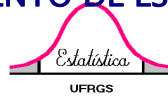




UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA



Estudo e modelagem da distribuição do tempo de atendimento e da frequência de chegada de veículos em praças de pedágio

Autor: Marjana da Silva Peixoto
Orientador: Professor Dr. Lori Viali

Porto Alegre, 04 de Dezembro de 2009.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Matemática
Departamento de Estatística

Estudo e modelagem da distribuição do tempo de
atendimento e da frequência de chegada de
veículos em praças de pedágio

Autor: Marjana da Silva Peixoto

Monografia apresentada para obtenção
do grau de Bacharel em Estatística.

Banca Examinadora: M.Sc. Eng. Felipe Brum de Brito Sousa

Porto Alegre, 04 de Dezembro de 2009.

Dedico este trabalho a minhas amadas tias Nely Silva da Rocha e Nara Silva da Rocha, que na minha infância compravam meu material escolar.

Em todos os dias ensolarados em que eu ia para o campus do vale ter aulas, eu pensava “Deus, sou muito feliz por ter o privilégio de cruzar esse pórtico como aluna, obrigada”. Nos dias de chuva eu não lembrava que era feliz.

Agradecimentos

Ao carinho e a imensa dedicação do professor Lori Viali, que foi meu professor no primeiro dia de aula, e tornou-se para mim um exemplo, por esse fato eu o escolhi para ser o meu último professor na faculdade. À concessionária por fornecer os dados, e a generosidade dos seus colaboradores em me ensinar um pouco dos seus conhecimentos de engenharia de transporte. As minhas amigas que mesmo não se conhecendo, têm em comum o sentimento de acreditar mais em mim do que eu mesma, Caroline Legramanti Rodrigues e Maise Salimen. Aos meus poucos e bons colegas, que são também amigos e compartilharam comigo as dificuldades desse curso. Ao meu pai Mario Sergio Peixoto que me proporcionou o direito de estudar, a minha mãe Angela Maria da Silva que me ensinou, que só com o estudo eu conquistaria a verdadeira liberdade (a de poder pensar).

Resumo

Nesse trabalho, procura-se modelar o tempo do atendimento e a frequência das chegadas de veículos em praças de pedágio, encontrando a distribuição teórica mais adequada para cada caso. É feito também uma análise de alguns fatores intervenientes no tempo de atendimento. Os dados utilizados foram coletados em duas praças de arrecadação de pedágio do estado do Rio Grande do Sul, onde uma foi classificada como de grande porte e outra de pequeno porte. As variáveis intervenientes no tempo de atendimento analisadas foram: dias típicos e atípicos, tipo de veículo atendido, forma de pagamento, existência ou não de fila, tempo de serviço (em meses) do arrecadador, horas trabalhadas do arrecadador e o sexo do arrecadador.

Sumário

1. Introdução.....	7
2. Objetivo	7
3. Metodologia	8
4. O tempo de atendimento	8
4.1 O tempo de atendimento em dias típicos e atípicos	9
4.2 Tempo de atendimento e categorização dos veículos	9
4.3 Tempo de atendimento e formas de pagamento	12
4.4 Tempo de atendimento e arrecadadores	15
4.4.1 O tempo de atendimento e a existência ou não de fila	15
4.4.2 O tempo de atendimento e o tempo de serviço do arrecadador	16
4.4.3 Tempo de atendimento e horas trabalhadas do arrecadador	17
4.4.4 O tempo de atendimento e o sexo do arrecadador	18
5. Modelagem	19
5.1 Modelo para o tempo de atendimento (Tempo 1)	20
5.2 Modelo para a frequência de chegada dos veículos	21
6. Conclusão	26
Referências bibliográficas	27
Abstract	27

1. Introdução

No final da década de 1990, a União e alguns Estados iniciaram programas de concessão de operação de suas principais rodovias visando, a implantação de melhorias e a reversão da progressiva deterioração no sistema rodoviário nacional. Esses programas de concessões rodoviárias envolvem a instalação de praças de arrecadação de pedágio, uma vez que a remuneração das empresas responsáveis pela operação das rodovias privatizadas é feita através da cobrança de tarifas dos usuários (Araújo e Setti, 2001).

Para garantir a qualidade de serviços prestados alguns aspectos devem ser observados: estado do pavimento e da sinalização; serviços de assistência ao usuário; e capacidade de atendimento nas praças de arrecadação de pedágio. O tempo gasto em esperas para efetuar o pagamento do pedágio é visto pelos usuários como um dos pontos mais críticos da qualidade do atendimento das concessionárias.

A cobrança do pedágio é um fator que afeta significativamente a percepção dos níveis de serviços prestados. Demoras no atendimento causadas por falhas na operação da arrecadação, no projeto, ou no dimensionamento geram insatisfação em relação à concessionária.

Buscando aperfeiçoar a agilidade do atendimento das praças de pedágio, é pertinente estudar o tempo de atendimento dos usuários, bem como a frequência de chegada dos mesmos na praça. Desta forma, a concessionária e os usuários colhem benefícios. A concessionária usufrui com a melhoria da imagem, devido ao menor tempo de atendimento e possibilidade de elaborar estratégias para redução dos custos operacionais da praça de pedágio. Os usuários recebem um serviço de melhor qualidade, com o tempo gasto nas praças de arrecadação de pedágio otimizado e, conseqüentemente, têm uma percepção de que os valores gastos nas tarifas estão sendo revertidos em seu benefício.

2. Objetivo

A capacidade de atendimento está diretamente relacionada com os tempos de atendimento dos veículos nas cabines de arrecadação de pedágio. Existem vários fatores intervenientes na capacidade de oferta de serviço em praças de arrecadação de pedágio, alguns de responsabilidade da concessionária, outros com características aleatórias. Dentre os fatores intervenientes na capacidade podem ser citados, como exemplo: tipo de pagamento, características geométricas de cabines e classes de veículos realizando o pagamento. Dentre os fatores aleatórios intervenientes na capacidade, pode ser citada a influência humana (motoristas e arrecadadores) no processamento de veículos. (Oliveira, 2004)

Esse estudo tem como objetivo a avaliação de alguns fatores intervenientes no tempo de atendimento, tais como: tipo de veículo; formas de pagamentos; sexo dos arrecadadores; tempo de serviço dos arrecadadores e jornada de trabalho dos arrecadadores. Além disso, serão modelados o tempo de atendimento dos usuários nas cabines de arrecadação de

pedágios e a frequência de chegada dos veículos nas praças arrecadação com a finalidade de utilização posterior em modelos de dimensionamento.

3. Metodologia

O estudo foi realizado em duas praças de arrecadação de pedágio de uma concessionária de rodovias do Rio Grande do Sul, essas praças têm características de tráfego diferentes sendo que uma das praças é considerada de GP (Grande Porte), com volume diário médio anual (VDMA) de 8216 veículos e a outra é considerada PP (Pequeno Porte) com um VDMA de 3026 veículos.

Primeiramente, foi realizada a coleta de dados do tempo de atendimento nas cabines de arrecadação de pedágio manual, por um pesquisador colocado dentro da cabine. Os dados foram coletados em horários diferentes. A concessionária trabalha com dois turnos de doze horas, dessa forma, a coleta de dados abrangeu os dois turnos de trabalho das praças de arrecadação de pedágio

O tempo de atendimento registrado foi o compreendido entre o momento em que o veículo parou na cabine para ser atendido e o momento em que o veículo passou completamente pelo sensor da cancela da cabine. Além desse tempo, também foi registrado o compreendido entre o momento em que o veículo parou na cabine para ser atendido e o momento em que o veículo arrancou após efetuar o pagamento do pedágio.

