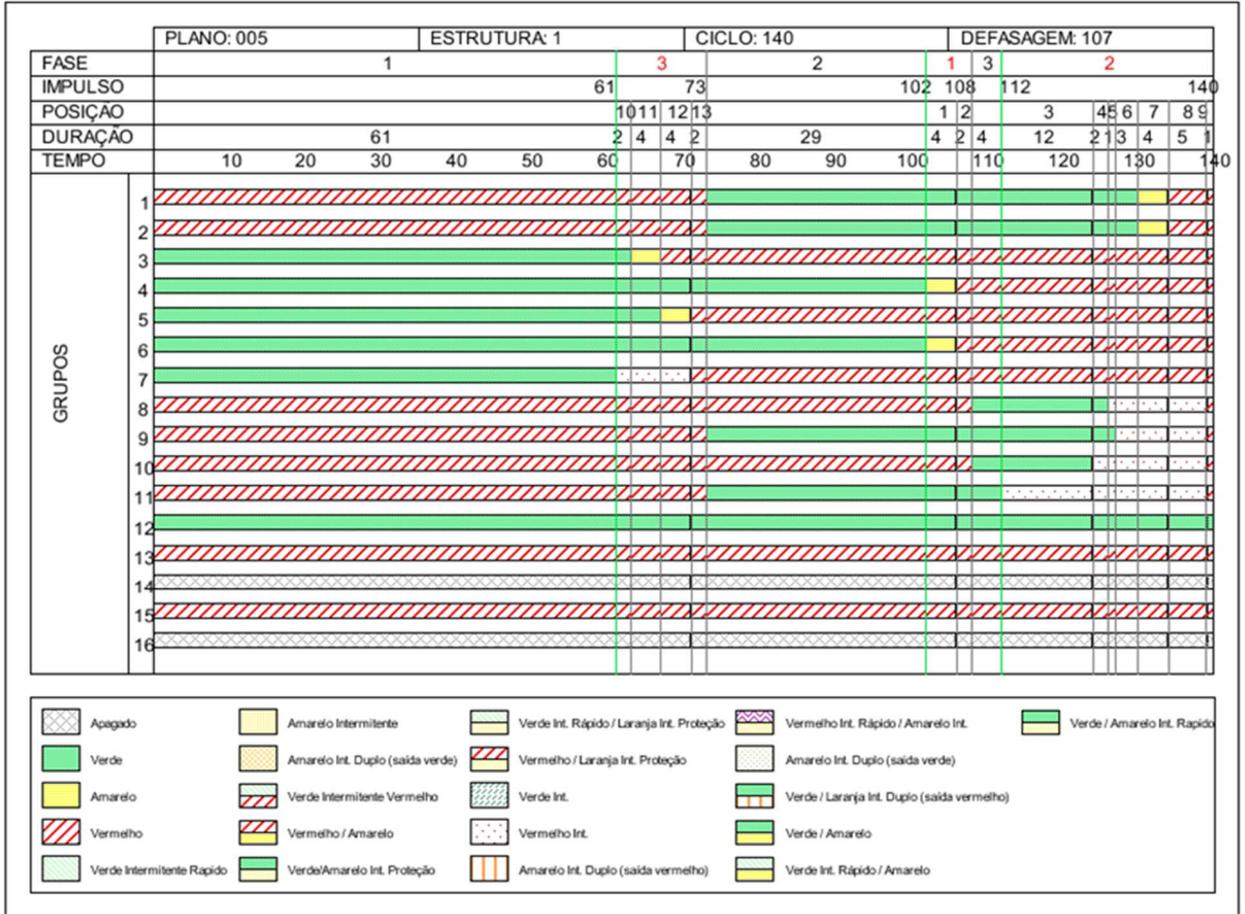


Figura 19: Programação semafórica da Interseção 1- período de pico da tarde.
Fonte: COR-Rio (2017).

- Interseção 2: Avenida Almirante Barroso X Avenida Rio Branco– Semáforos G5 e G6

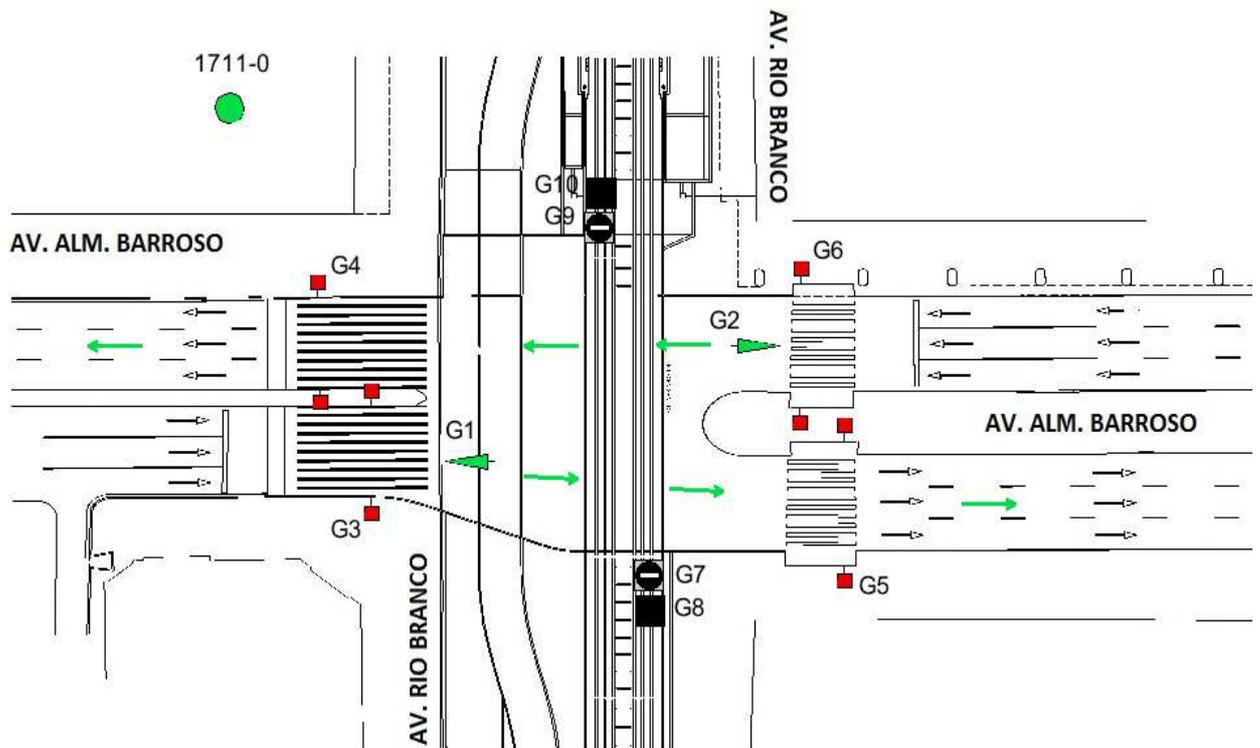


Figura 20: Croquis dos grupos semafórico da Interseção 2: Avenida Almirante Barroso x Avenida Rio Branco.

Fonte: COR-Rio (2017).

Cruzamento: 1711-0

PLANO: Actual: 001

Descrição: Av. Rio Branco X Av. Alm. Barroso

Comentário:

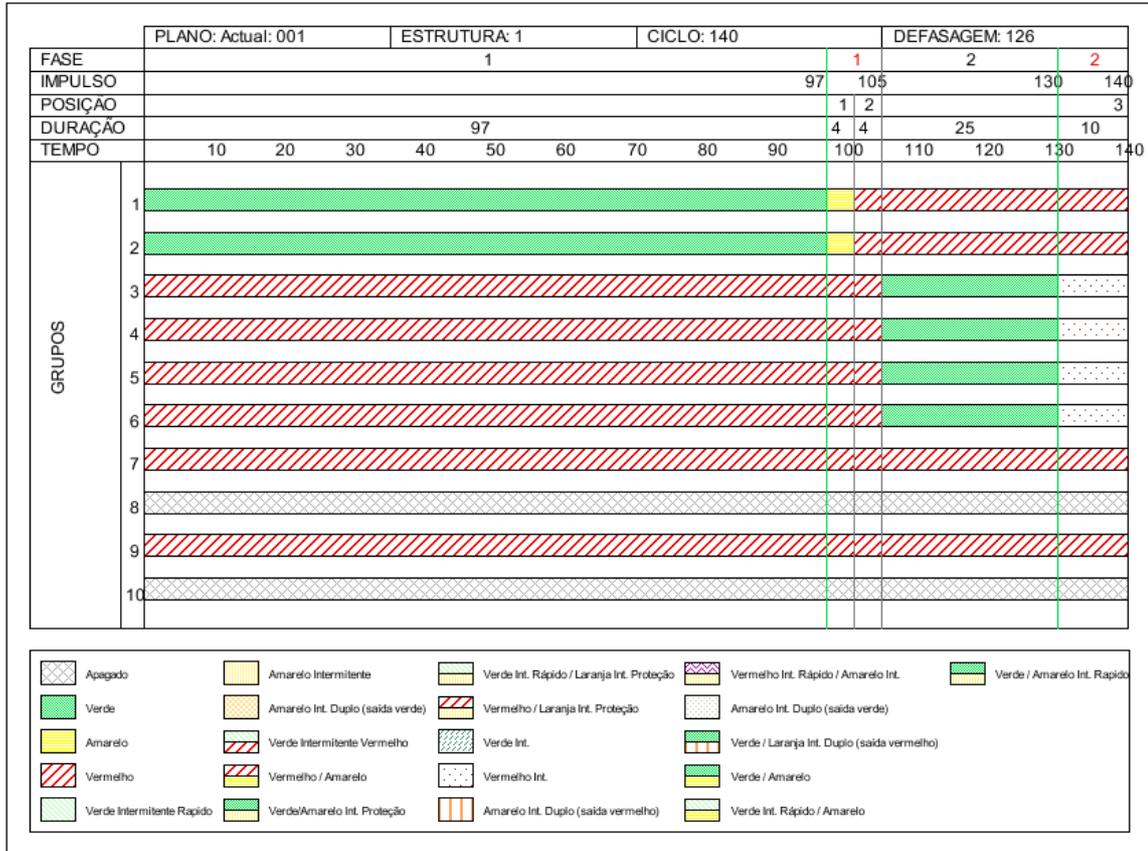


Figura 21: Programação semafórica da Interseção 2 - período de pico da manhã.
Fonte: COR-Rio (2017).

