

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MARCIO SAGGIORO SAVIO JUNIOR

**OTIMIZAÇÃO DA FILA NAS PRAÇAS DE PEDÁGIO ATRAVÉS DA
MUDANÇA NA CONFIGURAÇÃO DAS QUANTIDADES DE CABINES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

MARCIO SAGGIORO SAVIO JUNIOR



**OTIMIZAÇÃO DA FILA NAS PRAÇAS DE PEDÁGIO ATRAVÉS DA
MUDANÇA NA CONFIGURAÇÃO DAS QUANTIDADES DE CABINES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção do departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Shih Yung Chin

PONTA GROSSA

2019

	<p>Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS PONTA GROSSA Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	 <p>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</p>
---	--	---

TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

OTIMIZAÇÃO DA FILA NAS PRAÇAS DE PEDÁGIO ATRAVÉS DA MUDANÇA NA CONFIGURAÇÃO DAS QUANTIDADES DE CABINES

por

Márcio Saggioro Sávio Júnior

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 22 de novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O(A)(s) candidato(a)(s) foi(foram) arguido(a)(s) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr(a). Shih Yung Chin
Prof. Orientador(a)

Prof. Dr(a). Fábio José Ceron Branco
Membro titular

Prof. Dr(a). Juan Carlos Claros Garcia
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo incentivo e apoio dado para a realização do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já, peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Shih Yung Chin, pela sabedoria com que me guiou para realização deste trabalho.

Agradeço a economista Lívia Sabbagh por seu conhecimento compartilhado e pelos conselhos para melhor entendimento do trabalho.

Aos meus amigos da República Old Stock pelo apoio e companheirismo em todos esses anos de trajetória acadêmica.

Aos meus amigos de intercâmbio pelos conhecimentos linguísticos, acadêmicos, companheirismo e abertura de minha mente para novas culturas e costumes.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Óbudai Egyetem por terem me recebido de braços abertos e transmitido conhecimento de forma gratuita e com a máxima qualidade.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois sem o apoio deles seria muito difícil vencer este desafio. Sou eternamente grato por confiarem em meu potencial e me incentivarem a correr atrás de meu sonho.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

SAVIO JUNIOR, M. S. **Otimização das filas nas praças de pedágio através da mudança na configuração das quantidades de cabines.** 2019. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado, Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

É comum identificar a formação de filas em pedágios localizados em estradas que apresentem um alto fluxo de veículos. A formação da fila ocorre quando o serviço oferecido não é capaz de atender a demanda. Esse problema se torna ainda mais grave, quando há períodos de feriado no país, intensificando o tráfego e consequentemente, o tamanho das filas. O problema é tão evidente que o estado do Paraná aprovou a lei nº 19.687 que obriga a suspensão de cobrança de pedágio e a liberação da passagem de veículos na hipótese de haver retardo no atendimento. Em outros países, alternativas podem ser encontradas em relação à presença das praças de pedágio, métodos de pagamento e taxa anual para utilização das rodovias. O objetivo desse estudo é analisar a configuração das cabines de pagamento do Pedágio Beta localizado no Paraná visando a diminuição da formação de filas e otimização do tempo de viagem para o motorista através do estudo da teoria das filas. Através da metodologia aplicada foi possível aumentar o nível de serviço e diminuir as filas de pedágio a quase nível zero.

Palavras-chave: Teoria das filas. Métodos Estocásticos e Simulação. Problema de fila. Sistema de cobrança em pedágios. Análise de desempenho.

ABSTRACT

SAVIO JUNIOR, M. S. **Title of the working:** Optimization of toll plazas queues by changing the configuration of cabin quantities. 2019. 60 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Industrial Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

It's normal to identify the formation of big tolls lines located on the roads that have a high vehicles flow. Queue formation occurs when the service offered isn't able to meet demand. This problem becomes even more serious when there are holiday periods in the country, increasing the traffic and consequently the queues size. The problem is so evident that the Paraná has approved law number 19687, which requires the suspension of toll collection and the release the vehicle when has service delay. In other countries, other alternatives can be found in relation to the toll plazas system, payment methods and the annual rate for highway use. The objective of this study is to analyze the configuration of the Beta Toll cabin payment located in Paraná for reducing queuing and optimizing travel time for the driver through the study of queuing theory. Through the applied methodology it was possible to increase the service level and reduce the toll lines to almost zero level.

Keywords: Queue Theory. Stochastic Methods and Simulation. Queue Problem. Toll collection System. Performance Analysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA	10
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 OBJETIVO GERAL	11
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 MODAIS DE TRANSPORTE.....	13
2.2 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO MODAL DE TRANSPORTE.....	14
2.3 IMPACTO DO MODAL RODOVIÁRIO NO BRASIL	16
2.4 PEDÁGIOS – INTRODUÇÃO HISTÓRICA	17
2.5 PRAÇAS DE PEDÁGIO	18
2.6 NÍVEL DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO.....	20
2.7 COBRANÇAS DE PEDÁGIO NO BRASIL	21
2.8 EMPRESAS QUE FORNECEM O SERVIÇO DE COBRANÇA DE PEDÁGIO NO ESTADO DE SÃO PAULO VIA CABINE ELETRÔNICA EXPRESSA.....	22
2.9 SISTEMA DE PEDÁGIO NO MUNDO.....	24
2.10 FORMAÇÃO DE FILAS.....	24
2.11 CONCEITOS BÁSICOS	25
2.12 DISCIPLINA EM TEORIA DAS FILAS.....	26
2.13 NOTAÇÃO.....	26
2.14 APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 MÉTODOS DE ABORDAGEM	29
3.1.1 PESQUISA LEVANTAMENTO.....	30
3.2 NATUREZA DE ABORDAGEM.....	30
3.3 OBJETIVOS	30
3.4 PROCEDIMENTOS.....	31
3.5 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA	31
4 ESTUDO DE CASO	32
4.1 CONFIGURAÇÃO ATUAL DO PEDÁGIO	32

4.2 ESTUDO DE CASO PARA CABINES MANUAIS	35
4.3 CÁLCULOS DO ESTUDO DE CASO PARA CABINES MANUAIS	37
4.4 ESTUDO DE CASO PARA CABINES ELETRÔNICAS EXCLUSIVAS	38
4.5 CUSTOS OPERACIONAIS DO SISTEMA	40
4.6 CUSTO ADMINISTRATIVO DA PRAÇA DE PEDÁGIO DA CABINE MANUAL ..	40
4.7 NÍVEL DE SERVIÇO	42
5 PROPOSTA DE MELHORIA PARA O CASO ESTUDADO	43
5.1 MUDANÇA NO NÚMERO DE CABINES DE CADA MODALIDADE DE COBRANÇA	43
5.2 NOVOS CÁLCULOS DO ESTUDO DE CASO PARA AMBAS CABINES	45
5.3 IMPACTOS FINANCEIROS APÓS PROPOSTA DE MELHORIA	47
5.4 NÍVEL DE SERVIÇO APÓS PROPOSTA DE MELHORIA	48
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
ANEXO A	50
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Com mercados cada vez mais globalizados, os produtores e consumidores nem sempre estão instalados próximos uns dos outros. O responsável por realizar essa ponte de ligação entre os locais de produção e os mercados, além de otimizar o tempo e a distância entre ambos, é o estudo da logística.

O transporte é responsável, em média, por 64% dos custos totais logísticos. Dessa forma, escolher o modal mais adequado para realizar as operações é um importante fator que impacta diretamente no gerenciamento, tempo de locomoção e custo.

O modal mais utilizado no Brasil, atualmente, é o rodoviário que representa 62% de utilização comparado aos outros meios de transporte. Dentre suas vantagens, pode-se destacar menor custo de implantação por quilômetro e menor prazo de maturação em relação à malha ferroviária, possibilidade de serviço porta-a-porta (ou seja, a mercadoria pode chegar na porta do cliente), embarques e partidas mais rápidas e favorece o embarque de pequenos lotes. Em contrapartida, o modal apresenta um dos maiores custos operacionais, menor capacidade de carga e provoca congestionamento nas estradas (RODRIGUES, 2004).

O crescimento das rodovias no Brasil, por sua vez, iniciou-se em 1926 com a construção da estrada que liga o Rio de Janeiro a São Paulo. Porém foi apenas na década de 50, em que o presidente Juscelino Kubitschek trouxe a indústria automobilística e ampliou a malha rodoviária no país como forma de aumentar a demanda automotiva. No ano de 1970, todas as regiões brasileiras estavam conectadas pela malha rodoviária (RODRIGUES, 2004).

O crescimento do modal rodoviário impulsionado por interesse da indústria automobilística e o aumento da frota automotiva no país, provocaram além do sucateamento de uma parte do transporte ferroviário em algumas regiões do país, problemas de congestionamento provocado pelo alto fluxo de tráfego rodoviário, principalmente nas praças de pedágio.

Além de ser necessário nas rodovias, a praça de pedágio é um elemento que influencia diretamente no tempo total gasto pela viagem. A ocorrência constante de enormes filas nas praças de pedágio, principalmente em períodos de feriado no país, representa a ineficiência do atendimento no serviço prestado nas rodovias

brasileiras. Os sistemas de pedágio projetados para aliviar os problemas de filas, acabam resultando em um gargalo na estrada (LAIH, 1994).

As filas representam que a taxa de chegada das entidades na praça de pedágio é maior do que a capacidade de atendimento do sistema. O estudo da teoria das filas é, portanto, importante para otimizar o sistema, melhorar a qualidade do serviço e diminuir o tempo de espera para realizar o pagamento pelos motoristas.

Neste trabalho, a teoria das filas será utilizada para otimizar o tempo de espera dos motoristas para realizar o pagamento em uma praça de pedágio localizada no estado do Paraná.

1.1 PROBLEMA

Como otimizar as filas através da análise combinada das cabines automáticas e manuais?

1.2 JUSTIFICATIVA

Em 29/10/2018 foi aprovada uma lei estadual nº 19687, para todo estado do Paraná, em que obriga a suspensão de cobrança de pedágio e a liberação da passagem de veículos na hipótese de haver retardo no atendimento. O retardo no atendimento é quando o limite máximo de espera na fila supera 300 metros, medidos do início do atendimento na praça de pedágio até completar 300 metros de distância em direção à pista ou quando a espera do condutor for superior a 10 minutos. O descumprimento dessa lei sujeita a concessionária infratora penalização e multa de quinhentas vezes a unidade padrão fiscal do Paraná.

Em outros lugares do mundo, o sistema de cobrança é realizado de maneira diferente do Brasil. Na França, por exemplo, os pedágios ficam localizados nas entradas e saídas das estradas, onde o motorista paga o preço por quilômetro rodado. Quando o motorista entra na pista, ele recebe um comprovante que deve ser entregue quando ele sair da pista, sistema parecido com os estacionamentos de Shopping no Brasil. Esse sistema começou a ser implementado no Brasil, porém na maioria das praças de pedágio brasileiras não importa se o motorista entrou na pista e rodou 10 km ou 100 km, o mesmo paga a mesma tarifa independente da quilometragem rodada.

Na Itália, Espanha e Estados Unidos existe o modelo de cobrança igual ao Brasil, que realiza a cobrança do mesmo valor independente de quanto o carro andou na rodovia e também o sistema francês que cobra por quilômetro.

A Áustria, República Tcheca, Suíça e Hungria não possuem praças de pedágio nas rodovias. Os usuários que utilizam rodovias pagam uma taxa, que geralmente é paga anualmente. Através desse pagamento, os carros autorizados instalam um chip no vidro dianteiro do motorista para trafegarem nas rodovias. Aqueles que não pagarem para utilizar as rodovias, ao passar pelos postos de leitura do chip espalhados pelas rodovias, são identificados e devem pagar uma multa.

Em outros países como Finlândia e Alemanha, não existem pedágios e as rodovias são controladas e mantidas pelo estado através da arrecadação das cargas tributárias da população.

Através desse estudo, pretende-se propor uma alternativa para otimizar o tempo de viagem dos motoristas em uma praça de pedágio específica denominada Pedágio Beta.

1.3 OBJETIVO GERAL

Estudar o modelo atual de cobrança na praça de pedágio Beta e propor melhorias que aumentem a qualidade do serviço prestado ao usuário.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os dados obtidos da quantidade de veículos que utilizam a praça de pedágio estudada diariamente
- Compreender a diferença de tempo de atendimento entre as cabines do tipo automática e a cabine manual
- Mensurar a capacidade máxima de atendimento em hora para cada tipo de cabine através de estudos realizados por outros autores
- Calcular o tempo médio de espera, fila média, fila máxima atingida, tempo máximo de espera, taxa de utilização da praça de pedágio em estudo
- Realizar o estudo comparativo entre os resultados dos tempos do modelo proposto e do modelo atual de cobrança.