A segunda variável coletada foi a da frequência de chegadas dos veículos nas praças de arrecadação do pedágio. Foi cronometrado o tempo de chegada entre um veículo e outro, por intermédio de imagens de câmeras de vídeo. Foram coletados dados de aproximadamente cem veículos em cada praça de arrecadação de pedágio durante cinco dias não consecutivos de segunda-feira a sexta-feira no horário da 13h43min às 16h00min.

4. O tempo de atendimento

Os tempos de atendimento superiores a 60 segundos não foram considerados, pois percebeu-se que ocorriam por motivos atípicos, sendo que em apenas 0,94% das observações o tempo de atendimento foi superior a 60 segundos. Dessa forma a amostra da Praça de GP foi constituída de 1463 veículos, sendo 891 (60,90%) automóveis; 503 (34,38%) caminhões e 69 (4,72%) ônibus. A amostra da Praça de PP foi formada por 713 veículos sendo 402 (56,38%) automóveis; 288 (40,39%) caminhões e 23 (3,23%) ônibus.

Com base na revisão bibliográfica e na experiência dos especialistas em tráfego da concessionária foram levantados alguns dos aspectos considerados relevantes para o estudo do tempo de atendimento nas praças de arrecadação de pedágio. As análises a respeito desses aspectos estão nas seções seguintes.

4.1 O tempo de atendimento em dias típicos e atípicos

Uma das hipóteses levantada é que o tempo de atendimento difere em dias considerados de tráfego normal (terça-feira, quarta-feira e quinta-feira) e dias de tráfego atípico (sexta-feira, sábado, domingo e segunda-feira) por ter um tráfego muito elevado como na sexta-feira ou por ter tráfego muito reduzido como na segunda-feira. Para analisar essa hipótese foram utilizados os dados da Praça de GP e realizado um teste *t de Student*. Concluiu-se, a um nível de significância de 5%, que não há evidências de diferença significativa entre o tempo de atendimento médio em dias típicos e atípicos.

4.2 Tempo de atendimento e categorização dos veículos

Analisando o tempo de atendimento em relação ao tipo de veículo, percebeu-se que veículos diferentes demonstram tempos de atendimento distintos, sendo separados em automóveis, caminhões e ônibus.

Pela forma de coleta dos dados de tempo foi possível subdividir o tempo de atendimento em duas parcelas. Um Tempo 1 constituído pelo tempo que o veículo ficou parado na cabine de arrecadação para efetuar o pagamento do pedágio e um Tempo 2 como sendo o de deslocamento do veículo após o pagamento até momento em que ele passou completamente pelo sensor da cancela da cabine. O Tempo Total de atendimento foi, então, formado pela soma do Tempo 1 e Tempo 2. Na Figura 1 está representado a forma como o tempo de atendimento foi coletado.

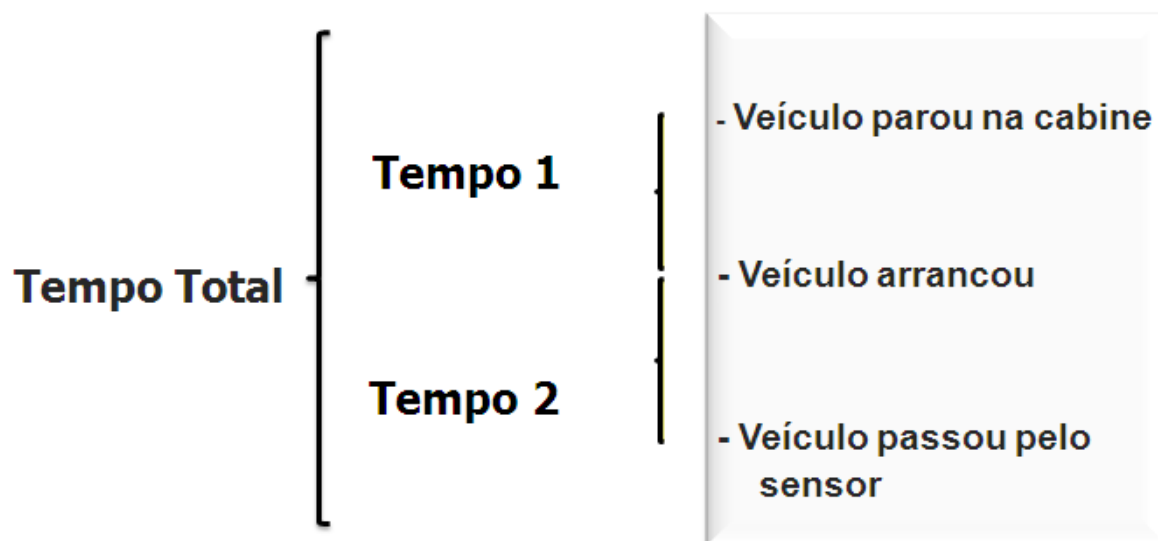


Figura 1: Tempo de atendimento dividido em duas parcelas

Na Tabela 1 estão os tempos médios de atendimento obtidos para cada categoria de veículo, em cada uma das duas praças.

Tabela 1: Tempo médio de atendimento (em segundos) para cada categoria de veículo

Média/Seg.	Automóvel		Caminhão		Ônibus	
	GP	PP	GP	PP	GP	PP
Tempo 1	11,95	14,28	18,55	19,96	12,28	9,08
Tempo 2	3,49	3,63	7,72	6,96	6,81	4,81
Tempo Total	15,43	17,91	26,27	26,92	19,09	13,89

Nos dados as praça de GP foi realizada análise da variância (ANOVA) para o tempo de atendimento total (Tempo 1 + Tempo 2) a um nível de significância de 5%. Constatou-se, uma diferença significativa entre os tempos médios de atendimento, tanto para a variável Tempo 1 quanto para a Tempo 2, em relação às categorias dos veículos.

A análise foi complementada com testes *post hoc* onde foi utilizado o critério de Tukey. Para o tempo de atendimento (Tempo 1) verificou-se que os tempos médios dos automóveis e dos ônibus não diferem significativamente, mas que ambos diferem do tempo de atendimento dos caminhões. O tempo médio de atendimento (Tempo 1) para os automóveis foi de 11,95 segundos, para os ônibus 12,28 segundos e para os caminhões de 18,55 segundos. Observa-se que o tempo médio de atendimento dos caminhões é aproximadamente 50% maior do que para os automóveis e os ônibus. Esses resultados confirmam o observado pelo estudo de Oliveira feito em 2004, que coloca:

A categoria do veículo é um dos fatores intervenientes que mais influi nos tempos de atendimento nas cabines de pedágio. Em estudos sobre praças de pedágio, a diferenciação entre categorias de veículos é necessária visto que: (i) a relação peso-potência influenciará as acelerações e desacelerações dos veículos nas cabines; (ii) diferentes categorias de veículos podem apresentar diferentes perfis comportamentais de motoristas; (iii) valores de tarifas (inteiros ou fracionados) diferem entre categorias, e; (iv) as dimensões dos veículos (largura, comprimento e altura) podem influenciar na locomoção, no comprimento das filas, no pagamento manual (veículos mais altos podem apresentar dificuldades quando da interação entre motoristas e arrecadadores).