Cruzamento: 1711-0

PLANO: 005

Descrição: Av. Rio Branco X Av. Alm. Barroso

Comentário:

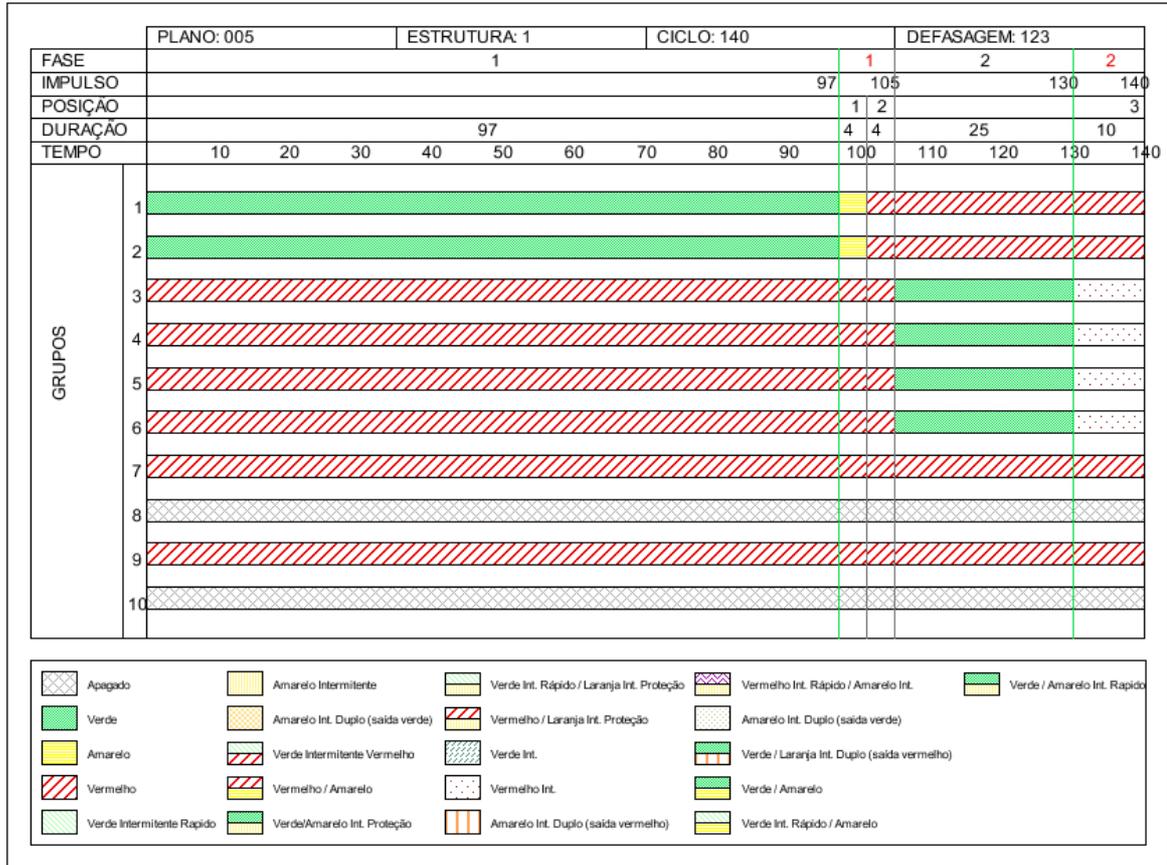


Figura 22: Programação semafórica da Interseção 2 - período de pico da tarde.

Fonte: COR-Rio (2017).

ANEXO 2

Tabela 28: Duração dos ciclos e distribuição das fases – Interseção 1 – Semáforo G8 (manhã).

Ciclo	Duração (s)	Δt verm. (s)	Δt verde (s)	Δt verm. int. (s)
1	1:35	0:59	0:26	0:10
2	3:47	3:11	0:27	0:09
3	2:46	2:10	0:30	0:06
4	2:38	1:44	0:44	0:10
5	2:01	1:26	0:29	0:06
6	1:57	1:22	0:21	0:14
7	2:40	2:06	0:29	0:05
8	2:55	2:14	0:35	0:06
9	3:02	2:26	0:30	0:06
10	1:38	1:02	0:30	0:06
11	3:51	3:08	0:35	0:08
12	1:44	1:08	0:25	0:11
13	2:56	2:18	0:28	0:10
14	2:37	2:00	0:32	0:05
15	2:50	2:12	0:30	0:08
16	2:13	2:00	0:10	0:05
17	2:07	1:26	0:29	0:12
18	2:16	1:39	0:24	0:13
19	2:04	0:54	1:02	0:08
20	1:43	1:06	0:28	0:09

Tabela 29: Duração dos ciclos e distribuição das fases – Interseção 1 – Semáforo G8 (tarde).

Ciclo	Duração (s)	Δt verm. (s)	Δt verde (s)	Δt verm. int. (s)
1	5:02	4:29	0:20	0:13
2	2:07	1:34	0:20	0:13
3	1:38	1:16	0:08	0:14
4	1:57	1:36	0:07	0:14
5	3:39	3:07	0:19	0:13
6	2:42	2:09	0:20	0:13
7	1:57	1:26	0:18	0:13
8	3:01	2:28	0:20	0:13
9	4:03	3:53	0:08	0:02
10	2:27	1:55	0:19	0:13
11	2:12	1:39	0:20	0:13
12	2:34	2:02	0:19	0:13
13	2:59	2:26	0:20	0:13
14	3:43	2:57	0:31	0:15
15	3:01	2:28	0:20	0:13
16	3:14	2:40	0:21	0:13
17	1:47	1:15	0:19	0:13
18	6:10	5:07	0:50	0:13
19	2:12	1:39	0:20	0:13
20	2:41	2:06	0:20	0:15

Tabela 30: Duração dos ciclos e distribuição das fases – Interseção 1 – Semáforo G9 (manhã).

Ciclo	Duração (s)	Δt verm. (s)	Δt verde (s)	Δt verm. int. (s)
1	1:56	0:32	1:17	0:07
2	2:40	1:32	1:02	0:06
3	1:34	0:23	1:04	0:07
4	3:36	2:42	0:48	0:06
5	1:54	0:43	1:06	0:05
6	3:47	1:12	2:25	0:10
7	3:23	2:13	1:02	0:08
8	2:24	0:43	1:29	0:12
9	3:00	1:15	1:38	0:07
10	1:50	0:43	0:54	0:13
11	2:25	1:20	0:59	0:06
12	3:54	1:17	2:29	0:08
13	3:37	1:51	1:39	0:07
14	2:05	0:56	1:00	0:09
15	2:34	1:11	1:17	0:06
16	3:09	1:18	1:39	0:12
17	1:35	0:30	0:59	0:06
18	2:33	1:00	1:25	0:08
19	2:14	1:03	1:05	0:06
20	2:07	0:28	1:30	0:09

Tabela 31: Duração dos ciclos e distribuição das fases – Interseção 1 – Semáforo G9 (tarde).

Ciclo	Duração (s)	Δt verm. (s)	Δt verde (s)	Δt verm. int. (s)
1	2:10	0:43	1:20	0:07
2	3:45	2:48	0:50	0:07
3	3:17	1:20	1:51	0:06
4	1:10	0:26	0:38	0:06
5	4:30	1:45	2:39	0:06
6	1:36	0:28	1:01	0:07
7	3:11	1:35	1:30	0:06
8	3:05	1:40	1:16	0:09
9	4:20	0:31	3:43	0:06
10	2:45	1:32	1:04	0:09
11	2:33	1:00	1:27	0:06
12	3:13	0:28	2:36	0:09
13	2:55	1:21	1:25	0:09
14	5:09	2:23	2:37	0:09
15	1:53	0:29	1:17	0:07
16	4:02	2:13	1:42	0:07
17	1:58	0:58	0:54	0:06
18	3:26	1:17	2:02	0:07
19	2:17	0:46	1:22	0:09

Tabela 32: Duração dos ciclos e distribuição das fases – Interseção 2 – Semáforos G5/G6 (manhã).