- Analisar o estudo comparativo e por meio de parâmetros determinar a melhor configuração de pedágio para a praça de pedágio em estudo.
- Elaborar um novo modelo de atendimento no pedágio

1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema foi delimitado para o estudo de tempos e métodos do sistema de cobrança dos pedágios brasileiros analisando o modelo atual em relação a um novo modelo que será proposto no decorrer do trabalho.

A análise dos modelos foi realizada através dos parâmetros: tempo médio de espera do motorista na fila, tempo médio de atendimento, tamanho médio da fila formada, tamanho máximo da fila e taxa de utilização do serviço.

Em vista disso, o trabalho não contemplará o motivo e a razão pelas quais alguns motoristas não utilizam exclusivamente o pagamento dos pedágios na modalidade eletrônica através da instalação de um *chip* no painel do veículo. O foco principal da pesquisa é identificar o melhor modelo através do estudo da teoria das filas para minimizar o problema da formação de filas.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Logística é o processo de gestão dos fluxos de produtos, de serviços e da informação associada, entre fornecedores e clientes ou vice-versa, levando aos clientes, os produtos que necessitam nas melhores condições (MOURA 2006).

Em mercados cada vez mais globalizados, a logística é a responsável em ser a ponte de ligação entre locais de produção e mercados separados por tempo e distâncias. À medida que os sistemas logísticos são aperfeiçoados, o consumo e a produção experimentam uma separação geográfica, pois não há a necessidade de produtores e consumidores estarem instalados próximos (BALLOU 2004).

O principal componente dos sistemas logísticos empresariais é o transporte de cargas. O transporte representa, em média, 64% dos custos logísticos, 4,3% do faturamento e, em alguns casos mais que o dobro do lucro. Os indicadores financeiros de custo, faturamento e lucro, representam a importância do transporte ao estudar logística (FLEURY; WANKE; FIGUEIREDO, 2000).

Como mais da metade, em média, do custo logístico é representado pela categoria transporte. A escolha do modal mais adequado para transporte de mercadoria é essencial no âmbito do gerenciamento de empresas privadas e estatais (FLEURY; WANKE; FIGUEIREDO, 2003).

2.1 MODAIS DE TRANSPORTE

Os modais utilizados para se efetuar transporte no geral, incluindo passageiros e cargas, podem ser classificados como: rodoviário, ferroviário, hidroviário (fluvial ou lacustre), marítimo, aquaviário, aéreo e dutoviário.

No modal rodoviário, as cargas ou pessoas são transportadas pelas rodovias, utilizando carros, caminhões, ônibus ou carretas por exemplo.

No modal ferroviário, o escoamento de pessoas e cargas acontece via ferrovias, dentro de vagões fechados ou plataformas.

O modal marítimo e hidroviário é aquele em que o transporte ocorre via embarcações. A diferença entre o marítimo e hidroviário, é que no marítimo o transporte é através dos mares e oceanos e no hidroviário é através de rios, lagos ou lagoas.

Se no transporte aquático, a embarcação cruzar mares ou oceanos, mas também trafegar por rios, lagos ou lagoas, a definição para o modal é aquaviário, ou seja, abrange em uma definição os modais marítimo e hidroviário.

Outro modo de realizar o transporte é via aviões, através do espaço aéreo, esse modal é reconhecido como aéreo.

O modal dutoviário consistente no transporte de granéis sólidos, líquidos ou gases, que são transportados através de dutos. (RODRIGUES, 2004).

2.2 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO MODAL DE TRANSPORTE

De acordo com Nazário (2000), há cinco características importantes na escolha pelo modal a ser utilizado: velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência. Quanto menor for a pontuação da característica listada na tabela 1, representa maior excelência no modal utilizado.

Tabela 1: Características na escolha do modal

<i>Características</i>	<i>Ferrovário</i>	<i>Rodoviário</i>	<i>Aquaviário</i>	<i>Dutoviário</i>	<i>Aéreo</i>
<i>Velocidade</i>	3	2	4	5	1
<i>Disponibilidade</i>	2	1	4	5	3
<i>Confiabilidade</i>	3	2	4	1	5
<i>Capacidade</i>	2	3	1	5	4
<i>Frequência</i>	4	2	5	1	3
<i>Resultado</i>	14	10	18	17	16

Fonte: NAZÁRIO (2000)

A velocidade representa o tempo decorrido em uma determinada rota, o aéreo é o que apresenta menor pontuação e conseqüentemente é o mais rápido de todos.

A disponibilidade é a capacidade do modal em atender a maior quantidade de rotas possíveis, o melhor da categoria é o transporte rodoviário, que permite atender qualquer lugar e se necessário ir até a porta do cliente.

A confiabilidade é a habilidade de entregar no tempo declarado pelo fornecedor e com condições satisfatórias ao cliente. Os dutos apresentam maior confiabilidade, pois não há muitas variáveis que possam interferir no prazo de entrega de forma satisfatória.

A capacidade representa a forma com que o modal possa lidar com qualquer requisito de transporte, seja por tipo de carga ou tamanho. Nessa categoria, o transporte hidroviário é o mais recomendado.

A frequência significa quantas vezes pode-se fazer o transporte a partir de uma movimentação programada, nesse quesito os dutos são os mais indicados, pois as interferências externas que possam atrapalhar o transporte são menores que os outros modais.

O resultado total da pesquisa realizada por Nazário, aponta o transporte rodoviário como o melhor modal de acordo com as características apresentadas. Esse modal ocupa o primeiro e segundo lugar em todas as categorias, com exceção da capacidade.

Além das características listadas pelo autor em questão, sabe-se que o maior custo logístico é representado pelo setor de transporte. Portanto, o próprio autor na tabela 2 faz um estudo comparativo entre os custos médios praticados por diferentes modais para transporte de longa distância (acima de 500 quilômetros) nos Estados Unidos e Brasil. Os dados da tabela 2 foram convertidos para US\$ a uma taxa de 2,90 reais por dólar.

Tabela 2: Preços Médios de diferentes modais (US\$ por 1.000 ton. x km)

<i>Modal</i>	<i>EUA</i>	<i>Brasil (em US\$)</i>	<i>Brasil / EUA</i>
<i>Aéreo</i>	320	450	1,41
<i>Rodoviário</i>	56	20	0,36
<i>Ferrovário</i>	14	16	1,14
<i>Dutoviário</i>	9	10	1,11
<i>Aquaviário</i>	5	9	1,80

Fonte: NAZÁRIO (2000)

Pode-se observar que a classificação dos modais quanto ao custo nos EUA e Brasil são os mesmos. Os custos mais elevados são do modal aéreo, seguido do rodoviário, ferroviário, dutoviário e aquaviário.

Os dados da tabela a seguir são do Anuário Estatístico dos Transportes, fornecidos pela Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes (GEIPOT), criada em 1965 com o objetivo de coordenar e desenvolver estudos sobre

transporte. O estudo comparativo entre os países foi publicado no ano de 2000 pela empresa e são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3: Distribuição dos modais de transporte em diversos países

MODAL	BRASIL	USA	CANADÁ	AUSTRÁLIA	CHINA	RÚSSIA
Rodoviário	62%	24%	8%	27%	10%	8%
Ferrovário	20%	38%	42%	29%	46%	63%
Hidroviário	14%	23%	28%	44%	40%	5%
Dutoviário	4%	15%	22%		4%	24%

Fonte: GEIPOT (2000)

A Tabela 3 mostra que o modal mais utilizado no Brasil é o rodoviário, com participação de 62% de todos modais analisados. Quando comparado à participação desse modal em relação aos outros países, pode-se notar que o segundo país que mais utiliza o modal rodoviário é a Austrália, com 27% de participação.

Os países em questão, que estão sendo comparados com o Brasil na tabela acima, são justamente pelo fato de apresentarem dimensões territoriais semelhantes. Estes, por sua vez, são os seis países com maiores extensões territoriais do mundo. O modal aéreo, representa menos que 1% em todos os países e por conta desse fator não aparece na tabela.

2.3 IMPACTO DO MODAL RODOVIÁRIO NO BRASIL

O modal rodoviário, como foi apresentado nas seções anteriores, é o mais utilizado no Brasil, representando 62% de utilização comparado aos outros meios de transporte.

Segundo pesquisa do IBGE, o número da frota automotiva, apresentado na Tabela 4, no país cresceu 44,81% entre os anos de 2010 e 2016. Entende-se por frota automotiva: automóvel, caminhão, trator, caminhonete, camioneta, micro-ônibus, motocicleta, motoneta, ônibus, utilitários e outros.

Tabela 4: Número de veículos no Brasil

Ano	Veículos (unidade)
2010	64.817.941
2012	76.136.910
2013	81.600.728
2014	86.700.489
2015	90.686.934
2016	93.867.015

Fonte: IBGE (2019)

Dentre os problemas decorrentes do aumento da frota nacional de veículos, as presenças das filas para pagamento dos pedágios na rodovia afetam diretamente nas velocidade, confiabilidade e frequência do modal rodoviário.

2.4 PEDÁGIOS – INTRODUÇÃO HISTÓRICA

As tributações em rotas no Brasil, existem desde a época em que a colônia portuguesa se instalou no país. Segundo o livro, “Os Tropeiros – Diário da Marcha”, os portugueses autorizaram a abertura da Rota dos Tropeiros, no Paraná, em meados do século XVIII, como forma de obterem lucros na travessia. O lucro obtido na rota foi vital para reconstrução da cidade de Lisboa, atingida por um terremoto em 1755 (RIBEIRO, 2006).

Entre os anos 1980 e 1990, houve um corte de verba orçamentária para a conservação e construção de diversas rodovias brasileiras. A alternativa encontrada, como forma de reverter a situação, foi a inauguração do programa de concessão operacional das principais rodovias do Brasil, regulamentada pela lei nº 8987/95. Através dessa lei, empresas privadas poderiam concorrer pela concessão de rodovias públicas, suprimindo assim a necessidade de investimento na infraestrutura de transportes, prestando serviços adequados com qualidade aos usuários das rodovias aumentando o conforto e segurança (ARAÚJO, 2001).

O sistema rodoviário, é o principal modal do país, segundo dados da ANTT de 2005, é responsável por 58% do transporte de cargas de produtos primários (ANTT, 2005). Dessa forma, garantir a manutenção, ampliação e segurança nesse modal, é vital para a economia do país.

O início do programa de Concessão de Rodovias Federais, se deu em 1993. Neste ano, a União autorizou empresas privadas a ficarem responsáveis pela manutenção e restauração das rodovias em troca de arrecadação monetária de pedágios (CASTRO, 1997).

A Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias do Brasil (ABCR), divulgou um relatório anual, no ano de 2017 sobre a atuação da entidade. Dentre os 212.886 km de malha total pavimentada no país, apenas 9,24% das rodovias pavimentadas estavam sob o poder de empresas privadas, totalizando 19.678 km de malha concedida. Eram ao todo, 58 concessionárias associadas, sendo 20 federais, 36 estaduais e 2 municipais.

O estudo aponta também, que 74,4% das rodovias concedidas foram avaliadas com critério ótimo ou bom, apenas para critério de comparação, apenas 29,6% das rodovias sob administração pública tiveram avaliação positiva no mesmo período.

A maior companhia do setor de concessão rodoviário no Brasil, em termos de quilômetros administrados em 2017, é a Arteris que liga as regiões sul e sudeste do país, totalizando 3.708 quilômetros administrados. Essa empresa é responsável por quatro concessionárias estaduais (Autovias, Centrovias, Intervias e Vianorte) e cinco federais (Fernão Dias, Régias Bittencourt, Fluminense, Litoral Sul e Planalto Sul).

Outra concessionária que detém alta quilometragem nas rodovias brasileiras é o grupo CCR, responsável por 2.908 quilômetros de rodovias nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Mato Grosso do Sul. É uma das maiores empresas de concessão de infraestrutura do mundo, por conta de sua importância estratégica nas concessões da região sudeste. É ela quem administra a CCR NOVADUTRA, CCR AUTOBAN, CCR SPVIAS, CCR VIAOESTE, CCR VIALAGOS, CCR MSVIA, CCR RODONORTE e CCR RODOANEL.