Para o Tempo 2 de atendimento (tempo que o veículo leva para se deslocar da cabine de pedágio até o sensor da cancela) verificou-se que as três categorias de veículos diferem. A média do Tempo 2 de atendimento dos automóveis foi de 3,49 segundos, dos ônibus de 6,81 segundos e dos caminhões de 7,72 segundos. Nota-se que o Tempo 2 médio dos caminhões é 121% maior que o dos automóveis e 13% maior que dos ônibus. A diferença deve-se à velocidade de arrancada (inércia).

Para o tempo de atendimento ou tempo total, que é a soma dos dois tempos anteriores (Tempo 1 + Tempo 2), verificou-se que as três categorias diferem. O tempo médio de atendimento dos automóveis foi de 15,43 segundos, dos ônibus 19,08 segundos e dos caminhões 26,27 segundos, ou seja, como nos dois casos anteriores a média dos tempos de atendimento dos caminhões é significativamente diferente (maior) que as médias das duas outras categorias de veículos.

Analisando o tempo de atendimento como soma dos Tempo 1 (tempo de pagamento) e Tempo 2 (tempo de deslocamento) em duas parcelas foi possível perceber que a maior diferença percentual entre as médias dos tempos, considerando as categorias de veículos, não está no tempo gasto no pagamento, mas sim no tempo de deslocamento do veículo, após o pagamento na cabine de arrecadação de pedágio até o sensor da cancela. Esse resultado ocorre pela grande diferença no porte dos veículos, como por exemplo, entre caminhões e automóveis.

Constatou-se, também que, em média, 36% do tempo total de atendimento dos ônibus é o de deslocamento entre a cabine e o sensor da cancela, já os caminhões gastam 29%. Para os automóveis esse número cai para 23%, ou seja, apesar do tempo total de atendimento dos caminhões ser, em média, maior que o dos ônibus, esses, por sua vez, gastam uma parte maior do tempo total de atendimento no deslocamento entre cabine e o sensor da cancela. Na Tabela 1 são apresentados os tempos médios de atendimento da Praça de GP estratificadas por categoria de veículo.

Uma análise de variância (ANOVA) foi, também, realizada nos dados da Praça de PP, utilizando os mesmos 5% de significância. Percebeu-se uma diferença significativa entre as

categorias dos veículos em relação ao tempo de atendimento (Tempo 1). Além disso, observou-se, também, uma diferença significativa em relação ao tempo de deslocamento (Tempo 2) e por fim uma diferença entre as categorias de veículos para o tempo de atendimento (Tempo Total = Tempo 1 + Tempo2). A análise de variância foi complementada com o teste de *Tukey*. E como ocorreu com a Praça de GP o tempo de atendimento (Tempo 1) não se mostrou significativamente diferente entre automóveis e ônibus. Contudo essas duas categorias não diferiram significativamente entre si em relação a essa variável, mas ambas da categoria dos caminhões quanto ao tempo de atendimento (Tempo 1). A média do tempo de atendimento para os automóveis foi de 14,28 segundos, para os ônibus de 9,08 segundos e para os caminhões 19,96 segundos.

Os resultados obtidos para o tempo de deslocamento (Tempo 2) evidenciaram que o tempo dos automóveis e dos ônibus não diferiu significativamente entre si, mas que as duas categorias tiveram tempos médios diferenciados da categoria dos caminhões. Esse resultado não foi exatamente o mesmo que o encontrado na Praça de GP onde as três categorias se mostraram significativamente diferentes. O tempo médio de deslocamento (Tempo 2) foi de 3,63 segundos para os automóveis, 4,81 segundos para os ônibus e 6,96 segundos para os caminhões. Observou-se ainda, que os tempos médios de deslocamento (Tempo 2), nessa praça foram inferiores aos da praça de GP tanto para os caminhões quanto para os ônibus.

Para o tempo de atendimento total (Tempo 1 + Tempo 2) verificou-se que o tempo dos automóveis e dos ônibus não diferiu significativamente entre si, mas ambos diferiram do tempo de atendimento dos caminhões. A média do tempo de atendimento dos automóveis foi de 17,91 segundos, dos ônibus 13,89 segundos e dos caminhões 26,92 segundos.

4.3 Tempo de atendimento e formas de pagamento

Nas duas praças de pedágio administrada por essa concessionária as possíveis formas de pagamento são:

- A) Dinheiro que pode ser valor exato ou gerar troco;
- B) Multipassagem, se em um dia o veículo passa mais de uma vez no mesmo sentido não precisa pagar o pedágio novamente. No momento em que o arrecadador da cabine de cobrança de pedágio digita a placa do veículo no sistema, a cancela é liberada;

- C) Cartão de bonificado ou cartão de isento (beneficiados por ações judiciais, ou moradores lindeiros), trata-se de um cartão fornecido pela concessionária em que é feita a leitura do código de barras;
- D) Vale pedágio Dbtrans (VPDB) é um vale de papel que o usuário entrega para o arrecadador;
- E) Cartão Visanet, é um cartão magnético que necessita ser colocado em uma máquina de cartão de crédito para que seja creditado o valor do pedágio.

No estudo das diferentes formas de pagamento justifica-se utilizar somente o tempo de atendimento (Tempo 1), ou seja, o tempo que o veículo ficou parado na cabine de arrecadação de pedágio para efetuar o pagamento do pedágio, já que a forma de pagamento não interfere no tempo de aceleração do veículo (Tempo 2)

A análise de variância (ANOVA) foi usada para verificar se as diferenças encontradas entre os tempos médios do atendimento (Tempo 1) entre as diversas formas de pagamento eram significativas. Foi possível concluir que existe uma diferença significativa no tempo de atendimento quando consideradas as diversas formas de pagamento, a um nível de 5% de significância, tanto na Praça de GP quanto na de PP. A ANOVA foi complementada com uma análise *post hoc* onde foi utilizado o método de *Tukey*.

Para a Praça de GP concluiu-se que as formas de pagamento cartão bonificado/isento e multipassagem não diferem entre si, mas diferem das demais (ver Tabela 2). As formas de pagamento dinheiro sem troco e vale pedágio Debtrans não diferem entre si, mas diferem das demais. O pagamento em dinheiro com troco não difere significativamente do pagamento com vale pedágio Debtrans, mas difere das demais formas de pagamento. Por fim, o vale pedágio Visanet difere de todas as formas de pagamento.

Verificou-se, também que a forma mais demorada de pagamento é a utilização do cartão Visanet com um tempo médio de atendimento de 20,87 segundos. Na Tabela 2 são apresentadas os tempos médios de atendimento (Tempo 1) de acordo com as várias formas de pagamento e os grupos formados considerando a análise *post hoc* efetuada pelo método de *Tukey*.

Tabela 2: Médias em segundos do Tempo 1 em função da forma de pagamento na praça de GP

Forma de Pagamento	Média / seg.			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Multipassagem	6,91			
Bonificado/Isento	8,00			
Dinheiro sem troco		11,92		
VPDB		*14,27	*14,27	
Dinheiro com troco			15,21	
VPVisa				20,87

*Valores que não se diferem de dois grupos

Para Praça de PP verificou-se que a forma de pagamento multipassagem não difere de cartão bonificado/isento, mas difere das demais. Pagamentos em dinheiro sem troco não difere de cartão bonificado/isento. As formas de pagamento dinheiro com troco, dinheiro sem troco, vale pedágio Dbtrans e vale pedágio Visanet, não diferem entre si, mas diferem das demais. A forma de pagamento com vale pedágio (Visanet) foi a que apresentou o maior tempo médio de atendimento (tempo1) com um valor de 20,05 segundos.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias dos tempos de atendimento (Tempo 1) para as diversas formas de pagamento e os grupos formados considerando a análise *post hoc* efetuada pelo método de *Tukey*.