Ciclo	Duração (s)	Δt verm. (s)	Δt verde (s)	Δt verm. int. (s)
1	2:27	1:42	0:36	0:09
2	3:24	2:23	0:52	0:09
3	1:57	1:08	0:40	0:09
4	2:46	1:48	0:49	0:09
5	1:31	0:55	0:27	0:09
6	4:13	3:34	0:31	0:08
7	2:27	1:38	0:40	0:09
8	1:35	0:52	0:33	0:10
9	3:01	2:11	0:40	0:10
10	1:19	0:54	0:17	0:08
11	2:26	1:35	0:44	0:07
12	2:04	1:26	0:31	0:07
13	1:35	0:54	0:32	0:09
14	2:18	1:47	0:23	0:08
15	4:19	3:36	0:35	0:08
16	2:31	1:45	0:36	0:10
17	2:05	1:22	0:35	0:08
18	2:22	1:42	0:30	0:10
19	2:40	1:56	0:35	0:09
20	1:25	0:50	0:26	0:09

Tabela 33: Duração dos ciclos e distribuição das fases – Interseção 2 – Semáforos G5/G6 (tarde).

Ciclo	Duração (s)	Δt verm. (s)	Δt verde (s)	Δt verm. int. (s)
1	2:10	1:23	0:36	0:11
2	0:53	0:13	0:31	0:09
3	1:57	1:15	0:32	0:10
4	2:40	2:08	0:20	0:12
5	2:24	1:40	0:36	0:08
6	1:22	0:41	0:31	0:10
7	1:30	0:55	0:27	0:08
8	2:24	1:47	0:31	0:06
9	3:38	3:00	0:31	0:07
10	3:52	3:11	0:34	0:07
11	2:10	1:15	0:46	0:09
12	1:29	0:42	0:40	0:07
13	3:40	3:10	0:23	0:07
14	1:11	0:46	0:17	0:08
15	4:19	3:32	0:39	0:08
16	1:09	0:27	0:32	0:10
17	3:56	3:15	0:29	0:12
18	1:20	0:47	0:23	0:10
19	4:00	3:18	0:35	0:07
20	3:06	2:34	0:25	0:07

ANEXO 3

A seguir são apresentadas as tabelas estendidas utilizadas no modelo DEA para resolução do estudo de caso. Estas contém os dados de entrada (retirados das filmagens) e os de saída (após rodar o modelo DEA CCR_I no *software* SIAD).

Tabela 34: Dados do semáforo G5+G6 (manhã) aplicados ao modelo DEA CCR_I: DMU's, variáveis, indicadores de eficiência, pesos das variáveis.

DMU	X1	Z1	Y1	Y2	INDICADORES DE EFICIÊNCIA				PESOS DAS VARIÁVEIS			
	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Tempo da fase vermelho e intermitente(s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde
DMU_1	111	22	36	16	0,6217	0,6084	0,5067	0,5853	0,0089	0,0007	0,0173	0,0000
DMU_2	152	44	52	30	0,6513	0,4872	0,5821	0,6725	0,0064	0,0005	0,0125	0,0000
DMU_3	77	11	40	36	1,0000	0,2688	0,8656	1,0000	0,0130	0,0002	0,0240	0,0011
DMU_4	117	15	49	39	0,8146	0,3334	0,7406	0,8556	0,0078	0,0060	0,0166	0,0000
DMU_5	64	11	27	19	0,8103	0,3439	0,7332	0,8471	0,0154	0,0012	0,0300	0,0000
DMU_6	222	63	31	23	0,2664	1,0000	0,1332	0,1539	0,0045	0,0001	0,0083	0,0004
DMU_7	107	27	40	27	0,7137	0,3998	0,6569	0,7589	0,0092	0,0007	0,0178	0,0000
DMU_8	62	29	33	15	1,0000	0,5110	0,7445	0,8601	0,0161	0,0000	0,0303	0,0000
DMU_9	141	24	40	24	0,5450	0,5720	0,4865	0,5620	0,0070	0,0005	0,0136	0,0000
DMU_10	62	15	17	13	0,5240	0,5093	0,5073	0,5861	0,0161	0,0002	0,0298	0,0014
DMU_11	102	26	44	21	0,8234	0,4375	0,6930	0,8006	0,0096	0,0007	0,0187	0,0000
DMU_12	93	40	31	16	0,6283	0,7187	0,4548	0,5254	0,0107	0,0001	0,0198	0,0009
DMU_13	63	7	32	45	1,0000	0,2749	0,8625	0,9965	0,0159	0,0000	0,0000	0,0222
DMU_14	115	39	23	10	0,3794	1,0000	0,1897	0,2191	0,0085	0,0006	0,0165	0,0000
DMU_15	224	75	35	28	0,2987	1,0000	0,1493	0,1725	0,0045	0,0000	0,0082	0,0004
DMU_16	115	24	36	35	0,6040	0,4461	0,5790	0,6688	0,0087	0,0001	0,0161	0,0007
DMU_17	90	28	35	33	0,7486	0,3819	0,6833	0,7894	0,0111	0,0000	0,0204	0,0011
DMU_18	112	17	30	32	0,5193	0,5213	0,4990	0,5765	0,0089	0,0001	0,0165	0,0008
DMU_19	125	52	35	14	0,5281	0,9524	0,2878	0,3325	0,0078	0,0006	0,0151	0,0000

Tabela 35: Dados do semáforo G5+G6 (manhã) aplicados ao modelo DEA CCR_I: *benchmarks*.

DMU	Benchmarks		
	DMU_3	DMU_8	DMU_13
DMU_1	0,7436	0,1896	0,0000
DMU_2	0,7055	0,7206	0,0000
DMU_3	1,0000	0,0000	0,0000
DMU_4	0,6665	0,0000	0,6982
DMU_5	0,6134	0,0747	0,0000
DMU_6	0,3629	0,4218	0,0802
DMU_7	0,6576	0,4151	0,0000
DMU_8	0,0000	1,0000	0,0000
DMU_9	0,9139	0,1044	0,0000
DMU_10	0,2902	0,1601	0,0033
DMU_11	0,7146	0,4672	0,0000
DMU_12	0,0666	0,8357	0,0237
DMU_13	0,0000	0,0000	1,0000
DMU_14	0,2243	0,4251	0,0000
DMU_15	0,0000	0,6756	0,3970
DMU_16	0,3575	0,2670	0,4028
DMU_17	0,0000	0,5164	0,5612
DMU_18	0,4069	0,0620	0,3649
DMU_19	0,1365	0,8951	0,0000

Tabela 36: Dados do semáforo G5+G6 (manhã) obtidos do modelo DEA CCR_I: alvos e folgas.

	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
DMU_1 - Efic. 0,621719	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	111,000	69,011	0,000	69,011
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	22,000	13,678	0,000	13,678
	Tempo da Fase verde (s)	36,000	36,000	0,000	36,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	16,000	16,000	13,613	29,613
DMU_2 - Efic. 0,651323	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	152,000	99,001	0,000	99,001
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	44,000	28,658	0,000	28,658
	Tempo da Fase verde (s)	52,000	52,000	0,000	52,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	30,000	30,000	6,207	36,207
DMU_3 - Efic. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	77,000	77,000	0,000	77,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	11,000	11,000	0,000	11,000
	Tempo da Fase verde (s)	40,000	40,000	0,000	40,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	36,000	36,000	0,000	36,000
DMU_4 - Efic. 0,814551	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	117,000	95,302	0,000	95,302
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	15,000	12,218	0,000	12,218
	Tempo da Fase verde (s)	49,000	49,000	0,000	49,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	39,000	39,000	16,411	55,411
DMU_5 - Efic. 0,810329	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	64,000	51,861	0,000	51,861
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	11,000	8,914	0,000	8,914
	Tempo da Fase verde (s)	27,000	27,000	0,000	27,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	19,000	19,000	4,202	23,202
DMU_6 - Efic. 0,266415	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	222,000	59,144	0,000	59,144
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	63,000	16,784	0,000	16,784
	Tempo da Fase verde (s)	31,000	31,000	0,000	31,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	23,000	23,000	0,000	23,000
DMU_7 - Efic. 0,713711	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	107,000	76,367	0,000	76,367
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	27,000	19,270	0,000	19,270
	Tempo da Fase verde (s)	40,000	40,000	0,000	40,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	27,000	27,000	2,899	29,899
DMU_8 - Efic. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	62,000	62,000	0,000	62,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	29,000	29,000	0,000	29,000
	Tempo da Fase verde (s)	33,000	33,000	0,000	33,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	15,000	15,000	0,000	15,000
DMU_9 - Efic. 0,544971	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	141,000	76,841	0,000	76,841
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	24,000	13,079	0,000	13,079
	Tempo da Fase verde (s)	40,000	40,000	0,000	40,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	24,000	24,000	10,466	34,466
DMU_10 - Efic. 0,523959	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	62,000	32,485	0,000	32,485
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	15,000	7,859	0,000	7,859
	Tempo da Fase verde (s)	17,000	17,000	0,000	17,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	13,000	13,000	0,000	13,000
DMU_11 - Efic. 0,823407	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	102,000	83,988	0,000	83,988
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	26,000	21,409	0,000	21,409
	Tempo da Fase verde (s)	44,000	44,000	0,000	44,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	21,000	21,000	11,732	32,732
DMU_12 - Efic. 0,628321	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	93,000	58,434	0,000	58,434
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	40,000	25,133	0,000	25,133
	Tempo da Fase verde (s)	31,000	31,000	0,000	31,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	16,000	16,000	0,000	16,000
DMU_13 - Efic. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	63,000	63,000	0,000	63,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	7,000	7,000	0,000	7,000
	Tempo da Fase verde (s)	32,000	32,000	0,000	32,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	45,000	45,000	0,000	45,000
DMU_14 - Efic. 0,379363	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	115,000	43,627	0,000	43,627
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	39,000	14,795	0,000	14,795
	Tempo da Fase verde (s)	23,000	23,000	0,000	23,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	10,000	10,000	4,451	14,451
DMU_15 - Efic. 0,298663	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	224,000	66,900	0,000	66,900
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	75,000	22,400	0,028	22,372
	Tempo da Fase verde (s)	35,000	35,000	0,000	35,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	28,000	28,000	0,000	28,000
DMU_16 - Efic. 0,603971	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	115,000	69,457	0,000	69,457
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	24,000	14,495	0,000	14,495
	Tempo da Fase verde (s)	36,000	36,000	0,000	36,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	35,000	35,000	0,000	35,000
DMU_17 - Efic. 0,74859	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	90,000	67,373	0,000	67,373
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	28,000	20,961	2,056	18,904
	Tempo da Fase verde (s)	35,000	35,000	0,000	35,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	33,000	33,000	0,000	33,000
DMU_18 - Efic. 0,519342	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	112,000	58,166	0,000	58,166
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	17,000	8,829	0,000	8,829
	Tempo da Fase verde (s)	30,000	30,000	0,000	30,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	32,000	32,000	0,000	32,000
DMU_19 - Efic. 0,52808	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	125,000	66,010	0,000	66,010
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	52,000	27,460	0,000	27,460
	Tempo da Fase verde (s)	35,000	35,000	0,000	35,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	14,000	14,000	4,342	18,342