2.5 PRAÇAS DE PEDÁGIO

A área onde o condutor realiza o pagamento para utilização da rodovia é denominada praça de pedágio. A praça se inicia no instante em que a estrada se alarga suficientemente para que os postos de cobrança sejam instalados, continua

após a passagem do indivíduo no posto de cobrança e termina no momento em que a rodovia volta à sua largura original (SCHAUFLEER, 1997).

Para isso, deve-se estimar o volume máximo de tráfego que o sistema de transporte comporta para analisar a capacidade das instalações. Mesmo que a relação volume/capacidade, a ser estudada para determinados períodos de tempo, a real capacidade da praça de pedágio não é facilmente quantificada. (WOO e HOEL, 1991).

De acordo com a literatura, alguns autores encontraram valores para a capacidade de cabines de pedágio, medidos em transito de veículo por hora, que são visualizados na Figura 1.

Figura 1: Tipos de Cabines com capacidade de atendimento em horas

ESTUDOS	TIPO DA CABINE				
	Manual	Automática	Mista	Eletrônica Exclusiva	Eletrônica Expressa
Woo e Hoel [1991]	-	665 – 745	-	-	-
Pietrzyk e Mierzejewski [1993]	350	500	700	1.200	1.800
Lin e Su [1994]	360	775	-	-	-
Pesquera <i>et al.</i> [1997]	225	475	-	-	-
Polus e Reshetnik [1997]	250 – 450	550 – 850	-	1.200	-

Fonte: ARAÚJO (2001)

Dentre as formas possíveis de instalação de uma praça de pedágio, há uma classificação da modalidade da praça quanto as formas de pagamento aceitas. Pode-se destacar cinco modalidades: manual, automática, mista, eletrônica exclusiva e eletrônica expressa. Na modalidade, cabine manual, é necessário um trabalhador para operar a parte financeira do posto de trabalho e a forma de pagamento aceita é dinheiro. No caso das cabines automáticas, não há necessidade de operador para realizar o trabalho e o pagamento é feito através de maquinário que aceita diversas formas de pagamento. Caso, o sistema aceite manual e automático, ele é chamado de misto. No sistema eletrônico exclusivo, a cabine opera somente com sistema AVI (*Automatic Vehicle Identification*) e no sistema eletrônico expresso, é quando há uma separação nas praças de pedágio para apenas o sistema AVI ser operado em alguns postos de trabalho, dessa forma o sistema de cobrança é exclusivo AVI para um determinado posto (ARAÚJO, 2001).

Pela dificuldade em mensurar um valor real para a capacidade do pedágio, há uma variação entre os cálculos de cada autor. Essa variação significa que as praças dependem do tráfego, características da praça, número de cabine disponíveis e tipo de cobrança realizada (ZARRILLO, 2000).

2.6 NÍVEL DE SERVIÇO EM PRAÇAS DE PEDÁGIO

Por não haver um método desenvolvido que pudesse analisar o nível de serviços em praças de pedágio, os autores Lin e Su (1994) elaboraram uma metodologia através de coleta de dados utilizando o comprimento médio de fila e tempo média de espera em pedágios para classificar a qualidade do serviço em seis níveis. (ARAÚJO, 2001)

Os resultados do estudo estão indicados na Figura 2, em que o nível F representa o pior nível de serviço prestado e o nível A representa a máxima qualidade e nível do atendimento prestado.

A fila média representa a quantidade de carros aguardando atendimento e o tempo médio no sistema por veículo é medido em segundos. Quanto mais veículos aguardarem o atendimento, conseqüentemente o comprimento da fila será maior por conta do maior número de veículos e o nível de serviço será pior. O mesmo ocorre com o tempo médio de espera no sistema, quanto maior representa um pior nível de serviço pois o indivíduo está esperando na fila.

Figura 2: Nível de Serviço em Praças de Pedágio

Nível de serviço	Fila média (L veículos)	Tempo médio no sistema (segundos)
A	≤ 1	≤ 15
B	$1 < L \leq 2$	$15 < L \leq 30$
C	$2 < L \leq 3$	$30 < L \leq 45$
D	$3 < L \leq 6$	$45 < L \leq 60$
E	$6 < L \leq 10$	$60 < L \leq 80$
F	> 10	> 80

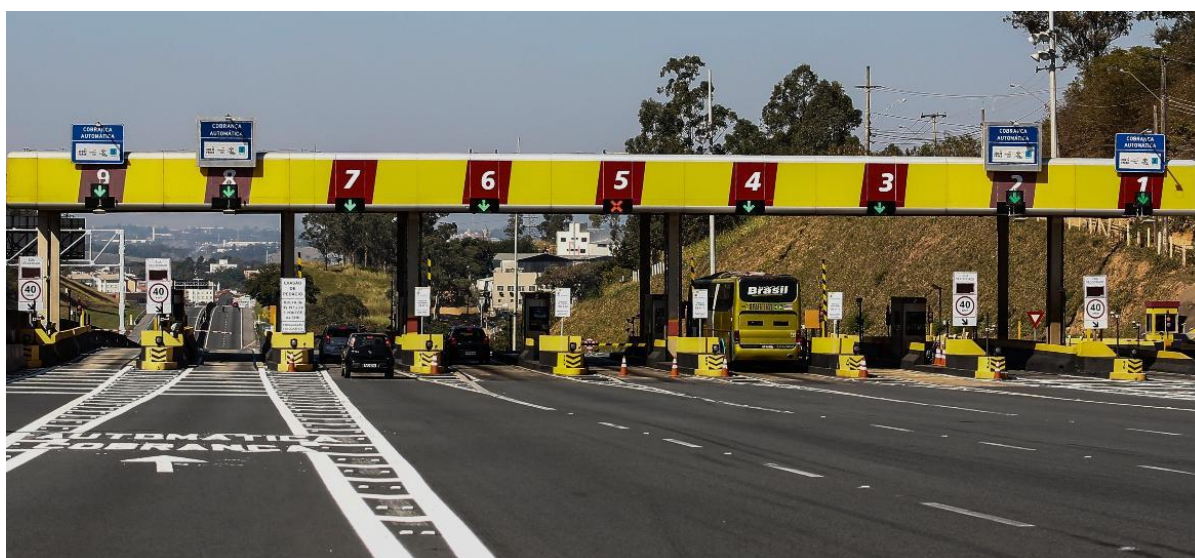
Fonte: LIN e SU (1994)

O nível de serviço foi utilizado no trabalho como um indicador comparativo entre o nível de serviço inicial e o proposto.

2.7 COBRANÇAS DE PEDÁGIO NO BRASIL

A maioria das praças de pedágio no Brasil seguem a modalidade mista: manual com pagamento em dinheiro e automática. O número de cabines com pagamento manual, ou seja, a modalidade que necessita de um funcionário para receber o pagamento em dinheiro é superior do que a modalidade pagamento automático. Esta por sua vez, localiza-se nas extremidades das praças, podendo estar localizada somente em um dos lados ou em ambos os lados, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3: Disposição das cabines de cobrança na praça de pedágio



Fonte: UOL (2019).

Na modalidade automática há a instalação de um chip no para-brisas do carro, vinculado a um cartão de crédito. Os motoristas que não possuem o chip de pedágio, denominado TAG (adesivo), previamente instalado no veículo, podem optar apenas pelo pagamento em dinheiro nas cabines de cobrança do tipo manual. Em contrapartida, os motoristas que possuem o chip de pedágio instalado, podem optar pela cabine manual ou pela cabine eletrônica expressa. A instalação do chip é feita mediante a contratação de uma das operadoras de serviço credenciadas pelo pedágio para realização da cobrança.

A principal vantagem de instalar e utilizar o TAG como forma de pagamento nas praças de pedágio eletrônica expressa é a rapidez do serviço comparado a praça manual. No serviço com TAG, o motorista deve atravessar o posto de pedágio

a uma velocidade máxima de 40 km/h para que a tecnologia de rádio frequência emita uma onda para o adesivo instalado, leia os dados, faça a cobrança no cartão cadastrado, associado ao dispositivo e por fim, abra a cancela possibilitando a passagem do motorista. O tipo de cobrança no cartão cadastrado, varia de acordo com o serviço contratado pelo usuário na operadora do serviço, podendo ser debitado de créditos previamente pagos pelo usuário, cartão de crédito com data para pagamento da fatura total do serviço utilizado, entre outras formas.

Já no serviço manual, o motorista deve entrar numa fila do tipo FIFO, parar o veículo ou diminuir significativamente a velocidade, aguardar na fila e separar o dinheiro para pagamento. Quando for a sua vez de ser atendido, deve entregar o dinheiro para o funcionário do posto de trabalho, aguardar o troco, caso seja necessário, e o comprovante de pagamento do pedágio. Após a entrega do comprovante pela operadora, a cancela abrirá e permitirá o motorista seguir sua viagem.

Nos postos de trabalho em que a cobrança é realizada com o veículo em movimento, não há a necessidade de imprimir um comprovante de papel para o motorista, gerando vantagens ambientais significativas. Além dos fatores ambientais, pode-se destacar as vantagens econômicas nessa modalidade, pelo fato de que os custos de operação do sistema são menores, por não haver a necessidade de contratar um funcionário para operar o posto de trabalho (DOERING, 1997).

Inicialmente, os custos operacionais da modalidade eletrônica, são superiores aos da modalidade manual, porém quanto maior for o número de usuários na modalidade eletrônica, os custos operacionais diminuem com a mesma proporção, graças ao fato dos custos totais serem divididos por um número maior de usuários (DANDO, 1997).

2.8 EMPRESAS QUE FORNECEM O SERVIÇO DE COBRANÇA DE PEDÁGIO NO ESTADO DE SÃO PAULO VIA CABINE ELETRÔNICA EXPRESSA

Segundo dados da empresa ARTESP (Agência de Transporte do Estado de São Paulo), empresa pela qual regulariza e fiscaliza programas de concessões rodoviárias no Brasil, mostrou que 57,6% dos pagamentos realizados nos pedágios do estado de São Paulo, são oriundos do sistema eletrônico de pedágio.

Um estudo realizado pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da USP, mostrou que o sistema de serviço de cobrança de pedágio via cabine eletrônica expressa é mais eficiente em aspectos econômicos e ambientais. O comportamento das cabines de pedágio é similar a uma lombada, em que o motorista é obrigado a desacelerar o veículo. Nas cabines eletrônicas, aquelas em que o motorista deve trafegar com uma velocidade máxima de 40 km/h, um caminhão leve de três eixos consumiria R\$ 0,52 de óleo de diesel no sistema manual, enquanto no eletrônico gastaria R\$ 0,25. Se o caminhão for de sete eixos em uma fila com 10 veículos a sua frente, o consumo de óleo diesel será de R\$ 1,52, enquanto no sistema eletrônico seria de R\$ 0,74. Dessa forma, o uso das cabines eletrônicas gera uma redução do consumo de combustível e consequentemente emissão de poluentes podendo chegar a ser até 89% em relação a cabine manual (ALVARENGA, 2010)

Até 2019, segundo o site da ARTESP, cinco empresas operam o serviço de cobrança eletrônica no estado de São Paulo e apresentam diferentes formas de planos de adesão para o serviço prestado mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Empresas de cobrança da modalidade eletrônico

Empresas	Taxa de Adesão	Mensalidade
Sem Parar	Adesão Grátis	R\$ 24,90/mês
ConectCar	Adesão Grátis	R\$ 19,90/mês
Greenpass	Sem informação (*)	Sem informação (*)
Move Mais	R\$ 39,90	Pré-pago
Veloe	Adesão Grátis	R\$ 18,90/mês

Fonte: Aatoria Própria.

Segundo o site da ARTESP, a empresa Greenpass, através do serviço Taggy, foi autorizada a atuar nas estradas do estado de São Paulo em 21 de setembro de 2019, porém até 13 de maio de 2019, não há planos disponíveis para comercialização no site da empresa.

Atualmente as cancelas disponíveis para pagamento eletrônico via TAG, não estão apenas disponíveis nos postos de pedágio localizado nas estradas, mas também podem ser utilizados para pagamentos de estacionamento em shoppings, pagamentos de abastecimento do carro nos postos de combustíveis que apresentam a tecnologia, redes de comidas rápidas, entre outros serviços.

O pagamento dos pedágios na modalidade automático é uma forma de diminuir o tempo de espera do motorista ao atravessar a praça de pedágio e contribuir para a diminuição da formação de filas. Porém, por conta de o motorista ter que pagar uma taxa de adesão e/ou mensalidade, não são todos que aderem a essa modalidade e conseqüentemente acarretam na formação de filas nas praças de pedágio.