Tabela 3: Médias em segundos do tempo de atendimento (Tempo1) em função da forma de pagamento na Praça de PP

Forma de Pagamento	Média / seg.		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Multipassagem	5,26		
Bonificado/Isento	*9,20	*9,20	
Dinheiro sem troco		*14,53	*14,53
Dinheiro com troco			16,94
VPDB			18,37
VPVisa			20,05

*Valores que não se diferem de dois grupos

Nas duas praças estudadas as formas de pagamento com menor média do tempo de atendimento (Tempo 1) foram o multipassagem e o cartão bonificado/isento e a forma de pagamento com o maior tempo médio de atendimento foi o vale pedágio (Visanet).

4.4 Tempo de atendimento e arrecadadores

Um fator que interfere no tempo de atendimento, isto é, que pode ser considerada uma variável interveniente no estudo são as diferenças entre o ritmo de trabalho dos arrecadadores que trabalham nas cabines das praças de pedágio. O ritmo de trabalho dos arrecadadores pode

ser influenciado tanto pela taxa de chegadas dos veículos quanto pelo fluxo de veículos nas praças. Alguns autores sugerem que, sob condições de tráfego leve, os arrecadadores trabalham mais lentamente do que quando tem a existência de filas (Oliveira, 2004).

O tempo de serviço dos arrecadadores deve, também, ser levado em consideração como fator interveniente no tempo de atendimento. Arrecadadores com certa experiência tendem a ser mais ágeis do que arrecadadores com pouca experiência. Além disso, neste trabalho, foram analisadas outras variáveis relativas aos arrecadadores, que são as horas trabalhadas em uma mesma jornada de trabalho e o tempo de atendimento condicionado ao sexo do arrecadador.

Para esta parte do estudo entende-se como tempo de atendimento o tempo decorrido entre o momento em que o veículo parou na cabine para ser atendido e o momento em que o veículo arrancou após efetuar o pagamento do pedágio que foi denominado de Tempo 1.

4.4.1 O tempo de atendimento e a existência ou não de fila

Foi considerada como fila a existência de outro veículo parado à espera de atendimento além daquele que estava parado fazendo o pagamento no momento. Para avaliar se os tempos médios de atendimento (Tempo 1) eram significativamente diferentes foi realizado um teste *t* de *Student* para os dados das duas praças sendo estudadas.

Para os dados da Praça de GP, os resultados obtidos mostraram uma diferença significativa entres os tempos médios de atendimento, sendo que o tempo médio de atendimento com a existência de fila foi de 13,17 segundos e na ausência da fila essa média foi avaliada em 14,83 segundos. Constata-se assim que o arrecadador aumenta o seu ritmo de trabalho, diminuindo significativamente o tempo de atendimento na presença de fila.

Para Praça de PP os resultados do teste também evidenciaram uma diferença significativa entres os tempos médios de atendimento, sendo que com a existência de fila ele foi de 14,68 segundos e sem a existência da fila essa média subiu para 16,42 segundos. Novamente o tempo médio de atendimento na presença da fila foi menor do que na ausência da mesma. Nas duas praças o tempo médio de atendimento com a existência de fila foi menor. Uma possível explicação para esse resultado, é que com a existência de fila o arrecadador tende a aumentar o seu ritmo de trabalho para evitar que a fila cresça. Na tabela 4 estão os tempos médios de atendimento com e sem fila para as duas praças de arrecadação.

Tabela 4: Tempos médios de atendimento, em segundos, em função da existência ou não de fila

	GP	PP
Com Fila	13,17	14,68
Sem Fila	14,83	16,42

4.4.2 O tempo de atendimento e o tempo de serviço do arrecadador

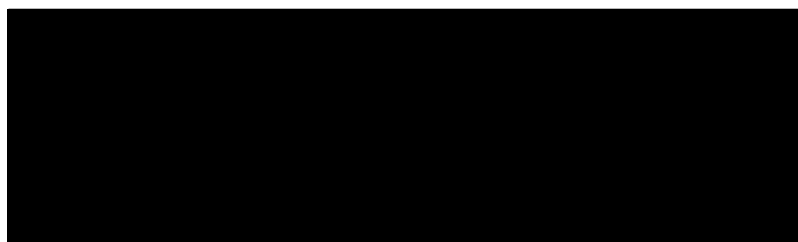
Os tempos de serviço dos arrecadadores, em meses, foram classificados em quatro categorias:

- A) com até seis meses de serviço;
- B) mais do que seis meses e até um ano de serviço;
- C) mais que um ano e até dois anos de serviço e;
- D) mais que dois anos de serviço.

Para verificar se os tempos de atendimento (Tempo 1) eram significativamente diferentes, considerando o tempo de serviço do arrecadador, foi realizada uma análise de variância (ANOVA).

Os dados da Praça de GP mostraram uma diferença significativa, ao nível de 5%, no tempo de atendimento (Tempo 1), quando o fator considerado foi o tempo de serviço do arrecadador. A análise foi complementada com testes *post hoc* onde foi utilizado o critério de Tukey concluiu-se que os tempos de serviço podem ser classificados em três grupos que diferem significativamente em relação ao tempo médio de atendimento. Os arrecadadores com tempo de serviço acima de dois anos apresentaram o maior tempo médio de atendimento que foi de 15,61 segundos. Na Tabela 5 são apresentadas as médias dos de atendimento para os tempos de serviço dos arrecadadores e os grupos formados considerando a análise *post hoc* efetuada pelo método de *Tukey*.

Tabela 5: Tempos médios de atendimento, em segundos (Tempo 1), em função do tempo de serviço dos arrecadadores para a Praça de GP



*Valores que não se diferem de dois grupos

Os valores da Praça de PP não mostraram diferenças significativas nos tempos de atendimento em função do tempo de serviço dos arrecadadores, ao nível de significância de 5%. A Tabela 6 apresenta os tempos médios de atendimento em função do tempo de serviço do arrecadador.

Tabela 6: Tempos médios de atendimento, em segundos (Tempo 1), em função do tempo de serviço dos arrecadadores para a Praça de PP

4.4.3 Tempo de atendimento e horas trabalhadas do arrecadador

Nas praças de GP e PP a jornada de trabalho dos arrecadadores é de doze horas com duas horas de intervalo. Em outras concessionárias a jornada de trabalho é de nove horas e meia com uma hora e meia de intervalo. Devido a essa diferença é pertinente o estudo do desempenho dos arrecadadores considerando a jornada de trabalho.

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para os dados das duas praças. Não foi constatada uma diferença significativa nos tempos médios de atendimento ao longo da jornada de trabalho dos arrecadadores. A Tabela 7 apresenta os tempos médios de atendimento e as horas de serviço ao longo da jornada de trabalho dos arrecadadores.