Tabela 37: Dados do semáforo G5+G6 (tarde) aplicados ao modelo DEA CCR_I: DMU's, dados de entrada, indicadores de eficiência e pesos das variáveis.

DMU	X1	Z1	Y1	Y2	INDICADORES DE EFICIÊNCIA				PESOS DAS VARIÁVEIS			
	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde
DMU_1	94	40	36	15	0,4203	0,5511	0,4346	0,4677	0,0098	0,0019	0,0117	0,0000
DMU_2	22	78	31	23	1,0000	0,9058	0,5471	0,5888	0,0272	0,0051	0,0323	0,0000
DMU_3	85	35	32	14	0,4142	0,5413	0,4364	0,4697	0,0109	0,0021	0,0129	0,0000
DMU_4	140	11	20	23	0,3372	0,8173	0,2600	0,2798	0,0000	0,0909	0,0000	0,0147
DMU_5	108	17	36	18	0,3838	0,4562	0,4638	0,4991	0,0090	0,0017	0,0107	0,0000
DMU_6	51	29	31	12	0,6508	0,4104	0,6202	0,6674	0,0177	0,0034	0,0210	0,0000
DMU_7	63	75	27	8	0,4148	1,0000	0,2074	0,2232	0,0130	0,0025	0,0154	0,0000
DMU_8	113	53	31	11	0,2988	0,8572	0,2208	0,2376	0,0081	0,0015	0,0096	0,0000
DMU_9	187	24	31	15	0,2018	0,9204	0,1407	0,1515	0,0000	0,0417	0,0065	0,0000
DMU_10	198	24	34	9	0,2214	1,0000	0,1107	0,1191	0,0000	0,0417	0,0065	0,0000
DMU_11	84	37	46	21	0,5994	0,3772	0,6111	0,6576	0,0110	0,0021	0,0130	0,0000
DMU_12	49	12	40	22	0,9251	0,1940	0,8656	0,9315	0,0195	0,0037	0,0231	0,0000
DMU_13	197	40	23	25	0,1507	1,0000	0,0754	0,0811	0,0050	0,0004	0,0000	0,0060
DMU_14	54	7	17	7	0,3795	0,5031	0,4382	0,4715	0,0000	0,1429	0,0223	0,0000
DMU_15	220	70	39	25	0,1983	0,9122	0,1430	0,1539	0,0043	0,0008	0,0051	0,0000
DMU_16	37	5	32	31	1,0000	0,1415	0,9292	1,0000	0,0264	0,0050	0,0313	0,0000
DMU_17	207	64	29	28	0,1594	1,0000	0,0797	0,0858	0,0047	0,0003	0,0000	0,0057
DMU_18	57	15	23	16	0,4558	0,3669	0,5445	0,5859	0,0167	0,0032	0,0198	0,0000
DMU_19	205	65	35	18	0,1910	1,0000	0,0955	0,1028	0,0046	0,0009	0,0055	0,0000

Tabela 38: Dados do semáforo G5+G6 (tarde) aplicados ao modelo DEA CCR_I: benchmarks.

Benchmarks		
DMU	DMU_2	DMU_16
DMU_1	0,1529	0,9769
DMU_2	1,0000	0,0000
DMU_3	0,1298	0,8743
DMU_4	0,0000	0,7419
DMU_5	0,0123	1,1131
DMU_6	0,1918	0,7830
DMU_7	0,3676	0,4877
DMU_8	0,1503	0,8232
DMU_9	0,0000	0,9688
DMU_10	0,0000	1,0625
DMU_11	0,2049	1,2390
DMU_12	0,0663	1,1858
DMU_13	0,0269	0,7865
DMU_14	0,0000	0,5313
DMU_15	0,1064	1,1157
DMU_16	0,0000	1,0000
DMU_17	0,0766	0,8464
DMU_18	0,0443	0,6758
DMU_19	0,0949	1,0018

Tabela 39: Dados do semáforo G5+G6 (tarde) obtidos do modelo DEA CCR_I: alvos e folgas.

	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
DMU_1 - EFC. 0,420298	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	94,000	39,508	0,000	39,508
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	40,000	16,812	0,000	16,812
	Tempo da Fase verde (s)	36,000	36,000	0,000	36,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	15,000	15,000	18,800	33,800
DMU_2 - EFC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	22,000	22,000	0,000	22,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	78,000	78,000	0,000	78,000
	Tempo da Fase verde (s)	31,000	31,000	0,000	31,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	23,000	23,000	0,000	23,000
DMU_3 - EFC. 0,414155	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	85,000	35,203	0,000	35,203
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	35,000	14,495	0,000	14,495
	Tempo da Fase verde (s)	32,000	32,000	0,000	32,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	14,000	14,000	16,087	30,087
DMU_4 - EFC. 0,337243	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	140,000	47,214	19,762	27,452
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	11,000	3,710	0,000	3,710
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	3,742	23,742
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	23,000	23,000	0,000	23,000
DMU_5 - EFC. 0,383839	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	108,000	41,455	0,000	41,455
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	17,000	6,525	0,000	6,525
	Tempo da Fase verde (s)	36,000	36,000	0,000	36,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	18,000	18,000	16,788	34,788
DMU_6 - EFC. 0,650766	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	51,000	33,189	0,000	33,189
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	29,000	18,872	0,000	18,872
	Tempo da Fase verde (s)	31,000	31,000	0,000	31,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	12,000	12,000	16,683	28,683
DMU_7 - EFC. 0,414769	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	63,000	26,130	0,000	26,130
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	75,000	31,108	0,000	31,108
	Tempo da Fase verde (s)	27,000	27,000	0,000	27,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	8,000	8,000	15,572	23,572
DMU_8 - EFC. 0,298793	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	113,000	33,764	0,000	33,764
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	53,000	15,836	0,000	15,836
	Tempo da Fase verde (s)	31,000	31,000	0,000	31,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	11,000	11,000	17,975	28,975
DMU_9 - EFC. 0,201823	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	187,000	37,741	1,897	35,844
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	24,000	4,844	0,000	4,844
	Tempo da Fase verde (s)	31,000	31,000	0,000	31,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	15,000	15,000	15,031	30,031
DMU_10 - EFC. 0,221354	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	198,000	43,828	4,516	39,313
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	24,000	5,313	0,000	5,313
	Tempo da Fase verde (s)	34,000	34,000	0,000	34,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	9,000	9,000	23,938	32,938
DMU_11 - EFC. 0,599413	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	84,000	50,351	0,000	50,351
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	37,000	22,178	0,000	22,178
	Tempo da Fase verde (s)	46,000	46,000	0,000	46,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	21,000	21,000	22,122	43,122
DMU_12 - EFC. 0,925141	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	49,000	45,332	0,000	45,332
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	12,000	11,102	0,000	11,102
	Tempo da Fase verde (s)	40,000	40,000	0,000	40,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	22,000	22,000	16,284	38,284
DMU_13 - EFC. 0,150722	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	197,000	29,692	0,000	29,692
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	40,000	6,029	0,000	6,029
	Tempo da Fase verde (s)	23,000	23,000	3,002	26,002
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	25,000	25,000	0,000	25,000
DMU_14 - EFC. 0,379464	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	54,000	20,491	0,835	19,656
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	7,000	2,656	0,000	2,656
	Tempo da Fase verde (s)	17,000	17,000	0,000	17,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	7,000	7,000	9,469	16,469
DMU_15 - EFC. 0,198275	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	220,000	43,620	0,000	43,620
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	70,000	13,879	0,000	13,879
	Tempo da Fase verde (s)	39,000	39,000	0,000	39,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	25,000	25,000	12,033	37,033
DMU_16 - EFC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	37,000	37,000	0,000	37,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	5,000	5,000	0,000	5,000
	Tempo da Fase verde (s)	32,000	32,000	0,000	32,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	31,000	31,000	0,000	31,000
DMU_17 - EFC. 0,15943	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	207,000	33,002	0,000	33,002
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	64,000	10,204	0,000	10,204
	Tempo da Fase verde (s)	29,000	29,000	0,459	29,459
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	28,000	28,000	0,000	28,000
DMU_18 - EFC. 0,45579	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	57,000	25,980	0,000	25,980
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	15,000	6,837	0,000	6,837
	Tempo da Fase verde (s)	23,000	23,000	0,000	23,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	16,000	16,000	5,970	21,970
DMU_19 - EFC. 0,190997	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	205,000	39,154	0,000	39,154
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	65,000	12,415	0,000	12,415
	Tempo da Fase verde (s)	35,000	35,000	0,000	35,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	18,000	18,000	15,239	33,239