2.9 SISTEMA DE PEDÁGIO NO MUNDO

O capital privado foi essencial para financiar obras de infraestrutura em todo o mundo. Provavelmente que sem o capital privado, não seria possível alcançar a infraestrutura rodoviária presente na atualidade.

Dessa forma, além do Brasil, países como Estados Unidos e da Comunidade Europeia com exceção da Finlândia e Alemanha aceitam pagar pela utilização de infraestrutura rodoviária operada pela iniciativa privada (SAVARIS, 2008).

Em alguns países, além de coletar valor, o pedágio tem a função de regular o fluxo da rodovia, como ocorre em trechos urbanos de Londres e Cingapura para que determinados veículos não circulem em determinados horários na região.

Em Portugal, em determinados horários em que a rodovia apresenta baixa demanda, a prática de descontos para veículos pesados é uma forma de regular o tráfego.

Outras formas de cobrança de pedágios existentes, são aquelas em que o condutor paga por quilômetro rodado ao invés de uma taxa fixa para a utilização da rodovia. Esse sistema está presente nas estradas da França, Suíça e Austrália (TIEFENSEE, 2005)

2.10 FORMAÇÃO DE FILAS

De acordo com Fogliatti e Mattos (2007), um sistema com fila é qualquer processo em que usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam, se for necessário, saindo do sistema assim que o serviço é completado, ou seja, o indivíduo pode chegar ao sistema e ser imediatamente atendido ou aguardar em um sistema de filas para receber atendimento.

Marinho (2006) aponta as filas como o descompasso entre demanda e oferta, caso a procura pelo atendimento seja maior que a quantidade de postos de trabalho disponíveis para o mesmo e, que a demora no atendimento daqueles que nelas se encontram, causam significativos impactos no bem-estar social.

Um dos primeiros teóricos a examinar o tema foi Agner Krarup Erlang. Em 1908, quando trabalhava para a *Copenhagen Telephone Company*, uma empresa de telefonia europeia com sede em Copenhague, começou a examinar os tempos de espera e publicou seus primeiros resultados no ano de 1909. Por conta do trabalho de redimensionamento de centrais telefônicas, Erlang é considerado o pai da Teoria das Filas.

Porém, foi somente a partir da Segunda Guerra Mundial que a teoria foi aplicada a problemas cotidianos de filas (Prado, 2004), que não necessariamente estão ligadas com o interesse de otimização de serviços em empresas.

2.11 CONCEITOS BÁSICOS

O sistema típico de filas é formado por uma população que chega a um determinado local. Após a chegada, o indivíduo aguarda para ser atendido gerando a formação da fila. Após um determinado período de tempo, o indivíduo será atendido por uma central de atendimento que pode conter um ou mais servidores.

De modo geral, a taxa de chegada (λ), representa o número de entidades que se aproximam do atendimento em uma determinada variação de tempo e, a taxa de atendimento (μ) representa a quantidade de entidades que saíram da fila por unidade de tempo (Shih, 2019).

A formação de filas se dá quando a demanda pelo serviço (taxa de chegada) é maior que a capacidade de atendimento do sistema (taxa de atendimento). Por outro lado, se não houvesse a variabilidade, não haveria a necessidade de ocorrência de filas, pois a capacidade de um processo poderia ser relativamente fácil de ajustar à demanda. Nesse caso, a taxa de chegada é menor que a taxa de atendimento (Slack, 2015).

2.12 DISCIPLINA EM TEORIA DAS FILAS

Para verificar qual é a disciplina da fila no sistema de atendimento, deve-se analisar o momento em que os clientes saem da fila de espera e inicia-se o atendimento. A importância de saber como a disciplina da fila está organizada é que, dependendo da disciplina de atendimento oferecida, pode-se afetar diretamente no desempenho do sistema.

Nas filas com características FIFO (*First In, First Out*), o primeiro indivíduo que entra, é o primeiro a ser atendido e o primeiro a sair do sistema. Esse tipo é um dos mais comuns que existem e podem ser encontrados na maioria das filas de banco.

Nas filas do tipo LIFO (*Last In, First Out*), apresenta um comportamento contrário a FIFO, nessa, o último a entrar é o primeiro a ser atendido. Um exemplo comum desse sistema, é quando se empilha caixas em um sistema, geralmente a primeira caixa do sistema fica na parte de baixo da pilha e a última a entrar, fica na parte de cima. Quando houver necessidade de utilizar as caixas da pilha, geralmente a primeira a ser retirada é a última que entrou no sistema, que conseqüentemente está no topo da pilha.

Existem as filas SIRO (*Service in Random Order*), em que o serviço é feito de maneira aleatória.

E, por fim, as prioritárias, PRI (*Priority Service*), em que independente do momento em que o indivíduo chegue ao sistema, se ele for prioritário, ele será atendido primeiro que os sem prioridade (PORTO 2017).

2.13 NOTAÇÃO

Existem diferentes convenções para a notação usada no sistema de filas. Diferentes autores, podem usar diferentes notações (Slack, 2015). Porém, neste trabalho serão usadas as seguintes notações:

- Taxa de Chegada (λ), representa o número médio de clientes que chegam em um determinado espaço de tempo.
- Taxa de Atendimento (μ), representa o número médio de pessoas atendidas no sistema em um determinado espaço de tempo.

- Fila média (Lq), é o comprimento médio da fila sem incluir o cliente que está sendo atendido.
- Espera média (Wq), é o tempo médio de espera na fila excluindo o tempo que o cliente leva a ser atendido.
- Fila Máxima ($Lq \text{ máx}$) é o maior valor de fila no período.
- Espera Máxima ($Wq \text{ máx}$) é o maior valor de espera no período.
- Número médio de entidades no sistema (Ls).
- Tempo médio de espera no sistema (Ws).
- Número de pessoas sendo atendidas (La).
- Duração do atendimento de uma pessoa (Wa).
- Taxa de utilização (ρ), é a porcentagem de tempo que representa que o serviço está sendo utilizado.
- Taxa média de desocupação do serviço ($1 - \rho$).

Todas as notações dos cálculos serão utilizados ao longo do trabalho como forma de comparar o modelo atual em relação ao modelo proposto.

2.14 APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS

As filas, em si, estão presentes no cotidiano da sociedade, como por exemplo, nos bancos, pedágios, supermercados, cruzamentos de vias, ou seja, no geral, em todos serviços que é necessário esperar para ser atendido.

A importância de estudar as Teorias de Filas é buscar a otimização dos sistemas, melhorando a qualidade dos serviços disponíveis, diminuindo o tempo de espera pelas entidades e aumentando a rapidez no atendimento (GARAY, 2012).

O autor L. PORTO em 2017, analisou as filas de uma agência bancária para avaliar o atendimento da agência, a autora M. TIEFENSEE em 2005, dimensionou as cabines dos pedágios por meio de modelagem e distribuição de Poisson e o autor J. ARAÚJO em 2001 analisou a operação das praças de pedágio de modo a avaliar o tipo de serviço ofertado através de um modelo de simulação.

Dentre as diversas situações apresentadas em que a teoria de filas pode ser utilizada, este trabalho será focado na otimização do tempo de espera de uma praça de pedágio através da alteração da configuração na quantidade de cabines automáticas e manuais. O diferencial deste trabalho está na forma simples como a

tabela da análise de chegadas e atendimento é construída, de modo que todos sem conhecimento prévio do assunto possam entender como as filas são formadas no sistema.

3 METODOLOGIA

Neste tópico, serão abordados os principais métodos utilizados para a realização da pesquisa que irão contribuir para solucionar a problemática estudada.

A escolha do método de pesquisa e técnica de coleta de dados que são utilizados na solução da problemática apresentada no trabalho, dependem de vários fatores tais como pesquisa, natureza dos fenômenos, objeto de pesquisa, recursos financeiros, abordagem da pesquisa, equipe humana, entre outros (MARCONI e LAKATOS, 2006).

Quanto à abordagem da pesquisa, o autor deve definir se ela é qualitativa, quantitativa ou uma combinação entre ambas. Os principais métodos qualitativos utilizados são estudo de caso, pesquisa-ação e a Metodologia de Sistema Suave, desenvolvido por Peter Checkland para solução geral de problemas. Nessa abordagem não há intuito de obter números como resultados, porém entender o melhor caminho para tomada de decisão. No método quantitativo, são utilizados experimentos, pesquisa levantamento e a modelagem e simulação. Como resultado, esse método buscará a melhor solução através da análise dos números obtidos. (TURRIONI e MELLO, 2012).

Segundo CERVO (2007), o método é um conjunto de processos empregados na investigação e na comprovação da veracidade e LAKATO e MARCONI (2006), definem como a reunião das atividades sistemáticas e racionais para que os objetivos de pesquisa tenham maior segurança e economia, auxiliando o pesquisador em suas tomadas de decisão.

3.1 MÉTODOS DE ABORDAGEM

Esta pesquisa possui caráter abordagem quantitativa. De modo que a pesquisa levantamento é essencial para compreender a forma como a maioria das pessoas preferem realizar o pagamento nos postos de trabalho, se elas possuem cartão de crédito, o estudo dos tempos e métodos, custo do operador hora, cálculo de nível de serviço, entre outros fatores que auxiliam para a criação de uma base de dados, para posterior análise dos dados e conclusão.

3.1.1 Pesquisa Levantamento

É um método utilizado para coletar informações diretamente de pessoas a respeito de suas ideias, sentimentos, saúde, planos, crenças, educacional e financeiro. Essa coleta é realizada através de um questionário que pode ser enviado por correio ou e-mail e o indivíduo deve completar com os dados com ou sem assistência (FINK e KOSECOFF, 1998).

A vantagem em utilizar o método pesquisa levantamento é pelo fato que o impacto do problema é justamente absorvido pelos indivíduos que utilizam qualquer transporte para transitar nas rodovias brasileiras. Dessa forma, para buscar a solução do problema é necessário entender o que essas pessoas pensam, pois elas são as principais interessadas na solução.

No caso deste trabalho, a pesquisa levantamento irá compor a abordagem quantitativa e contribuir para analisar hipóteses que serão comprovadas ou não através do resultado do método. As principais informações que serão relevantes ao trabalho serão a respeito das ideias dos indivíduos, sentimentos, planos, educacional e financeiro.

3.2 NATUREZA DA PESQUISA

A natureza dessa pesquisa é aplicada, onde através da análise de dados da pesquisa levantamento, concluirá sobre qual melhor solução para minimizar os tempos gastos para pagamento nos postos de trabalho do pedágio estudado.

3.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho de pesquisa é otimizar o tempo de espera dos motoristas para realização do pagamento nas praças de pedágios, diminuindo assim a formação de filas através de métodos de pagamento mais eficientes.

3.4 PROCEDIMENTO

Para realizar a busca por artigos relacionados ao tema da pesquisa, pesquisou-se nas bases de dados *Scielo* e *Science Direct*. Em ambas plataformas, foram buscados artigos que continham as seguintes palavras chave: filas, métodos estocásticos, pedágios, *queue problem e toll*.

Outras bases de dados consultadas foram o site do ENEGEP, livros físicos na biblioteca da UTFPR, campus Ponta Grossa e livros digitalizados com acesso permitido para finalidade acadêmica.

Por falta de equipamentos que possibilitassem a coleta de dados reais em um intervalo de 24 horas, o número total de veículos representa a média diária de veículos que saem da cidade de Curitiba em direção ao litoral paranaense no período de carnaval segundo sites de pesquisa.

O pedágio Beta é um pedágio fictício localizado entre a cidade de Curitiba e o litoral paranaense, o número total de cabines segue o padrão dos principais pedágios do estado do Paraná.

Após a coleta de dados, foram analisadas todas as possibilidades de quantidade de cabines manuais e automáticas e a melhor que otimizava os dados foi a proposta nesse trabalho.

3.5 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA

Conforme a apresentação da metodologia científica, este trabalho adota o tipo de pesquisa estudo de caso, pelo qual os dados fornecidos construirão a base para o estudo, bem como comparação com o modelo atual da cobrança de pedágio a fim de determinar uma configuração de quantidade de cabines manuais e automáticas de modo a tornar a praça de pedágio mais eficiente.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 CONFIGURAÇÃO ATUAL DO PEDÁGIO

O pedágio em que o estudo foi realizado, localiza-se no estado de Paraná e apresenta um fluxo de veículos diário. Por questões de confidencialidade dos dados e preservação da imagem da empresa prestadora do serviço, adotou-se o nome fictício do pedágio em questão por “Pedágio Beta”.