Tabela 7: Tempos médios de atendimento, em segundos, em função das horas de serviço do arrecadador

Horas Trabalhadas	GP	PP
	Média/seg.	
1	14,63	16,63
2	13,49	17,10
3	14,22	17,70
4	15,46	16,81
5	13,17	14,53
6	14,33	15,16
7	14,00	14,97
8	13,70	16,57
9	14,84	15,93
10	14,91	14,60

4.4.4 O tempo de atendimento e o sexo do arrecadador

Para analisar a hipótese de que existe diferença no tempo de atendimento (Tempo 1) quando considerado o sexo do arrecadador, foram testados apenas os dados da praça de GP. Por um teste t (*de Student*) concluiu-se, a um nível de significância de 5%, que há uma diferença significativa entre os tempos médios de atendimento dos arrecadadores do sexo masculino e feminino. O tempo médio de atendimento observado para os arrecadadores do sexo feminino foi de 13,96 segundos, enquanto que esse mesmo tempo para os arrecadadores do sexo masculino foi de 15,21 segundos. Desta forma, constata-se que os arrecadadores do sexo feminino apresentam um tempo médio de atendimento menor dos que os do sexo masculino.

5. Modelagem

Um modelo é a representação matemática de um sistema real. O modelo é uma simplificação do sistema, que deve ser suficientemente detalhado para que as conclusões obtidas sejam representativas e aplicáveis ao sistema (Setti, 1994).

Para fazer a modelagem dos dados do tempo de atendimento e da frequência de chegada dos usuários nas praças arrecadação de pedágio foi utilizado o pacote estatístico EasyFit 5.2. O objetivo foi ajustar um grande número de modelos para escolher o de melhor aderência aos dados em cada uma das duas praças envolvidas no estudo.

5.1 Modelo para o tempo de atendimento (Tempo 1)

Para encontrar um modelo para os dados de Tempo 1 da praça de GP, foram testadas várias distribuições e realizados testes de aderência. Utilizando-se o teste de aderência KS (*Kolmogorov Smirnov*) os dados da Praça de GP aderiram bem à distribuição Johnson S_B (valor-p de 28,56%). Na Figura 2 o histograma dos dados de tempo de atendimento na praça de GP é apresentado em conjunto com o modelo Johnson S_B . Na Figura 3 é apresentado o Diagrama-PP dos dados de tempo de atendimento. Um Diagrama-PP é um gráfico dos valores observados contra os valores da distribuição teórica que está sendo ajustada. Ele é usado para determinar o quão bem os dados observados aderem em uma dada distribuição.

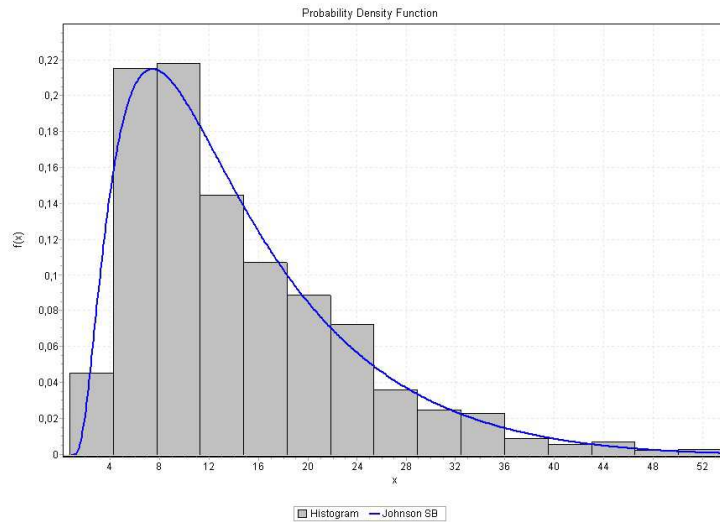


Figura 2: Histograma dos dados da variável Tempo 1 e a distribuição Johnson SB

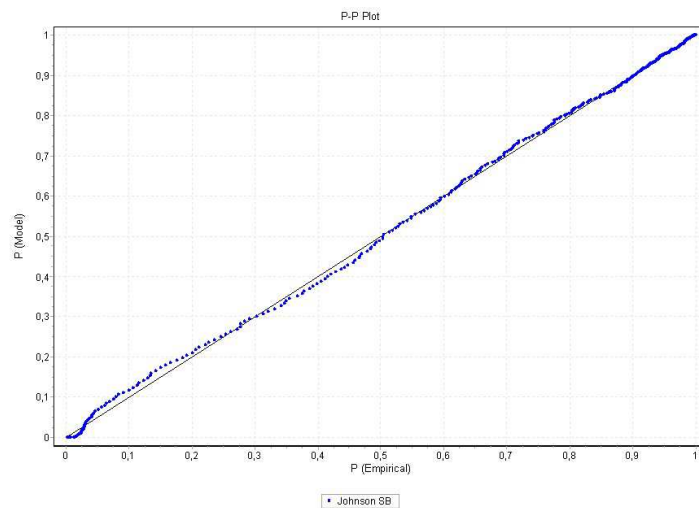


Figura 3: Diagrama-PP dos dados de tempo de atendimento (Tempo 1)

A função densidade de probabilidade Johnson S_B é dada por :

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right)$$

Sendo ,

$$z \equiv \frac{x - \xi}{\lambda}$$

Os parâmetros da distribuição Johnson S_B para os dados do Tempo 1 da Praça de GP obtidos foram: $\gamma = 1,9949$; $\delta = 1,1609$; $\lambda = 73,127$ e $\xi = 0,92124$. Sendo que γ e δ são os parâmetros de forma do modelo, λ o parâmetro de escala e ξ o parâmetro de localização. O sistema Johnson transforma distribuições contínuas em uma distribuição normal, há três famílias de

curvas de Johnson S_U , S_L e S_B . As curvas S_B são limitadas, esta família abrange, entre outras, as distribuições gama e beta.

Para encontrar o modelo de melhor aderência aos dados da variável Tempo1 para a Praça de PP foi utilizado mesmo procedimento usado para dos dados da Praça de GP. Pelo teste KS os dados da Praça de PP também aderiram bem a distribuição de Johnson S_B . (valor-p 79,70%). Na Figura 4 o histograma dos dados da variável Tempo1 e o modelo Johnson S_B . Na Figura 5 o Diagrama-PP dos dados da variável Tempo1 para a Praça de PP.