Tabela 40: Dados do semáforo G8 (manhã) aplicados ao modelo DEA CCR_I: DMU's, dados de entrada, indicadores de eficiência e pesos das variáveis.

DMU	X1	Z1	Y1	Y2	INDICADORES DE EFICIÊNCIA				PESOS DAS VARIÁVEIS			
	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde
DMU_1	69	26	26	61	1,0000	0,2268	0,8866	0,9617	0,0145	0,0000	0,0000	0,0164
DMU_2	200	87	27	12	0,1602	1,0000	0,0801	0,0869	0,0000	0,0115	0,0059	0,0000
DMU_3	136	20	30	60	1,0000	0,4152	0,7924	0,8596	0,0026	0,0321	0,0000	0,0167
DMU_4	114	31	44	56	0,9043	0,2793	0,8125	0,8814	0,0025	0,0230	0,0097	0,0085
DMU_5	92	34	29	37	0,5887	0,3417	0,6235	0,6764	0,0025	0,0227	0,0096	0,0084
DMU_6	96	37	21	5	0,2929	1,0000	0,1465	0,1589	0,0000	0,0270	0,0139	0,0000
DMU_7	131	25	29	53	0,8101	0,4290	0,6906	0,7491	0,0028	0,0254	0,0108	0,0094
DMU_8	140	85	35	15	0,2500	0,7809	0,2345	0,2544	0,0071	0,0000	0,0071	0,0000
DMU_9	152	41	30	77	0,7475	0,4153	0,6661	0,7225	0,0015	0,0187	0,0000	0,0097
DMU_10	68	36	30	45	0,8274	0,2960	0,7657	0,8306	0,0147	0,0000	0,0073	0,0135
DMU_11	196	102	35	34	0,2481	0,8012	0,2235	0,2424	0,0051	0,0000	0,0025	0,0047
DMU_12	79	35	25	10	0,3687	0,4815	0,4436	0,4812	0,0000	0,0286	0,0147	0,0000
DMU_13	148	36	28	71	0,7656	0,4358	0,6649	0,7213	0,0017	0,0208	0,0000	0,0108
DMU_14	125	48	32	32	0,4112	0,4510	0,4801	0,5208	0,0018	0,0162	0,0069	0,0060
DMU_15	140	69	30	27	0,2836	0,6422	0,3207	0,3479	0,0071	0,0000	0,0035	0,0066
DMU_16	125	50	10	27	0,2443	1,0000	0,1222	0,1325	0,0080	0,0000	0,0000	0,0090
DMU_17	98	64	29	13	0,2959	0,6843	0,3058	0,3317	0,0102	0,0000	0,0102	0,0000
DMU_18	112	56	24	24	0,3033	0,6375	0,3329	0,3611	0,0089	0,0000	0,0044	0,0082
DMU_19	62	32	62	34	1,0000	0,1562	0,9219	1,0000	0,0161	0,0000	0,0161	0,0000

Tabela 41: Dados do semáforo G8 (manhã) aplicados ao modelo DEA CCR_I: benchmarks.

Benchmarks			
DMU	DMU_1	DMU_3	DMU_19
DMU_1	1,0000	0,0000	0,0000
DMU_2	0,0000	0,0000	0,0000
DMU_3	0,0000	1,0000	0,0000
DMU_4	0,2611	0,4516	0,0000
DMU_5	0,3700	0,0873	0,0000
DMU_6	0,0000	0,0000	0,0000
DMU_7	0,1861	0,6522	0,0000
DMU_8	0,0000	0,0000	0,0000
DMU_9	0,8793	0,3894	0,0000
DMU_10	0,6108	0,0000	0,0000
DMU_11	0,3168	0,0000	0,0000
DMU_12	0,0000	0,0000	0,0000
DMU_13	0,6875	0,4844	0,0000
DMU_14	0,2229	0,0926	0,0000
DMU_15	0,2257	0,0000	0,0000
DMU_16	0,4426	0,0000	0,0000
DMU_17	0,0000	0,0000	0,0000
DMU_18	0,2319	0,0000	0,0000
DMU_19	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 42: Dados do semáforo G8 (manhã) obtidos do modelo DEA CCR_I: alvos e folgas.

	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
DMU_1 - EFC: 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	69,000	69,000	0,000	69,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	26,000	26,000	0,000	26,000
	Tempo da Fase verde (s)	26,000	26,000	0,000	26,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	61,000	61,000	0,000	61,000
DMU_2 - EFC: 0,160178	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	200,000	32,036	5,036	27,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	87,000	13,935	0,000	13,935
	Tempo da Fase verde (s)	27,000	27,000	0,000	27,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	12,000	12,000	2,806	14,806
DMU_3 - EFC: 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	136,000	136,000	0,000	136,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	20,000	20,000	0,000	20,000
	Tempo da Fase verde (s)	30,000	30,000	0,000	30,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	60,000	60,000	0,000	60,000
DMU_4 - EFC: 0,904334	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	114,000	103,094	0,000	103,094
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	31,000	28,034	0,000	28,034
	Tempo da Fase verde (s)	44,000	44,000	0,000	44,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	56,000	56,000	0,000	56,000
DMU_5 - EFC: 0,588736	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	92,000	54,164	0,000	54,164
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	34,000	20,017	0,000	20,017
	Tempo da Fase verde (s)	29,000	29,000	0,000	29,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	37,000	37,000	0,000	37,000
DMU_6 - EFC: 0,292938	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	96,000	28,122	7,122	21,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	37,000	10,839	0,000	10,839
	Tempo da Fase verde (s)	21,000	21,000	0,000	21,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	5,000	5,000	6,516	11,516
DMU_7 - EFC: 0,810144	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	131,000	106,129	0,000	106,129
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	25,000	20,254	0,000	20,254
	Tempo da Fase verde (s)	29,000	29,000	0,000	29,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	53,000	53,000	0,000	53,000
DMU_8 - EFC: 0,25	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	140,000	35,000	0,000	35,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	85,000	21,250	3,185	18,065
	Tempo da Fase verde (s)	35,000	35,000	0,000	35,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	15,000	15,000	4,194	19,194
DMU_9 - EFC: 0,747546	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	152,000	113,627	0,000	113,627
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	41,000	30,649	0,000	30,649
	Tempo da Fase verde (s)	30,000	30,000	4,543	34,543
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	77,000	77,000	0,000	77,000
DMU_10 - EFC: 0,827396	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	68,000	56,263	0,000	56,263
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	36,000	29,786	6,619	23,168
	Tempo da Fase verde (s)	30,000	30,000	0,000	30,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	45,000	45,000	0,000	45,000
DMU_11 - EFC: 0,248067	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	196,000	48,621	0,000	48,621
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	102,000	25,303	3,253	22,050
	Tempo da Fase verde (s)	35,000	35,000	0,000	35,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	34,000	34,000	0,000	34,000
DMU_12 - EFC: 0,368664	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	79,000	29,124	4,124	25,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	35,000	12,903	0,000	12,903
	Tempo da Fase verde (s)	25,000	25,000	0,000	25,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	10,000	10,000	3,710	13,710
DMU_13 - EFC: 0,765025	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	148,000	113,313	0,000	113,313
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	36,000	27,563	0,000	27,563
	Tempo da Fase verde (s)	28,000	28,000	4,406	32,406
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	71,000	71,000	0,000	71,000
DMU_14 - EFC: 0,411217	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	125,000	51,402	0,000	51,402
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	48,000	19,738	0,000	19,738
	Tempo da Fase verde (s)	32,000	32,000	0,000	32,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	32,000	32,000	0,000	32,000
DMU_15 - EFC: 0,2836	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	140,000	39,704	0,000	39,704
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	69,000	19,568	1,245	18,323
	Tempo da Fase verde (s)	30,000	30,000	0,000	30,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	27,000	27,000	0,000	27,000
DMU_16 - EFC: 0,244328	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	125,000	30,541	0,000	30,541
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	50,000	12,216	0,708	11,508
	Tempo da Fase verde (s)	10,000	10,000	1,508	11,508
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	27,000	27,000	0,000	27,000
DMU_17 - EFC: 0,295918	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	98,000	29,000	0,000	29,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	64,000	18,939	3,971	14,968
	Tempo da Fase verde (s)	29,000	29,000	0,000	29,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	13,000	13,000	2,903	15,903
DMU_18 - EFC: 0,303313	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	112,000	33,971	0,000	33,971
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	56,000	16,986	1,681	15,304
	Tempo da Fase verde (s)	24,000	24,000	0,000	24,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	24,000	24,000	0,000	24,000
DMU_19 - EFC: 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	62,000	62,000	0,000	62,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	32,000	32,000	0,000	32,000
	Tempo da Fase verde (s)	62,000	62,000	0,000	62,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	34,000	34,000	0,000	34,000