A praça de pedágio em que o Pedágio Beta está instalado é composta por 6 cabines de pagamento, sendo 4 da modalidade manual e 2 da modalidade automática exclusiva. A disposição das cabines de pedágio é mostrada na Figura 4.

Figura 4: Disposição das cabines de pedágio



Fonte: BALCONISTA (2019)

As duas cabines da direita, que estão com as setas com *LED* verde apontadas para baixo acesas são as cabines da modalidade automática exclusiva em que o pagamento é realizado de maneira automática através de um TAG previamente instalado no para-brisa vinculado com os dados para cobrança informados pelo condutor do veículo.

Os motoristas que não possuem o chip de pedágio, denominado TAG (adesivo), previamente instalado no veículo, podem optar apenas pelo pagamento

em dinheiro nas cabines de cobrança do tipo manual. Estas cabines são as quatro primeiras da esquerda, sendo que no caso da Figura 4, três cabines estão fechadas, representadas pelo “X” em led vermelho no topo da cabine e uma cabine ao lado que está aberta, representada pela seta apontando para baixo acesa com *LED* verde.

Para esse estudo foi considerado um cenário em que todas as cabines do pedágio estão funcionando, ou seja, todas as cabines estavam com a seta apontando para baixo com *LED* verde ligado e que os carros que possuíam a TAG só utilizaram a cabine de cobrança do tipo eletrônica exclusiva.

Os usuários que utilizam a modalidade de pagamento eletrônica exclusiva representam 43% do total de veículos que utilizam o Pedágio Beta. Com isso os passageiros que utilizam a modalidade de cabine manual representam 57% do tráfego diário de veículos.

Para calcular a quantidade de carros atendidos por hora em cada um dos tipos de cabines, foi realizada a média simples dos resultados obtidos dos estudos da Figura 1 – Tipos de Cabine.

Com isso a taxa de carros atendidos por hora para a modalidade manual foi a média simples dos valores da Figura 1: 350, 360, 225 e 350. O resultado obtido foi de 321,25 carros atendidos por hora e por cabine de operação. Como na praça estudada existe 4 cabines na modalidade manual, a taxa de atendimento das cabines manuais é de 1285 carros por hora.

A taxa de carros atendidos por hora para a modalidade eletrônica exclusiva também foi calculada pela média dos valores: 1200 e 1200. O resultado obtido foi de 1200 carros atendidos por hora e por cabine de operação. Como na configuração atual da praça existem 2 cabines dessa modalidade, a taxa de atendimento das cabines eletrônicas exclusivas é de 2400 carros por hora.

O fluxo total de veículos transitados na rodovia, medido próximo do pedágio, em um intervalo de tempo de 24 horas foi de 43.400 veículos. Porém em alguns intervalos de tempo, o fluxo de carros era pequeno e existia pouca formação de fila. Porém, em intervalos específicos no período da noite, o fluxo era muito maior e consequentemente a formação de fila também era mais expressiva.

Com isso adotou-se uma classificação para os intervalos em três níveis de fluxo de veículos: fraco, moderado e intenso.

Como não foi encontrada na literatura nenhum autor que definiu os níveis de fluxo de veículo em praças de pedágio, adotou-se o seguinte parâmetro:

- Fluxo de veículos nível fraco (verde): É aquele que apresenta um fluxo de veículos igual ou menor que 1400 veículos por hora.

- Fluxo de veículo moderado (amarelo): É aquele em que o fluxo de veículos é maior do que 1400 veículos por hora e inferior ou igual a 2000 veículos por hora.

- Fluxo de veículo intenso (vermelho): É aquele em que o fluxo de veículos é maior do que 2000 veículos por hora, ocasionando geração de filas.

A Tabela 3 representa todos os intervalos de tempo e os níveis de fluxo de carro em cada intervalo.

Tabela 3: Nível do fluxo de veículos por intervalos de tempo

Intervalo	Horário	Veículos/hora	Nível do Fluxo
1	00h - 1h	800	Fraco
2	1h - 2h	1100	Fraco
3	2h - 3h	1400	Fraco
4	3h - 4h	1600	Moderado
5	4h - 5h	1750	Moderado
6	5h - 6h	1900	Moderado
7	6h - 7h	2150	Intenso
8	7h - 8h	2400	Intenso
9	8h - 9h	2750	Intenso
10	9h - 10h	2400	Intenso
11	10h - 11h	1800	Moderado
12	11h - 12h	1500	Moderado
13	12h - 13h	1350	Fraco
14	13h - 14h	1300	Fraco
15	14h - 15h	1550	Moderado
16	15h - 16h	1800	Moderado
17	16h - 17h	2150	Intenso
18	17h - 18h	2800	Intenso
19	18h - 19h	2200	Intenso
20	19h - 20h	2150	Intenso
21	20h - 21h	1950	Moderado
22	21h - 22h	1700	Moderado
23	22h - 23h	1550	Moderado
24	23h - 24h	1350	Fraco

Fonte: A autoria própria

Há um nível de fluxo intenso principalmente no horário de início de horário comercial de trabalho e no final do expediente como pode ser observado.

4.2 ESTUDO DE CASO PARA CABINES MANUAIS

Os cálculos para o estudo de caso foram divididos entre os dois tipos de cabine existente na praça de pedágio. Dessa forma, o estudo de caso gerou uma análise de filas referente às cabines manuais e outra relativa a cobrança automática.

Através do cálculo das médias dos autores referenciados no tópico anterior, concluiu-se que a capacidade máxima de atendimento nas cabines manuais é de 321,25 carros atendidos por hora. Como na praça de pedágio existe 4 cabines manuais, a taxa de atendimento total das cabines manuais é de 1285 carros atendidos por hora. Essa taxa representa a máxima capacidade de atendimento das cabines manuais, portanto quando a chegada de veículos for maior que a capacidade máxima de atendimento, haverá a formação de filas.

O número total de veículos que chegam por hora, a chegada acumulada, o atendimento, o atendimento acumulado e a formação de fila da modalidade de cabine manual podem ser vistas na Tabela 4.

Tabela 4: Estudo de caso modalidade cabine manual

Intervalo de Tempo	Chegada (veículos/h)	Chegada Acumulada (veículos/h)	Atendimento (veículos)	Atendimento Acumulado (veículos/h)	Fila (veículos)
1	456	456	456,00	456,00	-
2	627	1083	627,00	1.083,00	-
3	798	1881	798,00	1.881,00	-
4	912	2793	912,00	2.793,00	-
5	997,5	3790,5	997,50	3.790,50	-
6	1083	4873,5	1.083,00	4.873,50	-
7	1225,5	6099	1.225,50	6.099,00	-
8	1368	7467	1.285,00	7.384,00	83,00
9	1567,5	9034,5	1.285,00	8.669,00	365,50
10	1368	10402,5	1.285,00	9.954,00	448,50
11	1026	11428,5	1.285,00	11.239,00	189,50
12	855	12283,5	1.044,50	12.283,50	-
13	769,5	13053	769,50	13.053,00	-
14	741	13794	741,00	13.794,00	-
15	883,5	14677,5	883,50	14.677,50	-
16	1026	15703,5	1.026,00	15.703,50	-
17	1225,5	16929	1.225,50	16.929,00	-
18	1596	18525	1.285,00	18.214,00	311,00
19	1254	19779	1.285,00	19.499,00	280,00
20	1225,5	21004,5	1.285,00	20.784,00	220,50
21	1111,5	22116	1.285,00	22.069,00	47,00
22	969	23085	1.016,00	23.085,00	-
23	883,5	23968,5	883,50	23.968,50	-
24	769,5	24738	769,50	24.738,00	-

Fonte: Autoria própria

Do total de usuários do serviço de pedágio por hora, sabe-se que 57% dos usuários não possuem o chip instalado no carro e utilizam exclusivamente a modalidade de pagamento manual. Dessa forma, a chegada nas cabines manuais é calculada como 57% da chegada total de veículos por hora. Por exemplo a chegada total no intervalo de tempo 1 são 800 veículos/hora, 57% de 800 veículos são 456 veículos/hora.

A chegada acumulada é o somatório de todas as chegadas de veículos no sistema.

A capacidade máxima de atendimento do sistema é de 1285 carros por hora, portanto em alguns momentos, a chegada é inferior a máxima capacidade do sistema e o número de entidades atendidas é igual ao número de entidades que chegam para serem atendidas, gerando ociosidade dos funcionários.

Em contrapartida, em alguns momentos, a chegada é superior a capacidade máxima de atendimento, gerando filas. E, existe também um terceiro momento em que a chegada é inferior a capacidade máxima de atendimento, porém o sistema apresenta filas, dessa forma, a taxa de atendimento não será a mesma do número de entidades pois o sistema trabalhará para eliminar totalmente as filas até zerá-la.

O atendimento acumulado é o somatório de todos os atendimentos de veículo no sistema.

A fila é calculada pela subtração entre a chegada acumulada e o atendimento acumulado.

4.3 CÁLCULOS DO ESTUDO DE CASO PARA CABINES MANUAIS

A fila média (\bar{Lq}) do sistema foi calculada pelo somatório do número de leituras de filas e divididas pelo total de intervalos de tempo. O cálculo foi: $\bar{Lq} = (1945 / 24) = 81,04$. Ou seja, em média a cada uma hora, existem 81 carros esperando para serem atendidos no sistema.

A taxa de atendimento (μ) para as cabines manuais é calculada pela divisão entre a quantidade total de atendimento dividida por 60 minutos (1 hora), $\mu = (1285 / 60 = 21,42)$. Ou seja, a cada um minuto são atendidos 21,42 carros nas cabines manuais juntos. Para saber a taxa de atendimento por cabine manual, basta dividir o resultado por 4, ou seja, são atendidos 5,35 veículos por minuto ou 1 veículo é atendido a cada 11,21 segundos por cada cabine manual.

Através da fila média, pode-se calcular a espera média (Wq) que é calculada pela divisão da fila média pela taxa de atendimento. O cálculo é: $Wq = Lq / \mu = 81,04 / 21,42 = 3,78$ minutos. Ou seja, a espera média do usuário no sistema é de 3 minutos e 47 segundos.

A fila máxima ($Lq \text{ máx}$) do sistema é o valor máximo de fila registrado no período, no caso a máxima fila ocorreu no intervalo de tempo total quando 448,50 veículos aguardavam atendimento. A espera máxima ($Wq \text{ máx}$) é calcula pela divisão da fila máxima em relação a taxa de atendimento, $Wq \text{ máx} = (448,50 / 21,42) = 20,94$ minutos. Ou seja, o último veículo da fila nesse momento quando a fila foi máxima esperou 20 minutos e 56 segundos para ser atendido.

A taxa de utilização do sistema (ρ) é medido pela porcentagem de tempo que o serviço está sendo utilizado e corresponde a 80,2%, ou seja, o atendendo está ocupando atendendo os veículos em média 48 minutos de um total de 1 hora.

Em resumo, os cálculos realizados e os resultados obtidos estão na figura 5.

Figura 5: Cálculos da Cabine Manual

Indicador	Fórmula	Resultado	Unidade
Fila Média	$Lq = \Sigma \text{filas} / \Sigma \text{intervalos}$	81,04	veículos
Taxa de atendimento	$\mu = \text{Capacidade Máxima de Atendimento} / \text{minuto}$	21,42	veículos
Espera média	$Wq = Lq / \mu$	3,78	minutos
Fila máxima	$Lq \text{ máx} = \text{Fila Máxima} / \mu$	20,94	minutos
taxa de utilização do sistema	$\rho = \Sigma \text{Utilização} / \Sigma \text{intervalos}$	80,2	%

Fonte: Autoria própria

4.4 ESTUDO DE CASO PARA CABINES ELETRÔNICAS EXCLUSIVAS

Através do cálculo das médias dos autores para obter um valor de atendimento médio para cabines manuais, também se obteve um valor médio para atendimento em cabines automáticas que possuem a capacidade máxima de atendimento nas cabines de 1200 veículos atendidos por hora, ou seja, 1 veículo é atendido a cada 3 segundos. Como na praça de pedágio existe 2 cabines eletrônicas, a taxa de atendimento total das cabines manuais é de 2400 veículos atendidos por hora.