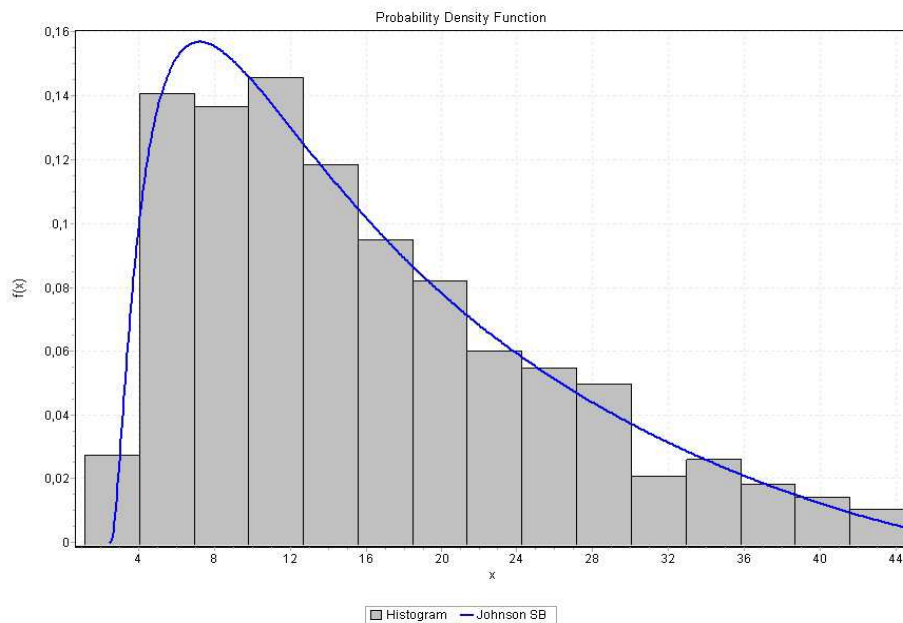


Figura 4: Histograma dos dados da variável Tempo 1 e o modelo Johnson S_B

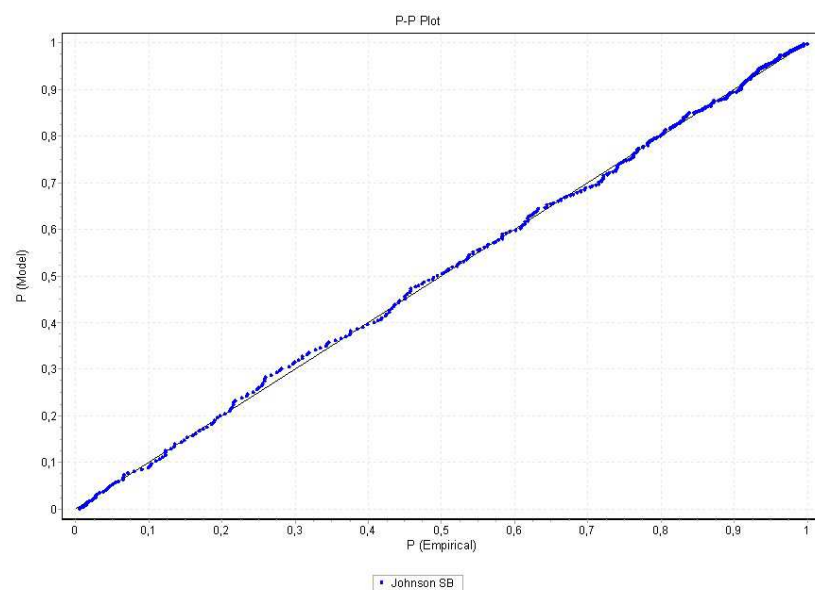


Figura 5: Diagrama-PP dos dados de tempo de atendimento

Os parâmetros da distribuição Johnson S_B encontrados para os dados da Praça de PP foram: $\gamma = 1,0499$; $\delta = 0,88136$; $\lambda = 48,572$ e $\xi = 2,482$.

5.2 Modelo para a frequência de chegada dos veículos

Para encontrar a melhor distribuição teórica para os dados de frequência de chegada dos veículos à praça de arrecadação de pedágio de GP, foram testadas vários modelos e realizados testes de aderência. Na Figura 6 o histograma da frequência de chegada dos veículos essa praça e a frequência acumulada dos dados.

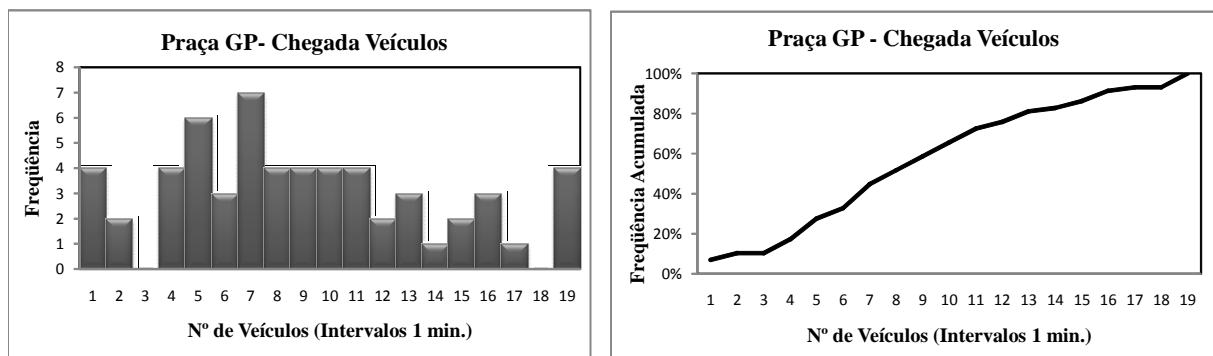


Figura 6: Frequências simples e acumulada de chegadas de veículos na Praça de GP.

Utilizando-se o teste de aderência KS, os dados da Praça de GP aderiram bem a uma distribuição uniforme (valor-p 24,34%). Outras distribuições foram testadas e poderiam igualmente explicar a forma desses dados. Um modelo de Poisson (valor-p de 6,60%).

Os parâmetros encontrados para a distribuição uniforme, modelo que melhor aderiu a esses dados, foram $a = 1$ e $b = 17$, sendo a e b parâmetros de contorno. A distribuição de Poisson que, também, poderia descrever esses dados foi a de média $\lambda = 8,98$.

A função densidade de probabilidade Uniforme é dada por :

$$f(x) = \frac{1}{b - a + 1}$$

A função densidade de probabilidade Poisson é dada por :

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

Na Figura 7, são apresentados os dois modelos sobrepostos aos dados considerados. Na Figura 8, estão os Diagramas-PP para os três modelos mencionados.

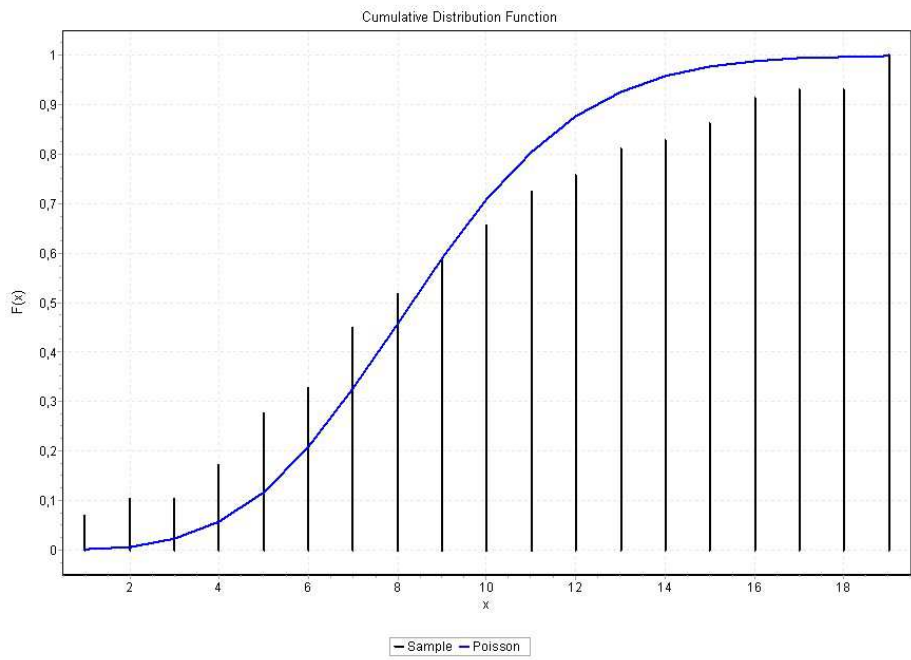
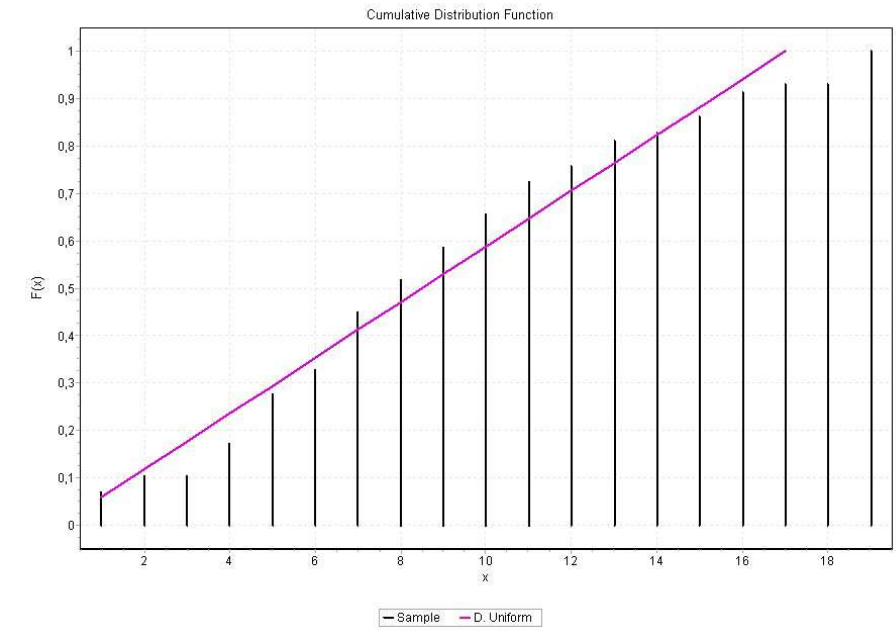