Tabela 43: Dados do semáforo G8 (tarde) aplicados ao modelo DEA CCR_I: DMU's, dados de entrada, indicadores de eficiência e pesos das variáveis.

DMU	X1	Z1	Y1	Y2	INDICADORES DE EFICIÊNCIA				PESOS DAS VARIÁVEIS			
	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde
DMU_1	282	189	20	48	0,3762	0,9857	0,1953	0,2166	0,0035	0,0000	0,0138	0,0021
DMU_2	107	57	20	41	0,9527	0,3364	0,8082	0,8963	0,0093	0,0000	0,0363	0,0055
DMU_3	90	59	8	16	0,4504	0,8872	0,2816	0,3123	0,0111	0,0000	0,0432	0,0066
DMU_4	110	71	7	22	0,3862	0,8820	0,2521	0,2796	0,0091	0,0000	0,0000	0,0176
DMU_5	200	104	19	25	0,4430	0,8927	0,2751	0,3051	0,0050	0,0000	0,0194	0,0030
DMU_6	142	56	20	34	0,6887	0,3996	0,6446	0,7149	0,0070	0,0000	0,0274	0,0042
DMU_7	99	55	18	35	0,9154	0,3756	0,7699	0,8538	0,0101	0,0000	0,0392	0,0060
DMU_8	161	68	20	22	0,5801	0,6485	0,4658	0,5166	0,0039	0,0054	0,0290	0,0000
DMU_9	235	92	8	24	0,1972	1,0000	0,0986	0,1094	0,0043	0,0000	0,0000	0,0082
DMU_10	128	56	19	45	0,7846	0,3107	0,7369	0,8173	0,0078	0,0000	0,0303	0,0046
DMU_11	112	26	20	58	1,0000	0,1966	0,9017	1,0000	0,0089	0,0000	0,0000	0,0172
DMU_12	135	76	19	38	0,7132	0,4812	0,6160	0,6832	0,0074	0,0000	0,0288	0,0044
DMU_13	159	77	20	12	0,5826	1,0000	0,2913	0,3231	0,0063	0,0000	0,0291	0,0000
DMU_14	192	66	31	67	0,8336	0,2830	0,7753	0,8598	0,0052	0,0000	0,0202	0,0031
DMU_15	161	56	20	52	0,6736	0,3120	0,6808	0,7550	0,0062	0,0000	0,0241	0,0037
DMU_16	173	82	21	39	0,6049	0,4970	0,5540	0,6143	0,0058	0,0000	0,0225	0,0034
DMU_17	88	38	19	24	1,0000	0,3354	0,8323	0,9231	0,0114	0,0000	0,0441	0,0067
DMU_18	320	124	50	63	0,7526	0,4624	0,6451	0,7154	0,0020	0,0028	0,0151	0,0000
DMU_19	112	43	20	21	0,8629	0,4679	0,6975	0,7735	0,0058	0,0081	0,0431	0,0000

Tabela 44: Dados do semáforo G8 (tarde) aplicados ao modelo DEA CCR_I: *benchmarks*.

Benchmarks		
DMU	DMU_11	DMU_17
DMU_1	0,6945	0,3215
DMU_2	0,4807	0,5466
DMU_3	0,1801	0,2315
DMU_4	0,3793	0,0000
DMU_5	0,0305	0,9678
DMU_6	0,2669	0,7717
DMU_7	0,3746	0,5531
DMU_8	0,0395	1,0111
DMU_9	0,4138	0,0000
DMU_10	0,6415	0,3248
DMU_11	1,0000	0,0000
DMU_12	0,4277	0,5498
DMU_13	0,0000	1,0526
DMU_14	0,8505	0,7363
DMU_15	0,8167	0,1929
DMU_16	0,3810	0,7042
DMU_17	0,0000	1,0000
DMU_18	0,4772	2,1292
DMU_19	0,2069	0,8348

Tabela 45: Dados do semáforo G8 (tarde) obtidos do modelo DEA CCR_I: alvos e folgas.

	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
DMU_1 - EFIC. 0,376183	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	282,000	106,084	0,000	106,084
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	189,000	71,099	40,822	30,277
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	48,000	48,000	0,000	48,000
DMU_2 - EFIC. 0,95273	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	107,000	101,942	0,000	101,942
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	57,000	54,306	21,036	33,270
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	41,000	41,000	0,000	41,000
DMU_3 - EFIC. 0,450447	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	90,000	40,540	0,000	40,540
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	59,000	26,576	13,097	13,479
	Tempo da Fase verde (s)	8,000	8,000	0,000	8,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	16,000	16,000	0,000	16,000
DMU_4 - EFIC. 0,386207	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	110,000	42,483	0,000	42,483
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	71,000	27,421	17,559	9,862
	Tempo da Fase verde (s)	7,000	7,000	0,586	7,586
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	22,000	22,000	0,000	22,000
DMU_5 - EFIC. 0,442958	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	200,000	88,592	0,000	88,592
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	104,000	46,068	8,495	37,572
	Tempo da Fase verde (s)	19,000	19,000	0,000	19,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	25,000	25,000	0,000	25,000
DMU_6 - EFIC. 0,688737	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	142,000	97,801	0,000	97,801
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	56,000	38,569	2,306	36,264
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	34,000	34,000	0,000	34,000
DMU_7 - EFIC. 0,915392	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	99,000	90,624	0,000	90,624
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	55,000	50,347	19,591	30,756
	Tempo da Fase verde (s)	18,000	18,000	0,000	18,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	35,000	35,000	0,000	35,000
DMU_8 - EFIC. 0,580103	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	161,000	93,397	0,000	93,397
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	68,000	39,447	0,000	39,447
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	22,000	22,000	4,556	26,556
DMU_9 - EFIC. 0,197212	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	235,000	46,343	0,000	46,343
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	92,000	18,144	7,385	10,759
	Tempo da Fase verde (s)	8,000	8,000	0,276	8,276
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	24,000	24,000	0,000	24,000
DMU_10 - EFIC. 0,784566	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	128,000	100,424	0,000	100,424
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	56,000	43,936	14,916	29,019
	Tempo da Fase verde (s)	19,000	19,000	0,000	19,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	45,000	45,000	0,000	45,000
DMU_11 - EFIC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	112,000	112,000	0,000	112,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	26,000	26,000	0,000	26,000
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	58,000	58,000	0,000	58,000
DMU_12 - EFIC. 0,713207	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	135,000	96,283	0,000	96,283
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	76,000	54,204	22,191	32,013
	Tempo da Fase verde (s)	19,000	19,000	0,000	19,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	38,000	38,000	0,000	38,000
DMU_13 - EFIC. 0,582589	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	159,000	92,632	0,000	92,632
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	77,000	44,859	4,859	40,000
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	12,000	12,000	13,263	25,263
DMU_14 - EFIC. 0,833601	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	192,000	160,051	0,000	160,051
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	66,000	55,018	4,924	50,093
	Tempo da Fase verde (s)	31,000	31,000	0,000	31,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	67,000	67,000	0,000	67,000
DMU_15 - EFIC. 0,673603	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	161,000	108,450	0,000	108,450
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	56,000	37,722	9,156	28,566
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	52,000	52,000	0,000	52,000
DMU_16 - EFIC. 0,604873	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	173,000	104,643	0,000	104,643
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	82,000	49,600	12,934	36,666
	Tempo da Fase verde (s)	21,000	21,000	0,000	21,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	39,000	39,000	0,000	39,000
DMU_17 - EFIC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	88,000	88,000	0,000	88,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	38,000	38,000	0,000	38,000
	Tempo da Fase verde (s)	19,000	19,000	0,000	19,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	24,000	24,000	0,000	24,000
DMU_18 - EFIC. 0,75257	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	320,000	240,822	0,000	240,822
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	124,000	93,319	0,000	93,319
	Tempo da Fase verde (s)	50,000	50,000	0,000	50,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	63,000	63,000	15,781	78,781
DMU_19 - EFIC. 0,862855	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	112,000	96,640	0,000	96,640
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	43,000	37,103	0,000	37,103
	Tempo da Fase verde (s)	20,000	20,000	0,000	20,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	21,000	21,000	11,038	32,038

Tabela 46: Dados do semáforo G9 (manhã) aplicados ao modelo DEA CCR_I: DMU's, dados de entrada, indicadores de eficiência e pesos das variáveis.