O número total de veículos que chegam por hora, a chegada acumulada, o atendimento, o atendimento acumulado e a formação de fila da modalidade de cabine manual podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5: Estudo de caso modalidade cabine eletrônica

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
1	344	344	344,0	344,0	-
2	473	817	473,0	817,0	-
3	602	1419	602,0	1.419,0	-
4	688	2107	688,0	2.107,0	-
5	752,5	2859,5	752,5	2.859,5	-
6	817	3676,5	817,0	3.676,5	-
7	924,5	4601	924,5	4.601,0	-
8	1032	5633	1.032,0	5.633,0	-
9	1182,5	6815,5	1.182,5	6.815,5	-
10	1032	7847,5	1.032,0	7.847,5	-
11	774	8621,5	774,0	8.621,5	-
12	645	9266,5	645,0	9.266,5	-
13	580,5	9847	580,5	9.847,0	-
14	559	10406	559,0	10.406,0	-
15	666,5	11072,5	666,5	11.072,5	-
16	774	11846,5	774,0	11.846,5	-
17	924,5	12771	924,5	12.771,0	-
18	1204	13975	1.204,0	13.975,0	-
19	946	14921	946,0	14.921,0	-
20	924,5	15845,5	924,5	15.845,5	-
21	838,5	16684	838,5	16.684,0	-
22	731	17415	731,0	17.415,0	-
23	666,5	18081,5	666,5	18.081,5	-
24	580,5	18662	580,5	18.662,0	-

Fonte: Autoria própria

Do total de usuários do serviço de pedágio por hora, sabe-se que 43% dos usuários possuem o chip instalado no carro e utilizam exclusivamente a modalidade de pagamento eletrônica exclusiva.

Em nenhum momento o atendimento do sistema atinge a capacidade máxima de atendimento que é de 2400 veículos por hora, dessa forma o número de entidades atendidas é igual ao número de entidades que chegam para serem atendidas, não gerando filas.

Em contrapartida, o sistema estava operando muito abaixo de sua máxima capacidade, gerando ociosidade do sistema eletrônico de 67,6%. Isso representa que em média a cada uma hora, a modalidade de pagamento era utilizada 19 minutos e 25 segundos (32,4%).

Todos os cálculos realizados anteriormente estão na figura 6.

Figura 6: Cálculos da Cabine Automática

Indicador	Fórmula	Resultado	Unidade
Fila Média	$Lq = \Sigma \text{filas} / \Sigma \text{intervalos}$	0	veículos
Taxa de atendimento	$\mu = \text{Capacidade Máxima de Atendimento} / \text{minuto}$	40	veículos
Espera média	$Wq = Lq / \mu$	0	minutos
Fila máxima	$Lq \text{ máx} = \text{Fila Máxima} / \mu$	0	minutos
taxa de utilização do sistema	$\rho = \Sigma \text{Utilização} / \Sigma \text{intervalos}$	32,4	%

Fonte: Autoria própria

4.5 CUSTOS OPERACIONAIS DO SISTEMA

Segundo a SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS (1965), o custo de um sistema que presta serviço pode ser obtido através da expressão 1, que leva em consideração o custo de manufatura, custo de engenharia, custo de distribuição e custo administrativo.

$$C_{\text{REAL}} = C_{\text{MANUFATURA}} + C_{\text{ENGENHARIA}} + C_{\text{ADMINISTRATIVO}} + C_{\text{DISTRIBUIÇÃO}} \quad (1)$$

O custo de manufatura representa o custo associado às transformações da peça, o custo de engenharia é o custo associado ao desenvolvimento da peça antes da transformação, o custo de distribuição está associado às atividades relacionadas a logística e os custos administrativos representam os custos das atividades que dão suporte ao processo.

Como o foco deste trabalho são os custos operacionais da praça de pedágio pois o pedágio é um prestador de serviço ao usuário, considerou-se apenas o custo administrativo, sendo que os demais custos (manufatura, engenharia e distribuição), não serão estudados neste trabalho.

4.6 CUSTO ADMINISTRATIVO DA PRAÇA DE PEDÁGIO DA CABINE MANUAL

O custo administrativo considera o número de colaboradores da praça de pedágio, o custo da hora de trabalho de cada operador e a jornada de trabalho. Para este trabalho será adotado a expressão 2.

$C_{ADMINISTRATIVO} = n^{\circ} \text{ de colaboradores} \times \text{Custo hora/homem} \times \text{Jornada de Trabalho}$ (2)

Segundo o portal *online* de cargos e salários denominado “Salários”, que utiliza dados estatísticos do mercado de trabalho brasileiro com dados oficiais do CAGED (Cadastro Geral de Empregados e Desempregados), o salário médio de um atendente de pedágio brasileiro mensal em 2019 é R\$1.278,24. O estudo levou em consideração dados de 517 mil funcionários no período de janeiro de 2019 a agosto de 2019. (SALÁRIOS, 2019)

Como no pedágio estudado existem 4 cabines manuais, cada uma das cabines trabalha um operador, logo pode-se concluir que o número de trabalhadores por turno de 12 horas é de quatro atendentes de pedágio com salário mensal definido através do estudo do CAGED.

Para calcular o custo homem/hora, considerou-se a escala de trabalho de 12 horas trabalhadas com uma hora de almoço e revezamento 2x2, ou seja, dois dias de trabalho e dois dias de folga. Dessa forma, o custo homem/hora representa o custo do trabalhador em uma hora de serviço. Considerou-se para o cálculo que um mês tem 30 dias, ou seja, o trabalhador na escala 2x2 trabalha 15 dias no mês. Após dividir o salário médio mensal da profissão que é de R\$ 1.278,24 pelas horas trabalhadas do operador que é de 180 horas, concluiu-se que o custo hora/homem é de R\$7,10. Ou seja, o custo de uma hora de trabalho por operador para a empresa é de R\$ 7,10.

No estudo levou-se em conta apenas os custos administrativos de operação, não sendo considerado o custo de demais trabalhadores que não atuem diretamente nas seguintes funções: atendimento aos motoristas, recebimento da tarifa, devolução de troco, registro e liberação da passagem dos veículos.

A jornada de trabalho é representada pelo tempo em que o trabalhador fica à disposição do empregador. As horas que extrapolarem esse limite, antes e depois do expediente, bem como finais de semana e feriados são consideradas horas extra. (GUIA EMPREENDEDOR, 2019).

Após definida como uma das variáveis, calculou-se o custo administrativo da praça em uma hora com o formato de quatro cabines manuais e duas automáticas, na expressão 3.

$$C_{\text{ADMINISTRATIVO (hora)}} = 4 \times 7,10 \times 1 = \text{R\$ } 28,40 \quad (3)$$

O custo administrativo operacional das cabines manuais em uma hora é de R\$ 28,40.

4.7 NÍVEL DE SERVIÇO

O nível de serviço será medido através do estudo realizado pelos autores Lin e Su (1994) expresso no trabalho na Figura 2, que leva em consideração o número médio de veículos na fila e o tempo médio no sistema medido em segundos.

Como o pedágio com cabine automática não houve a formação de fila, pode-se afirmar que o nível de atendimento em relação ao número médio de veículos na fila e tempo médio no sistema é excelente, ou seja, a sua classificação geral é A que represente o mais alto nível a ser atingido em uma escala de A até F.

Para o pedágio com cabine manual, considerou-se os resultados obtidos nos cálculos anteriores, onde obteve-se 81 carros no período de uma hora como fila média do sistema e tempo médio de espera de cada motorista é de 3 minutos e 47 segundos.

Como a fila média é maior que 10 veículos por hora e o tempo médio de espera no sistema é maior que 1 minuto e 20 segundos, classificou-se o nível de serviço para cabines manuais do tipo F, que representa ineficiência na qualidade de atendimento.

5 PROPOSTA DE MELHORIA PARA O CASO ESTUDADO

Afim de encontrar a quantidade ótima que melhore o nível de serviço na praça de Pedágio Beta de cabines automáticas e manuais, testou-se diversas combinações de quantidade de cabines. Os subtópicos seguintes apresentam os resultados da melhor sugestão de melhoria obtida dos anexos, as discussões e comparações com a configuração atual. Todas as configurações sugeridas são encontradas no Anexo A ao final deste trabalho.

Como o nível do serviço para as cabines manuais apresenta a maior ineficiência e baixa qualidade de atendimento aos usuários de modo que em contrapartida, a qualidade do serviço de cabines automáticas apresenta a máxima qualidade e satisfação do usuário. Uma alternativa visando a diminuição da fila no estudo de caso analisado seria o balanceamento do tipo de cabine do pedágio em relação à quantidade de usuários que apresentam a tecnologia para usufruir da cabine do tipo eletrônica e a diferença no tempo de atendimento de cada cabine.

5.1 MUDANÇA NO NÚMERO DE CABINES DE CADA MODALIDADE DE COBRANÇA

Na configuração atual o pedágio apresenta quatro cabines da modalidade manual e duas cabines na modalidade eletrônica. A velocidade de atendimento na cabine eletrônica é quatro vezes maior em relação a cabine manual e apenas 43% dos usuários que utilizam o pedágio em questão passam pela cabine eletrônica. Desse modo, uma alternativa seria trocar uma cabine eletrônica por uma cabine manual conforme apresentado na tabela 6 e 7, totalizando na nova configuração cinco cabines na modalidade manual e uma cabine na modalidade eletrônica.

Tabela 6: Estudo de caso modalidade cabine manual com proposta de melhoria

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
1	456	456	456,0	456,0	-
2	627	1083	627,0	1.083,0	-
3	798	1881	798,0	1.881,0	-
4	912	2793	912,0	2.793,0	-
5	997,5	3790,5	997,5	3.790,5	-
6	1083	4873,5	1.083,0	4.873,5	-
7	1225,5	6099	1.225,5	6.099,0	-
8	1368	7467	1.368,0	7.467,0	-
9	1567,5	9034,5	1.567,5	9.034,5	-
10	1368	10402,5	1.368,0	10.402,5	-
11	1026	11428,5	1.026,0	11.428,5	-
12	855	12283,5	855,0	12.283,5	-
13	769,5	13053	769,5	13.053,0	-
14	741	13794	741,0	13.794,0	-
15	883,5	14677,5	883,5	14.677,5	-
16	1026	15703,5	1.026,0	15.703,5	-
17	1225,5	16929	1.225,5	16.929,0	-
18	1596	18525	1.596,0	18.525,0	-
19	1254	19779	1.254,0	19.779,0	-
20	1225,5	21004,5	1.225,5	21.004,5	-
21	1111,5	22116	1.111,5	22.116,0	-
22	969	23085	969,0	23.085,0	-
23	883,5	23968,5	883,5	23.968,5	-
24	769,5	24738	769,5	24.738,0	-

Fonte: Autoria própria

A capacidade máxima de atendimento com uma cabine manual a mais em funcionamento passou de 1285 carros atendidos por hora para 1606,25 carros atendidos por hora. Como o pico de chegada ocorre quando o tempo é igual a 18, quando chegam 1596 veículos por hora e esse valor é inferior a capacidade máxima de atendimento, não há a formação de filas.

Tabela 7: Estudo de caso modalidade cabine automática com proposta de melhoria

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
1	344	344	344,0	344,0	-
2	473	817	473,0	817,0	-
3	602	1419	602,0	1.419,0	-
4	688	2107	688,0	2.107,0	-
5	752,5	2859,5	752,5	2.859,5	-
6	817	3676,5	817,0	3.676,5	-
7	924,5	4601	924,5	4.601,0	-
8	1032	5633	1.032,0	5.633,0	-
9	1182,5	6815,5	1.182,5	6.815,5	-
10	1032	7847,5	1.032,0	7.847,5	-
11	774	8621,5	774,0	8.621,5	-
12	645	9266,5	645,0	9.266,5	-
13	580,5	9847	580,5	9.847,0	-
14	559	10406	559,0	10.406,0	-
15	666,5	11072,5	666,5	11.072,5	-
16	774	11846,5	774,0	11.846,5	-
17	924,5	12771	924,5	12.771,0	-
18	1204	13975	1.200,0	13.971,0	4,00
19	946	14921	950,0	14.921,0	-
20	924,5	15845,5	924,5	15.845,5	-
21	838,5	16684	838,5	16.684,0	-
22	731	17415	731,0	17.415,0	-
23	666,5	18081,5	666,5	18.081,5	-
24	580,5	18662	580,5	18.662,0	-

Fonte: Autoria própria

Na modalidade eletrônica a capacidade de atendimento diminuiu pela metade, passando de uma capacidade máxima de atendimento de 2400 veículos por hora para 1200 veículos por hora. O impacto dessa alteração é a presença de 4 veículos na fila quando o tempo é igual a 18, em que chegam 1204 veículos em uma hora e a capacidade máxima de atendimento é de 1200 veículos. Porém ao analisar o tempo de espera médio do sistema, os quatro veículos se tornam praticamente insignificantes.