Figura 7: Dados da chegada dos veículos e as distribuições acumuladas uniforme, Poisson respectivamente para a Praça de GP.

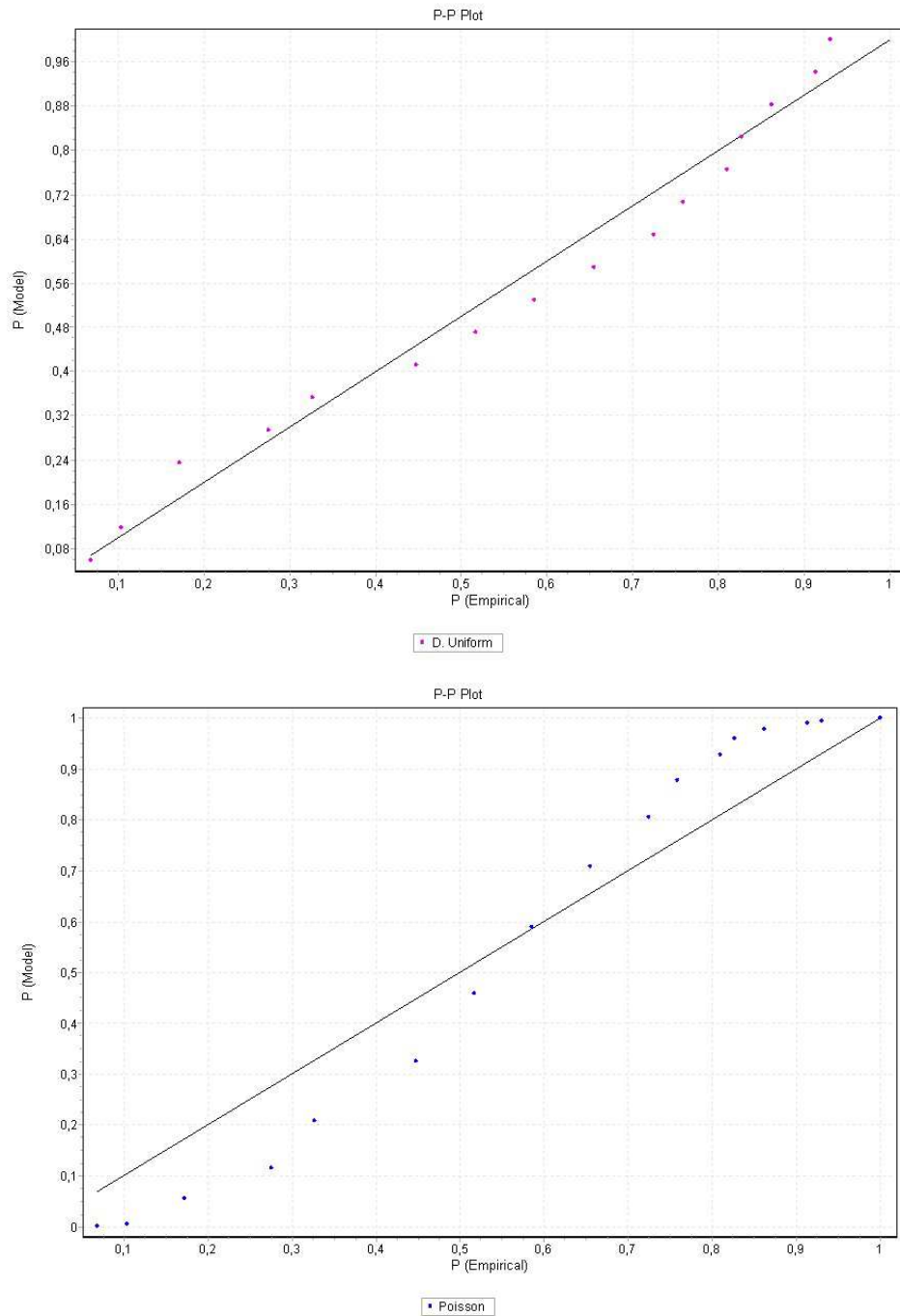


Figura 8: Diagramas-PP dos dados da chegada dos veículos para as distribuições uniforme e Poisson respectivamente, da Praça de GP.

Para encontrar o modelo de melhor aderência aos dados de frequência de chegada de veículos à praça de arrecadação de pedágio de PP, foi realizado o mesmo procedimento executado na Praça de GP. Na Figura 9 o histograma da frequência de chegadas dos veículos à praça e a frequência acumulada dos dados.

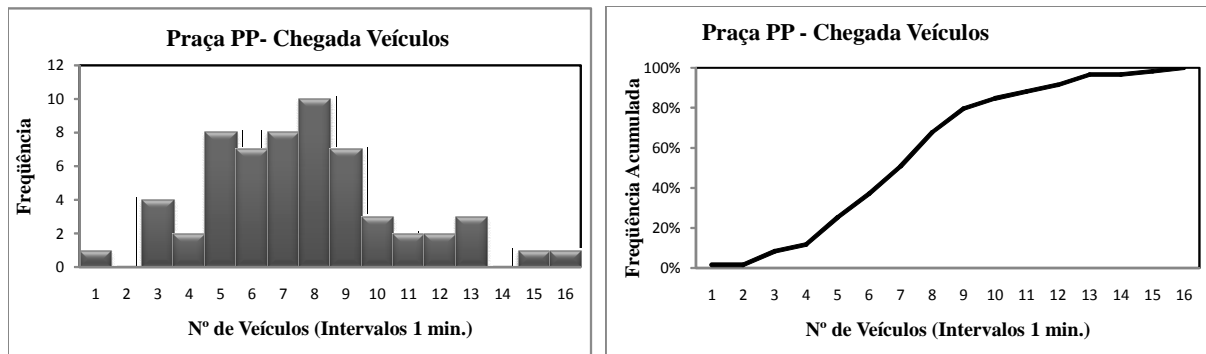


Figura 9: Frequências simples e acumuladas de chegadas de veículos à Praça de PP.

Pelo teste KS os dados da Praça de PP aderiram bem a uma distribuição Poisson (valor-p 17,60%) com parâmetro $\lambda = 7,59$.