DMU	X1	Z1	Y1	Y2	INDICADORES DE EFICIÊNCIA				PESOS DAS VARIÁVEIS			
	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde
DMU_1	39	10	77	84	1,0000	0,1450	0,9275	1,0000	0,0256	0,0000	0,0000	0,0119
DMU_2	98	2	62	80	0,7571	0,4516	0,6527	0,7151	0,0085	0,0826	0,0000	0,0095
DMU_3	30	0	64	27	1,0000	0,2579	0,8710	0,9542	0,0333	0,0000	0,0156	0,0000
DMU_4	168	43	48	39	0,1402	1,0000	0,0701	0,0768	0,0060	0,0000	0,0026	0,0003
DMU_5	48	6	66	38	0,6565	0,2932	0,6816	0,7467	0,0208	0,0000	0,0093	0,0012
DMU_6	82	13	145	73	0,8370	0,2608	0,7881	0,8634	0,0122	0,0000	0,0054	0,0007
DMU_7	141	2	62	77	0,5334	0,6498	0,4418	0,4840	0,0062	0,0605	0,0000	0,0069
DMU_8	55	5	89	80	0,9334	0,1766	0,8784	0,9623	0,0154	0,0310	0,0043	0,0069
DMU_9	82	3	98	100	1,0000	0,2391	0,8805	0,9645	0,0093	0,0778	0,0000	0,0100
DMU_10	56	1	54	36	0,6088	0,3611	0,6238	0,6834	0,0152	0,1477	0,0000	0,0169
DMU_11	86	4	59	71	0,6366	0,4165	0,6101	0,6683	0,0084	0,0698	0,0000	0,0090
DMU_12	85	8	149	115	0,9216	0,1716	0,8750	0,9586	0,0099	0,0200	0,0028	0,0044
DMU_13	118	6	99	68	0,4471	0,4028	0,5221	0,5720	0,0077	0,0155	0,0021	0,0034
DMU_14	65	4	60	45	0,5057	0,3353	0,5852	0,6411	0,0137	0,0276	0,0038	0,0061
DMU_15	77	3	77	73	0,7672	0,2857	0,7408	0,8115	0,0098	0,0822	0,0003	0,0102
DMU_16	90	29	99	53	0,5227	0,4963	0,5132	0,5622	0,0111	0,0000	0,0049	0,0006
DMU_17	36	3	59	57	1,0000	0,1743	0,9128	1,0000	0,0238	0,0480	0,0066	0,0107
DMU_18	68	3	85	78	0,8998	0,2286	0,8356	0,9154	0,0107	0,0901	0,0003	0,0112
DMU_19	69	4	65	68	0,7111	0,3033	0,7039	0,7711	0,0098	0,0814	0,0000	0,0105

Tabela 47: Dados do semáforo G9 (manhã) aplicados ao modelo DEA CCR_I: benchmarks.

DMU	Benchmarks			
	DMU_1	DMU_3	DMU_9	DMU_17
DMU_1	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
DMU_2	0,0000	1,0936	0,5047	0,0000
DMU_3	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
DMU_4	0,3640	0,3121	0,0000	0,0000
DMU_5	0,1971	0,7941	0,0000	0,0000
DMU_6	0,2296	1,9894	0,0000	0,0000
DMU_7	0,0000	1,5349	0,3556	0,0000
DMU_8	0,1350	0,2090	0,0000	1,1055
DMU_9	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
DMU_10	0,0000	0,5817	0,2029	0,0000
DMU_11	0,0000	0,0000	0,5259	0,3229
DMU_12	0,4823	0,9642	0,0000	0,8501
DMU_13	0,0446	0,8060	0,0000	0,7455
DMU_14	0,0354	0,3820	0,0000	0,5564
DMU_15	0,0000	0,1313	0,5982	0,1690
DMU_16	0,2181	1,2845	0,0000	0,0000
DMU_17	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
DMU_18	0,0000	0,1945	0,4991	0,4007
DMU_19	0,0000	0,0000	0,3246	0,6235

Tabela 48: Dados do semáforo G9 (manhã) obtidos do modelo DEA CCR_I: alvos e folgas.

	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
DMU_1 - EFIC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	39,000	39,000	0,000	39,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	10,000	10,000	0,000	10,000
	Tempo da Fase verde (s)	77,000	77,000	0,000	77,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	84,000	84,000	0,000	84,000
DMU_2 - EFIC. 0,757098	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	98,000	74,196	0,000	74,196
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	2,000	1,514	0,000	1,514
	Tempo da Fase verde (s)	62,000	62,000	57,453	119,453
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	80,000	80,000	0,000	80,000
DMU_3 - EFIC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	30,000	30,000	0,000	30,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	0,000	0,000	0,000	0,000
	Tempo da Fase verde (s)	64,000	64,000	0,000	64,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	27,000	27,000	0,000	27,000
DMU_4 - EFIC. 0,140225	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	168,000	23,558	0,000	23,558
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	41,000	6,030	2,390	3,640
	Tempo da Fase verde (s)	48,000	48,000	0,000	48,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	39,000	39,000	0,000	39,000
DMU_5 - EFIC. 0,656468	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	48,000	31,510	0,000	31,510
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	6,000	3,939	1,967	1,971
	Tempo da Fase verde (s)	66,000	66,000	0,000	66,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	38,000	38,000	0,000	38,000
DMU_6 - EFIC. 0,837025	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	82,000	68,636	0,000	68,636
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	13,000	10,881	8,585	2,296
	Tempo da Fase verde (s)	145,000	145,000	0,000	145,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	73,000	73,000	0,000	73,000
DMU_7 - EFIC. 0,533364	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	141,000	75,204	0,000	75,204
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	2,000	1,067	0,000	1,067
	Tempo da Fase verde (s)	62,000	62,000	71,080	133,080
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	77,000	77,000	0,000	77,000
DMU_8 - EFIC. 0,933366	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	55,000	51,335	0,000	51,335
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	5,000	4,667	0,000	4,667
	Tempo da Fase verde (s)	89,000	89,000	0,000	89,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	80,000	80,000	0,000	80,000
DMU_9 - EFIC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	82,000	82,000	0,000	82,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	3,000	3,000	0,000	3,000
	Tempo da Fase verde (s)	98,000	98,000	0,000	98,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	100,000	100,000	0,000	100,000
DMU_10 - EFIC. 0,608794	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	56,000	34,092	0,000	34,092
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	1,000	0,609	0,000	0,609
	Tempo da Fase verde (s)	54,000	54,000	3,118	57,118
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	36,000	36,000	0,000	36,000
DMU_11 - EFIC. 0,636647	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	86,000	54,752	0,000	54,752
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	4,000	2,547	0,000	2,547
	Tempo da Fase verde (s)	59,000	59,000	13,594	70,594
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	71,000	71,000	0,000	71,000
DMU_12 - EFIC. 0,921627	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	85,000	78,338	0,000	78,338
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	8,000	7,373	0,000	7,373
	Tempo da Fase verde (s)	149,000	149,000	0,000	149,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	115,000	115,000	0,000	115,000
DMU_13 - EFIC. 0,447083	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	118,000	52,756	0,000	52,756
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	6,000	2,682	0,000	2,682
	Tempo da Fase verde (s)	99,000	99,000	0,000	99,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	68,000	68,000	0,000	68,000
DMU_14 - EFIC. 0,505698	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	65,000	32,870	0,000	32,870
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	4,000	2,023	0,000	2,023
	Tempo da Fase verde (s)	60,000	60,000	0,000	60,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	45,000	45,000	0,000	45,000
DMU_15 - EFIC. 0,76723	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	77,000	59,077	0,000	59,077
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	3,000	2,302	0,000	2,302
	Tempo da Fase verde (s)	77,000	77,000	0,000	77,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	73,000	73,000	0,000	73,000
DMU_16 - EFIC. 0,522667	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	90,000	47,040	0,000	47,040
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	29,000	15,157	12,977	2,181
	Tempo da Fase verde (s)	99,000	99,000	0,000	99,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	53,000	53,000	0,000	53,000
DMU_17 - EFIC. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	36,000	36,000	0,000	36,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	3,000	3,000	0,000	3,000
	Tempo da Fase verde (s)	59,000	59,000	0,000	59,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	57,000	57,000	0,000	57,000
DMU_18 - EFIC. 0,899784	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	68,000	61,185	0,000	61,185
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	3,000	2,699	0,000	2,699
	Tempo da Fase verde (s)	85,000	85,000	0,000	85,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	78,000	78,000	0,000	78,000
DMU_19 - EFIC. 0,711071	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	69,000	49,064	0,000	49,064
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	4,000	2,844	0,000	2,844
	Tempo da Fase verde (s)	65,000	65,000	3,598	68,598
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	68,000	68,000	0,000	68,000

Tabela 49: Dados do semáforo G9 (tarde) aplicados ao modelo DEA CCR_I: DMU's, dados de entrada, indicadores de eficiência e pesos das variáveis.