5.2 NOVOS CÁLCULOS DO ESTUDO DE CASO PARA AMBAS CABINES

Após a alternativa substituir uma cabine da praça de pedágio, aumentando o número de cabine manual em uma unidade e diminuindo o número de cabine

automática em uma unidade, realizou-se novamente os cálculos para a nova configuração mostrados na Tabela 8.

Tabela 8: Comparativo entre a configuração original x configuração proposta

	Configuração: 4 C.M. + 2 C.A.		Configuração: 5 C.M. + 1 C.A.	
	C.M.	C.A.	C.M.	C.A.
Fila Média (carros)	81,04	0	0	0,17
Espera Média (minutos)	3,78	0	0	0
Fila Máxima (carros)	448,5	0	0	4
Espera Máxima (minutos)	20,94	0	0	0,2
Taxa de Utilização (%)	80,20%	32,40%	64,17%	64,79%

Fonte: Autoria própria

A primeira coluna da Tabela 8 (da esquerda para direita), representa os cálculos realizado para configuração original, sendo que foi analisado a fila média (\bar{L}_q) medida em número de carros, a espera média (W_q) medida em tempo de espera em minutos, a fila máxima ($L_q \text{ máx}$) medida em número máximo de veículos na fila, a espera máxima ($W_q \text{ máx}$) representada pelo maior tempo de espera de um veículo na fila e taxa de utilização (ρ) que é medido pela porcentagem de tempo que o serviço está sendo utilizado.

As duas colunas seguintes, mostram os resultados obtidos em relação aos cálculos realizados com a configuração do pedágio original, sendo quatro cabines manuais (CM) e duas cabines automáticas (CA). A forma como os cálculos foram realizados pode ser encontrada na seção 4.3 e 4.4 deste trabalho.

As próximas duas colunas, representam os novos cálculos para a nova configuração proposta de cinco cabines manuais (CM) e uma cabine automática (CA). Os resultados obtidos para os usuários que utilizam a modalidade cabine manual, que representam 57% do total de motoristas, foram surpreendentes. Na configuração original os usuários chegavam a esperar o atendimento por até 20 minutos e 54 segundos e na nova configuração proposta, os usuários não precisam esperar para serem atendidos pois não há formação de fila devido ao aumento do número de atendentes.

Portanto os valores de fila média, espera média, fila máxima e espera máxima são zero, pois a taxa de chegada é inferior à taxa de atendimento. Por outro lado, a taxa de utilização do serviço diminuiu, passando de 80,20% do total de

tempo que os atendentes estão ocupados para 64,17%, pois como a taxa de chegada é menor que a taxa de atendimento, os atendentes ficam mais tempo aguardando a chegada de um novo veículo do que na configuração de pedágio original, porém o atendimento oferecido ao usuário melhorou.

Em relação às cabines automáticas, a taxa de utilização do serviço aumentou, passando de 32,40% para 64,79%. Esse aumento está realizado pelo fato da retirada de uma cabine dessa modalidade impactando na diminuição da capacidade de atendimento e gerando uma maior ocupação do serviço.

O lado negativo da alteração na configuração foi que as cabines automáticas que antes não apresentavam filas, na nova configuração apresentaram uma fila máxima de 4 veículos em um período de pico de trânsito na praça de pedágio.

Esses quatro veículos geraram uma espera máxima de 12 segundos para serem atendidos, porém como a fila formou-se apenas em um momento específico, ao calcular a fila média e a espera média os quatro veículos geram resultados muito próximo de zero, considerando duas casas decimais e, portanto, podem ser considerados inexpressivos nas 24 horas registradas.

5.3 IMPACTOS FINANCEIROS APÓS PROPOSTA DE MELHORIA

O custo administrativo calculado na seção 4.6 calculado pela expressão 2, levou em consideração o número de colaboradores da praça de pedágio, o custo da hora de trabalho de cada operador e a jornada de trabalho.

Em relação ao custo hora de trabalho de cada operador, o valor obtido no cálculo da seção 4.6 é o mesmo resultado de R\$ 7,10 reais. Como cada atendente trabalha 12 horas por dia, a abertura de uma nova cabine manual gerará a contratação de dois novos atendentes na praça, gerando um custo extra de R\$ 2.556,48 sem contar os encargos trabalhistas dos novos operadores. Esse custo foi calculado pela multiplicação de dois colabores em relação ao salário base da profissão que é de R\$1.278,24 mensais.

Após definida como uma das variáveis, calculou-se o novo custo administrativo da praça em uma hora com o formato de cinco cabines manuais e uma automática, na expressão 4.

$$C_{\text{ADMINISTRATIVO (hora)}} = 5 \times 7,10 \times 1 = \text{R\$ } 35,50 \quad (4)$$

Dessa forma, o novo custo administrativo operacional das cabines manuais em uma hora é de R\$ 35,50. Ou seja, houve um aumento 25% no custo total original.

5.4 NÍVEL DE SERVIÇO APÓS PROPOSTA DE MELHORIA

O nível de serviço que pode ser encontrado na seção 2.6 deste trabalho, em que os autores Lin e Su (1994) elaboraram uma metodologia utilizando o comprimento médio de fila e tempo médio de espera em pedágios para classificar a qualidade do serviço, a tabela com os seis níveis de serviço pode ser encontrada na Figura 2.

O nível de serviço para o pedágio na configuração original obteve o pior resultado na modalidade cabine manual por conta do alto tempo médio de espera, sendo classificado como tipo F e o nível de serviço para a modalidade eletrônica obteve o melhor resultado sendo classificado como tipo A por não haver a formação de fila.

Para a nova configuração de pedágio proposto, o novo nível de serviço para o pedágio na configuração cabine manual obteve a melhor classificação por conta de não haver formação de fila, logo como o tempo médio no sistema é inferior a 15 segundos, a classificação do pedágio é nível A.

O nível de pedágio para a cabine automática, mesmo com a presença de uma pequena fila de quatro carros quando o tempo é igual a 18, manteve o nível de serviço A pois o tempo médio no sistema é inferior a 15 segundos e a fila média no sistema também é inferior a um veículo.

Dessa forma, após a proposta de melhoria ambas as cabines estão operando com nível de serviço A, trabalhando com a máxima qualidade de serviço oferecida aos usuários que trafegam na rodovia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se a utilização de conceitos relacionados à Teoria de Filas para a otimização das filas em uma praça de pedágio denominada Pedágio beta localizada no estado do Paraná, o pagamento das tarifas pelo uso da rodovia e pelos serviços prestados pelas concessionárias são toleráveis, porém a interferência do tempo de viagem ocasionada por filas para pagamento é intolerável.

Com a aplicação dos conceitos relacionados à Teoria de Filas, principalmente taxa de chegada variável, taxa de atendimento e formação de filas, objetivou-se contribuir para a melhora da qualidade do sistema de pedágios no Brasil. O objetivo principal desse trabalho foi propor uma melhoria para uma praça de atendimento específica, porém o mesmo estudo pode ser aplicado no dimensionamento ou reforma de outras praças de pedágio brasileiras.

A utilização do *software* Microsoft Excel foi essencial para os cálculos realizados neste trabalho, o aproveitamento dos inúmeros recursos do software como construção de tabelas, gráficos, utilização de fórmulas matemáticas, facilitam a compreensão do tema e dos resultados por estudantes de nível de escolaridade acima do Ensino Fundamental.

Apesar de ter conhecimento de que a tendência mundial para solucionar este tipo de problema seja por meio da simulação, por motivos de simplicidade no entendimento e manuseio, este trabalho optou-se por desenvolver a modelagem em planilhas eletrônicas aplicando os conceitos da Teoria das Filas.

Para o aprofundamento do tema, sugere-se a realização do estudo de novos sistemas de cobrança presente em outros países comentados na seção 2.9 deste trabalho, sendo que alguns sistemas já estão sendo utilizados no Brasil como por exemplo o sistema de pagamento do quilometro rodado presente em países como a França, Suíça e Austrália.

Esse trabalho vai na contramão do meio mais lógico para acabar com as filas de pedágio que seria a utilização do sistema de cobrança eletrônica por apresentar uma capacidade de atendimento quatro vezes maior em relação à cobrança manual. Porém nem todos usuários aderiram a esse método ora pela taxa de instalação e adesão ou taxa mensal de cobrança ou baixa utilização das rodovias. Dessa forma, como pode-se ver neste trabalho, a instalação de cabines automáticas deve entender as reais necessidades do usuário na utilização do pedágio daquela região.

ANEXO A – Resultado dos testes realizados alterando a quantidade de cabine manual e automática na Praça de Pedágio Beta

Nesta seção do trabalho encontra-se todos os testes realizados das combinações possíveis na quantidade de cabines manuais e automáticas na Praça de Pedágio Beta. Os testes foram realizados como forma de obter a configuração que diminua o tempo de espera dos usuários na fila e aumente o nível do serviço ofertado.

Dessa forma, testou-se as seguintes configurações: uma cabine automática e cinco cabines manuais, duas cabines automáticas e quatro cabines manuais, três cabines automáticas e três cabines manuais, quatro cabines automáticas e duas cabines manuais e uma cabine manual e cinco cabines automáticas.

1) Configuração Teste 1: uma cabine automática e 5 cabines manuais:

Os resultados obtidos na configuração de 5 cabines manuais e 1 cabine automática são mostrados na Tabela 6 e 7, respectivamente. Essa configuração após os testes realizados foi classificada como a ideal para o fluxo de veículos. A comparação dos resultados originais em relação a essa nova configuração é mostrada na Tabela 8.

2) Configuração Teste 2: duas cabines automáticas e quatro cabines manuais:

Os resultados obtidos na configuração de 4 cabines manuais e 2 cabines automática são mostrados na Tabela 4 e 5, respectivamente. Essa configuração está atualmente em uso na Praça de Pedágio Beta.

3) Configuração Teste 3: três cabines automáticas e três cabines manuais:

Na configuração Teste 3 mostrada na Tabela 9, a fila média de veículos por hora é de 1437 veículos. A medida que aumenta o número de cabines automáticas e diminui o número de cabines manuais e aumenta o tamanho da fila. A capacidade máxima de atendimento na modalidade de cabine automática é 3,73 vezes maior que na cabine manual. Por outro lado, a quantidade máxima de veículos que utilizaram a modalidade automática em um intervalo de tempo é de 1204 carros e a capacidade atual proposta com três cabines automáticas possuem capacidade de atendimento de 3600 carros por hora ocasionando uma grande ociosidade no serviço automático.

Tabela 9: Estudo de caso modalidade com 3 cabines manuais

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
1	456	456	456,0	456,0	-
2	627	1083	627,0	1.083,0	-
3	798	1881	798,0	1.881,0	-
4	912	2793	912,0	2.793,0	-
5	997,5	3790,5	963,8	3.756,8	33,75
6	1083	4873,5	963,8	4.720,5	153,00
7	1225,5	6099	963,8	5.684,3	414,75
8	1368	7467	963,8	6.648,0	819,00
9	1567,5	9034,5	963,8	7.611,8	1.422,75
10	1368	10402,5	963,8	8.575,5	1.827,00
11	1026	11428,5	963,8	9.539,3	1.889,25
12	855	12283,5	963,8	10.503,0	1.780,50
13	769,5	13053	963,8	11.466,8	1.586,25
14	741	13794	963,8	12.430,5	1.363,50
15	883,5	14677,5	963,8	13.394,3	1.283,25
16	1026	15703,5	963,8	14.358,0	1.345,50
17	1225,5	16929	963,8	15.321,8	1.607,25
18	1596	18525	963,8	16.285,5	2.239,50
19	1254	19779	963,8	17.249,3	2.529,75
20	1225,5	21004,5	963,8	18.213,0	2.791,50
21	1111,5	22116	963,8	19.176,8	2.939,25
22	969	23085	963,8	20.140,5	2.944,50
23	883,5	23968,5	963,8	21.104,3	2.864,25
24	769,5	24738	963,8	22.068,0	2.670,00

Fonte: Autoria própria

Tabela 10: Estudo de caso modalidade com 3 cabines automáticas

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
1	344	344	344,0	344,0	-
2	473	817	473,0	817,0	-
3	602	1419	602,0	1.419,0	-
4	688	2107	688,0	2.107,0	-
5	752,5	2859,5	752,5	2.859,5	-
6	817	3676,5	817,0	3.676,5	-
7	924,5	4601	924,5	4.601,0	-
8	1032	5633	1.032,0	5.633,0	-
9	1182,5	6815,5	1.182,5	6.815,5	-
10	1032	7847,5	1.032,0	7.847,5	-
11	774	8621,5	774,0	8.621,5	-
12	645	9266,5	645,0	9.266,5	-
13	580,5	9847	580,5	9.847,0	-
14	559	10406	559,0	10.406,0	-
15	666,5	11072,5	666,5	11.072,5	-
16	774	11846,5	774,0	11.846,5	-
17	924,5	12771	924,5	12.771,0	-
18	1204	13975	1.204,0	13.975,0	-
19	946	14921	946,0	14.921,0	-
20	924,5	15845,5	924,5	15.845,5	-
21	838,5	16684	838,5	16.684,0	-
22	731	17415	731,0	17.415,0	-
23	666,5	18081,5	666,5	18.081,5	-
24	580,5	18662	580,5	18.662,0	-

Fonte: Autoria própria

4) Configuração Teste 4: quatro cabines automáticas e duas cabines manuais

Nessa configuração mostrada na Tabela 11, a fila média de espera de carros por hora é de 4819 veículos aguardando atendimento. Como mencionado no tópico Configuração Teste 3, a medida que diminui a quantidade de cabines manuais, o tamanho da fila. A taxa de atendimento da cabine automática é 3,73 vezes superior à da cabine manual. Em relação a cabine automática, Tabela 10, novamente não há alteração na configuração pois a capacidade máxima de atendimento é 4800 veículos por hora, enquanto a quantidade máxima que trafega na rodovia por hora nessa modalidade é de 1204 veículos.