Na Figura 10, estão representados os dados de chegada dos veículos e a distribuição acumulada de Poisson. Na Figura 11 está o Diagrama-PP dos dados de chegada de veículos e o modelo de melhor aderência.

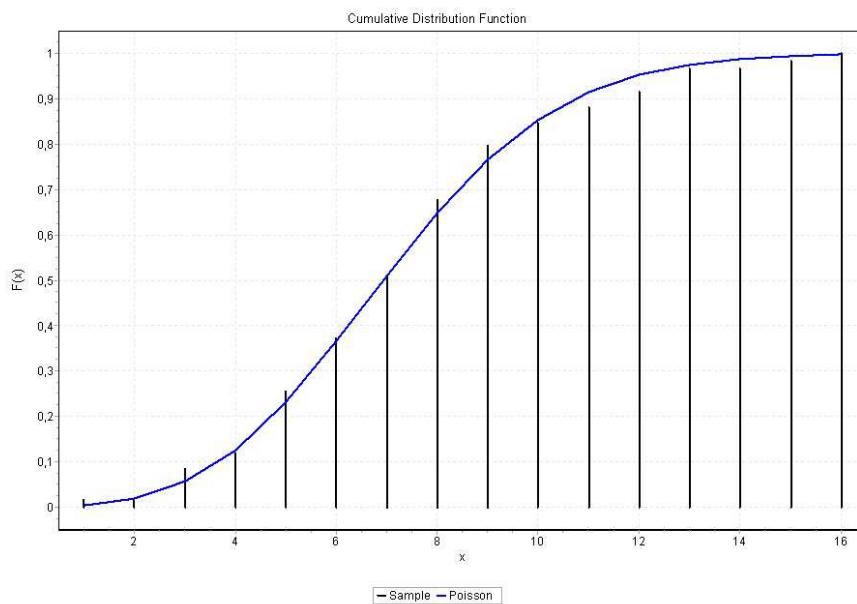


Figura 10: Chegadas de veículos na Praça PP e a distribuição acumulada de Poisson.

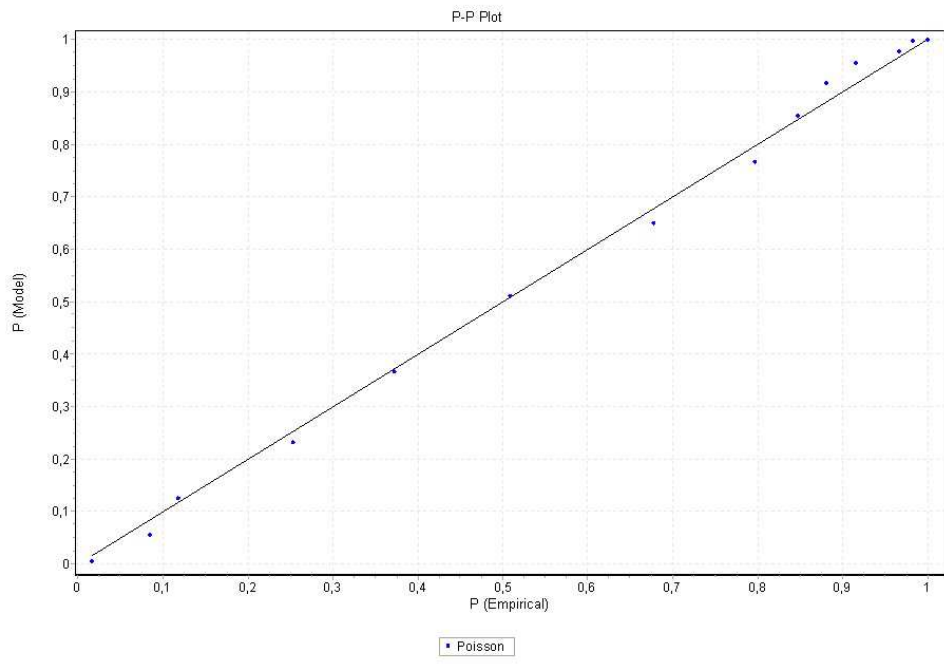


Figura 11: Diagrama-PP de chegadas dos veículos na Praça de PP e a distribuição de Poisson.

6. Conclusão

Das análises realizadas, neste estudo, pode-se concluir que:

- Não há diferença significativa entre o tempo médio de atendimento em dias considerados típicos e atípicos.
- O Tempo 1 médio, o Tempo 2 médio e o Tempo Total médio nas cabines de arrecadação de pedágio são significativamente diferentes de acordo com a categoria dos veículos. Analisando o tempo de atendimento como soma das parcelas Tempo 1 (tempo de pagamento) e Tempo 2 (tempo de deslocamento) foi possível perceber que a maior diferença percentual entre os tempos médios, considerando a categoria de veículos, não está no tempo gasto no pagamento, mas sim no tempo de deslocamento do veículo, após o pagamento na cabine de arrecadação de pedágio até o sensor da cancela.
- O Tempo 1 médio difere significativamente de acordo com a forma de pagamento, sexo do arrecadador e existência de fila. Houve diferença no Tempo 1 médio de acordo com tempo de serviço em meses do arrecadador apenas na praça de GP. Não há diferença significativa do Tempo 1 médio em relação às horas trabalhadas do arrecadador.
- O modelo mais adequado para o tempo de atendimento (Tempo 1) em ambas as praças foi a distribuição Johnson S_B , mas com parâmetros diferentes em cada uma das praças.
- Para a variável chegada dos veículos, em intervalos de um minuto, na praça de pedágio de GP, o modelo mais adequado foi a distribuição uniforme, resultado esse diferente de alguns estudos anteriores que encontraram que o modelo adequado seria o de Poisson. Esse fato pode ser explicado pela constância no fluxo de veículos na Praça de GP. Para a Praça de PP o modelo mais adequado foi o de Poisson. Constatou-se assim que o porte da praça de pedágio define o modelo do número de chegadas dos veículos, avaliadas em intervalos de um minuto.

Referências bibliográficas

ARAÚJO J. J., SETTI, J. R. Caracterização Operacional de praças de pedágio do estado de. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. USP (Universidade de São Paulo). São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, M. L., NETO, João Marques da Rosa, CYBIS, Helena Beatriz Bettela. A influencia do tamanho das filas na capacidade de atendimento das praças de pedágio. Porto Alegre, s/d.

OLIVEIRA, M. L. Fatores intervenientes na capacidade de atendimento de praças de pedágio. Dissertação de Mestrado de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SETTI, J. R. A. Introdução a Simulação Discreta de Sistemas. São Carlos: EESC, 1994.

A STUDY OF SERVICE TIME AND VEHICLES ARRIVAL WITH INTERFERENTIAL FACTORS IN TOLL PLAZAS

Abstract

This paper analyzes some interfering factors in the service time of toll plazas, and models the time of service and the frequency of vehicles arrivals in these places, pointing the distribution that has the better goodness-of fit to the data for each case of this study. Data were collected in two toll plazas in the state of Rio Grande do Sul. The studied aspects regarding to the time service were: days typical and atypical, types of vehicles, conditions of payment, existence or not of a queue, time of service of the collector, hours worked by the collector, and the genre of the collector.

Key-words: Service in toll plazas; Service time; Frequency of arrivals, Modeling the service time, Modeling the frequency of arrivals

Este artigo será submetido a “REVISTA GESTÃO E PRODUÇÃO”