DMU	X1	Z1	Y1	Y2	INDICADORES DE EFICIÊNCIA				PESOS DAS VARIÁVEIS			
	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	Padrão	Invertida	Composta	Composta*	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	Tempo da Fase verde (s)	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde
DMU_1	50	31	80	43	0,3120	0,9162	0,1979	0,2121	0,0200	0,0000	0,0004	0,0065
DMU_2	175	40	50	66	0,1342	1,0000	0,0671	0,0719	0,0057	0,0000	0,0000	0,0020
DMU_3	86	13	111	124	0,5130	0,2616	0,6257	0,6707	0,0116	0,0000	0,0000	0,0041
DMU_4	32	7	38	66	0,7338	0,2406	0,7466	0,8003	0,0313	0,0000	0,0000	0,0111
DMU_5	111	11	159	117	0,5056	0,3578	0,5739	0,6152	0,0000	0,0909	0,0003	0,0038
DMU_6	35	5	61	86	0,8742	0,1639	0,8551	0,9166	0,0286	0,0000	0,0000	0,0102
DMU_7	101	5	90	110	1,0000	0,3463	0,8269	0,8863	0,0009	0,1828	0,0000	0,0091
DMU_8	109	48	76	61	0,1991	1,0000	0,0996	0,1067	0,0092	0,0000	0,0000	0,0033
DMU_9	37	6	223	100	1,0000	0,1395	0,9302	0,9971	0,0270	0,0000	0,0045	0,0000
DMU_10	101	15	64	81	0,2853	0,4703	0,4075	0,4368	0,0099	0,0000	0,0000	0,0035
DMU_11	66	12	87	43	0,2384	0,5789	0,3298	0,3535	0,0152	0,0000	0,0003	0,0049
DMU_12	37	5	156	104	1,0000	0,1342	0,9329	1,0000	0,0270	0,0000	0,0005	0,0088
DMU_13	90	24	85	65	0,2569	0,5676	0,3446	0,3694	0,0111	0,0000	0,0000	0,0040
DMU_14	152	39	157	102	0,2393	0,5980	0,3206	0,3437	0,0066	0,0000	0,0001	0,0021
DMU_15	36	6	77	50	0,4952	0,2715	0,6118	0,6558	0,0278	0,0000	0,0005	0,0091
DMU_16	140	25	102	88	0,2236	0,6000	0,3118	0,3342	0,0071	0,0000	0,0000	0,0025
DMU_17	64	8	54	48	0,2877	0,5029	0,3924	0,4206	0,0006	0,1205	0,0000	0,0060
DMU_18	84	9	122	73	0,4126	0,4340	0,4893	0,5245	0,0000	0,1111	0,0018	0,0026
DMU_19	55	7	82	49	0,3564	0,4233	0,4665	0,5001	0,0000	0,1429	0,0023	0,0034

Tabela 50: Dados do semáforo G9 (tarde) aplicados ao modelo DEA CCR_I: benchmarks.

Benchmarks			
DMU	DMU_7	DMU_9	DMU_12
DMU_1	0,0000	0,2123	0,2093
DMU_2	0,0000	0,0000	0,6346
DMU_3	0,0000	0,0000	1,1923
DMU_4	0,0000	0,0000	0,6346
DMU_5	0,2200	0,0000	0,8923
DMU_6	0,0000	0,0000	0,8269
DMU_7	1,0000	0,0000	0,0000
DMU_8	0,0000	0,0000	0,5865
DMU_9	0,0000	1,0000	0,0000
DMU_10	0,0000	0,0000	0,7788
DMU_11	0,0000	0,3082	0,1171
DMU_12	0,0000	0,0000	1,0000
DMU_13	0,0000	0,0000	0,6250
DMU_14	0,0000	0,0548	0,9281
DMU_15	0,0000	0,0274	0,4544
DMU_16	0,0000	0,0000	0,8462
DMU_17	0,0216	0,0000	0,4387
DMU_18	0,0000	0,1712	0,5373
DMU_19	0,0000	0,1164	0,3592

Tabela 51: Dados do semáforo G9 (tarde) obtidos do modelo DEA CCR_I: alvos e folgas.

	Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
DMU_1 - Efic. 0,332005	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	50,000	15,600	0,000	15,600
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	31,000	9,672	7,352	2,320
	Tempo da Fase verde (s)	80,000	80,000	0,000	80,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	43,000	43,000	0,000	43,000
DMU_2 - Efic. 0,134176	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	175,000	23,481	0,000	23,481
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	40,000	5,367	2,194	3,173
	Tempo da Fase verde (s)	50,000	50,000	49,000	99,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	66,000	66,000	0,000	66,000
DMU_3 - Efic. 0,51297	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	86,000	44,115	0,000	44,115
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	13,000	6,669	0,707	5,962
	Tempo da Fase verde (s)	111,000	111,000	75,000	186,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	124,000	124,000	0,000	124,000
DMU_4 - Efic. 0,733774	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	32,000	23,481	0,000	23,481
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	7,000	5,116	1,963	3,173
	Tempo da Fase verde (s)	38,000	38,000	61,000	99,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	66,000	66,000	0,000	66,000
DMU_5 - Efic. 0,505594	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	111,000	56,121	0,886	55,235
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	11,000	5,562	0,000	5,562
	Tempo da Fase verde (s)	159,000	159,000	0,000	159,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	117,000	117,000	0,000	117,000
DMU_6 - Efic. 0,874176	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	35,000	30,596	0,000	30,596
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	5,000	4,371	0,236	4,135
	Tempo da Fase verde (s)	61,000	61,000	68,000	129,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	85,000	86,000	0,000	86,000
DMU_7 - Efic. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	101,000	101,000	0,000	101,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	5,000	5,000	0,000	5,000
	Tempo da Fase verde (s)	90,000	90,000	0,000	90,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	110,000	110,000	0,000	110,000
DMU_8 - Efic. 0,1991	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	109,000	21,702	0,000	21,702
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	48,000	9,557	6,624	2,933
	Tempo da Fase verde (s)	76,000	76,000	15,500	91,500
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	61,000	61,000	0,000	61,000
DMU_9 - Efic. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	37,000	37,000	0,000	37,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	6,000	6,000	0,000	6,000
	Tempo da Fase verde (s)	223,000	223,000	0,000	223,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	100,000	100,000	0,000	100,000
DMU_10 - Efic. 0,28552	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	101,000	28,817	0,000	28,817
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	15,000	4,280	0,386	3,894
	Tempo da Fase verde (s)	64,000	64,000	57,500	121,500
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	81,000	81,000	0,000	81,000
DMU_11 - Efic. 0,238435	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	66,000	15,737	0,000	15,737
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	12,000	2,861	0,426	2,435
	Tempo da Fase verde (s)	87,000	87,000	0,000	87,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	43,000	43,000	0,000	43,000
DMU_12 - Efic. 1	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	37,000	37,000	0,000	37,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	5,000	5,000	0,000	5,000
	Tempo da Fase verde (s)	156,000	156,000	0,000	156,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	104,000	104,000	0,000	104,000
DMU_13 - Efic. 0,256944	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	90,000	23,125	0,000	23,125
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	24,000	6,167	3,042	3,125
	Tempo da Fase verde (s)	85,000	85,000	12,500	97,500
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	65,000	65,000	0,000	65,000
DMU_14 - Efic. 0,239253	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	152,000	36,366	0,000	36,366
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	39,000	9,331	4,362	4,969
	Tempo da Fase verde (s)	157,000	157,000	0,000	157,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	102,000	102,000	0,000	102,000
DMU_15 - Efic. 0,495207	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	36,000	17,827	0,000	17,827
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	6,000	2,971	0,535	2,437
	Tempo da Fase verde (s)	77,000	77,000	0,000	77,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	50,000	50,000	0,000	50,000
DMU_16 - Efic. 0,223626	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	140,000	31,308	0,000	31,308
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	25,000	5,591	1,360	4,231
	Tempo da Fase verde (s)	102,000	102,000	30,000	132,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	88,000	88,000	0,000	88,000
DMU_17 - Efic. 0,287684	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	64,000	18,412	0,000	18,412
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	8,000	2,301	0,000	2,301
	Tempo da Fase verde (s)	54,000	54,000	16,382	70,382
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	48,000	48,000	0,000	48,000
DMU_18 - Efic. 0,412642	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	84,000	34,662	8,447	26,215
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	9,000	3,714	0,000	3,714
	Tempo da Fase verde (s)	122,000	122,000	0,000	122,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	73,000	73,000	0,000	73,000
DMU_19 - Efic. 0,356371	Tempo da fase vermelho e intermitente (s)	55,000	19,600	2,002	17,598
	Qnt de Pessoas que atravessaram no vermelho e no intermitente	7,000	2,495	0,000	2,495
	Tempo da Fase verde (s)	82,000	82,000	0,000	82,000
	Qnt de Pessoas que atravessaram no verde	49,000	49,000	0,000	49,000