Tabela 11: Estudo de caso modalidade com 2 cabines manuais

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
1	456	456	456,0	456,0	-
2	627	1083	624,5	1.080,5	2,50
3	798	1881	624,5	1.705,0	176,00
4	912	2793	624,5	2.329,5	463,50
5	997,5	3790,5	624,5	2.954,0	836,50
6	1083	4873,5	624,5	3.578,5	1.295,00
7	1225,5	6099	624,5	4.203,0	1.896,00
8	1368	7467	624,5	4.827,5	2.639,50
9	1567,5	9034,5	624,5	5.452,0	3.582,50
10	1368	10402,5	624,5	6.076,5	4.326,00
11	1026	11428,5	624,5	6.701,0	4.727,50
12	855	12283,5	624,5	7.325,5	4.958,00
13	769,5	13053	624,5	7.950,0	5.103,00
14	741	13794	624,5	8.574,5	5.219,50
15	883,5	14677,5	624,5	9.199,0	5.478,50
16	1026	15703,5	624,5	9.823,5	5.880,00
17	1225,5	16929	624,5	10.448,0	6.481,00
18	1596	18525	624,5	11.072,5	7.452,50
19	1254	19779	624,5	11.697,0	8.082,00
20	1225,5	21004,5	624,5	12.321,5	8.683,00
21	1111,5	22116	624,5	12.946,0	9.170,00
22	969	23085	624,5	13.570,5	9.514,50
23	883,5	23968,5	624,5	14.195,0	9.773,50
24	769,5	24738	624,5	14.819,5	9.918,50

Fonte: Autoria própria

5) Configuração Teste 5: cinco cabines automáticas e uma cabine manual:

Nessa configuração mostrada na Tabela 12, a fila média de espera de carros por hora é de 8808 veículos aguardando atendimento. Dessa forma, como visto anteriormente, a fila média e consequentemente o tempo de espera aumentou. Na modalidade automática, houve um aumento da ociosidade e o estudo de caso está mostrado na Tabela 10.

Tabela 12: Estudo de caso modalidade com 1 cabine manual.

Tempo	Chegada	Chegada Acumulada	Atendimento	Atendimento Acumulado	Fila
1	456	456	321,25	321,3	134,75
2	627	1083	321,25	642,5	440,50
3	798	1881	321,25	963,8	917,25
4	912	2793	321,25	1.285,0	1.508,00
5	997,5	3790,5	321,25	1.606,3	2.184,25
6	1083	4873,5	321,25	1.927,5	2.946,00
7	1225,5	6099	321,25	2.248,8	3.850,25
8	1368	7467	321,25	2.570,0	4.897,00
9	1567,5	9034,5	321,25	2.891,3	6.143,25
10	1368	10402,5	321,25	3.212,5	7.190,00
11	1026	11428,5	321,25	3.533,8	7.894,75
12	855	12283,5	321,25	3.855,0	8.428,50
13	769,5	13053	321,25	4.176,3	8.876,75
14	741	13794	321,25	4.497,5	9.296,50
15	883,5	14677,5	321,25	4.818,8	9.858,75
16	1026	15703,5	321,25	5.140,0	10.563,50
17	1225,5	16929	321,25	5.461,3	11.467,75
18	1596	18525	321,25	5.782,5	12.742,50
19	1254	19779	321,25	6.103,8	13.675,25
20	1225,5	21004,5	321,25	6.425,0	14.579,50
21	1111,5	22116	321,25	6.746,3	15.369,75
22	969	23085	321,25	7.067,5	16.017,50
23	883,5	23968,5	321,25	7.388,8	16.579,75
24	769,5	24738	321,25	7.710,0	17.028,00

Fonte: Autoria própria

REFERÊNCIAS

ABCR. **Relatório Anual de 2017**. Disponível em:

<<http://www.abcr.org.br/RelatoriosAnuais/RelatorioAnual2017.pdf>> Acesso em: 13/05/2019.

ALVARENGA, G. S., **Estudo do impacto do pedágio no aumento do tempo de viagem, no consumo de combustível e na geração de poluentes**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, 2010.

ANTT. **Agência Nacional de Transportes Terrestres**. Disponível em:

<<http://www.antt.gov.br>> Acesso em: 13/05/2019.

ARAÚJO, J. J. **Características Operacionais de Praças de Arrecadação de Pedágio**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Transportes, São Carlos, 2001.

ARTESP. **ARTESP realiza audiência pública em Rancharia para concessão do Lote Piracicaba – Panorama**. Disponível em:

<<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/noticias/noticia-detalhes.aspx?id=219>> Acesso em: 06/05/2019.

ARTESP. **Pagamento Eletrônico**. Disponível em :

<<http://www.artesp.sp.gov.br/Style%20Library/extranet/rodovias/pagamento-eletronico.aspx>> Acesso em: 06/05/2019.

BALCONISTA S/A, **Como se comportar em uma praça de pedágio**. Disponível em:

<<http://balconistasa.com/2018/09/13/como-se-comportar-em-uma-praca-de-pedagio/>> Acesso em: 17/09/2019

BALLOU, R. H., **Business Logistics/Supply Chain Management**, Ed. Pearson Education, 2004.

CASTRO, N. A. **Reestruturação do Sistema de Transporte**. Perspectiva da Reestruturação Financeira e institucional dos setores de infraestrutura, 1. ed. Brasília: IPEA, v. 1, p. 10-43, 1997.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CONNECTCAR. **Loja**. Disponível em: <<https://loja.conectcar.com/>> Acesso em: 13/05/2019.

DANDO, M., **Electronic Toll Market**. ITS: Intelligent Transport Systems, n. 8, p. 56-58, 1997.

DOERING, R. W., **Automatic Vehicle Identification Technology**, SAIC Science and Technology Trends, p. 170 – 178, 1997.

ERLANG, A, K. **Sandsynlighetsregning og Telefonsamtaler**. Nytt tidsskrift for Matematik B, 20, 1909.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos**. São Paulo, Ed. Atlas, 2003.

FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo, Ed. Atlas, 2000.

FINK, A.; KOSECOFF, J. **How to conduct surveys – a step-by-step guide**. 2. ed, Thousand Oaks, California: Sage Publications, 1998.

FOGLIATTI, M. & MATTOS, N. **Teoria de filas**. Ed. Interciência. p. 7, 2007.

FORZA, C. **Survey research in operations management: a process-based perspective**. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 152-194, 2002.

GARAY, A. W. M., **Introdução aos Processos Estocásticos**, Universidade Estadual de Campinas, 2012.

GUIA EMPREENDEDOR, Aprenda a calcular horas trabalhadas de uma vez por todas. Disponível em: < <https://guiaempreendedor.com/aprenda-a-calcular-horas-trabalhadas-de-uma-vez-por-todas/>> Acesso em: 06/10/2019.

IBGE. **Frota de Veículos**. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico>> Acesso em 18/05/2019.

LAIH, C. **Queueing at a bottleneck with single- and multi-step tolls**.

Transportation Research Part A: Policy and Practice, Elsevier, v. 28 (3), p. 197-208, 1994.

LEGISWEB. **Lei nº 19687**. Disponível em:

<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369181>> Acesso em: 13/06/2019

LIN, F. B.; SU, C. W. **Level of Service Analysis of Toll Plazas on Freeway Main Lines**. Journal of Transportation Engineering, v. 120, n. 2, p. 246 – 263, 1994.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 6ª Ed. – São Paulo: Atlas, 2009.

MARINHO, Alexandre. **Um estudo sobre as filas para transplantes no Sistema Único de Saúde brasileiro**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 22, n. 10, out. 2006.

MOURA, B. C., **Logística: Conceitos e Tendências**, Ed. Centro Atlântico, Portugal, 2006.

MOVEMAIS. **Serviços**. Disponível em: <<https://www.movemais.com/#!/servicos>>

Acesso em: 13/05/2019.

NAZÁRIO, P. **Papel do Transporte na Estratégia Logística – Logística**

Empresarial: A perspectiva Brasileira. Ed. Atlas, São Paulo, 2000.

PORTO, M. H. L., **A matemática da fila de caixa em uma agência bancária do Distrito Federal**, Dissertação para obtenção do título de Mestre em Matemática, Brasília, 2017.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das Filas e da Simulação**. 2. ed. Minas Gerais: INDG, 2004.

RIBEIRO, J. H., **Os Tropeiros – Diário da Marcha**, Ed. Globo, 2006.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e a Logística Internacional**, 3. ed., Ed. Aduaneiras Ltda., São Paulo, 2004.

SALÁRIOS, Atendente de Pedágio - Salários e Mercado de Trabalho 2019.

Disponível em: <<https://www.salario.com.br/profissao/atendente-de-pedagio-cbo-421125/>> Acesso em: 06/10/2019.

SÃO PAULO. **Rodovias paulistas terão nova operadora de pedágio eletrônico**.

Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/rodovias-paulistas-terao-nova-operadora-de-pedagio-eletronico/>> Acesso em: 13/05/2019.

SAVARIS, J. A. **Pedágio: Conceitos e Trajetória Histórica**, Cadernos da Escola de Direito e Relações Internacionais, UniBrasil, 2008.

SCHAUFLEER, A. E. **Toll Plaza Design**. NCHRP Synthesis of Highway Practice 240. *Transportation Research Board*, National Research Council. Washington, EUA, 1997.

SEM PARAR. **Planos**. Disponível em: <<https://www.semparar.com.br/planos>
[13/05/19](https://www.semparar.com.br/planos)> Acesso em: 06/05/2019.

SHIH, Y. C. **Teoria das filas: fundamentos básicos e aplicações**. Ed. Albatroz: Rio de Janeiro, 1. ed., 2019.

SLACK, N. & BRANDON-JONES, A. & JOHNSTON R. **Administração da Produção**. Editora Atlas S.A. São Paulo, 4. ed., 2015.

SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS, Die design handbook, 2 ed., New York, USA, McGraw-Hill Book Company, 1965

TIEFENSEE, M. D. **Dimensionamento de cabines de cobrança em praças de pedágio**. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado profissionalizante em Engenharia, Porto Alegre, 2005.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2012.

UOL, **Carros**, Reportagem publicada em: 14/07/2018. Disponível em: <<https://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2018/07/14/mao-na-roda-veja-dicas-para-evitar-acidentes-em-pracas-de-pedagio.htm>> Acesso em: 03/06/2019.

VELOE. **Planos**. Disponível em: <<https://veloe.com.br/>> Acesso em: 13/05/2019.

VOSS, C; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. **Case Research in Operations Management**. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WOO, T.H; HOEL, L. A. **Tool Plaza Capacity and Level of Service**. Transportation Research Record 1320, Transportation Research Board, Washington, D. C., p 119-127, 1991.

YIN, R. Estudo de Caso. **Planejamento e Métodos**. 2 ed, Porto Alegre, RS, Bookman, 2001.

ZARRILLO, M. L., **Capacity Calculations for Two Toll Facilities: Two Experiences in ETC Implementation**. Transportation Research Board, 79 Annual Meeting, National Research Council, Washington, D.C., 2000.